



**ANAI**

# **ENSUS**

**VOLUME 3**

**2019**



# ENSUS 2019

VII ENCONTRO DE  
SUSTENTABILIDADE EM PROJETO  
08 a 10 de maio de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA



# ORGANIZAÇÃO

## Coordenação Geral

Lisiane Ilha Librelotto, Dra. Eng., Dpto. de Arquitetura e Urbanismo, PósARQ/UFSC  
Paulo César Machado Ferroli, Dr. Eng., Dpto. de Expressão Gráfica/UFSC

## Comissão Organizadora

### Coordenação Arquitetura e Urbanismo

Profa. Lisiane Ilha Librelotto, Dra. Pós-ARQ/UFSC  
Prof. Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. EGR/UFSC  
Prof. Miguel Aloysio Sattler, Dr. NOIRE/UFRGS  
Sumara Lisbôa, mestranda, PósARQ/UFSC

### Coordenação de Design

Prof. Amilton José Vieira de Arruda, Ph.D/UFPE  
Profa. Ana Veronica Pazmino, Dra./UFSC  
Prof. Carlo Franzatto, Dr./UNISINOS  
Prof. Ivan Luiz de Medeiros, Dr. EGR/UFSC  
Profa. Regiane Trevisan Pupo, Dra. EGR/UFSC

### Coordenação Engenharia

Profa. Rachel Faverzani Magnago, Dra. PPGCA – UNISUL  
Profa. Paola Egert Ortiz, Dra. /UNISUL  
Profa. Heloisa Regina Turatti Silva, Dra. /UNISUL

## Comissão Design

João Luiz Martins, graduando do Curso de Arquitetura e Urbanismo/UFSC

## Comissão de Infraestrutura e Apoio

Sumara Lisbôa, mestranda, PósARQ/UFSC  
Júlia Lange de Souza, graduanda do Curso de Arquitetura e Urbanismo/UFSC  
Altamirano Mathias, graduando do Curso de Arquitetura e Urbanismo/UFSC  
Camila Marques e Silva, graduanda do Curso de Design/UFSC

## FICHA CATALOGRÁFICA

ENSUS “Encontro de Sustentabilidade em Projeto” (5.: 2019 : Florianópolis, Anais [do] ENSUS 2019 - VI “Encontro de Sustentabilidade em Projeto”/ Universidade Federal de Santa Catarina, realizado em 08,09 e 10 de maio de 2019 - VIRTUHAB - Grupo de Pesquisa ; [organizado por Lisiane Ilha Librelotto, Paulo César Machado Ferroli]. -- Florianópolis : UFSC/VIRTUHAB 2019

446p (VOLUME 3).

ISSNe **2596-237X**

1. Sustentabilidade. 2. Projeto. 3. Arquitetura. 4. Design. 5. Engenharia.  
I. Universidade Federal de Santa Catarina. VIRTUHAB - Grupo de Pesquisa.  
II. Ferroli, Paulo César Machado. III. Librelotto, Lisiane Ilha. IV. Título.

## EDITORIAL ENSUS 2019

O ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto chega a sua sétima edição. O ENSUS 2019 aconteceu de 08 a 10 de Maio, no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Catarina e foram enviados ao evento cerca de 300 artigos, oriundos de mais de 100 universidades brasileiras, públicas e privadas, e 5 universidades estrangeiras. Ao compararmos com o primeiro ENSUS, quando recebemos 27 artigos, temos a grata satisfação da percepção de uma evolução continuada. Talvez o fato mais curioso seja que uma quantidade grande de pessoas que estavam entre os autores destes 27 artigos estejam, hoje, participando do encontro que ajudaram a construir. Nosso público é fiel. Uma vez ENSUS, sempre ENSUS!

Na segunda-feira, dia 13 de Maio, quando o ENSUS for uma doce memória do público (assim esperamos) os membros do grupo Virtuhab, principal organizador do evento, estarão em reunião para discutir o evento de 2019, acertos e erros, tarefas ainda a completar e começar o ENSUS 2020.

Todos os anos consideramos manter a realização do evento. Fazendo uma analogia com a física, temos sempre duas forças atuando nesta questão, nem sempre de igual intensidade: uma que age contra e outra a favor. Percebemos que a cada ano, quanto mais pessoas comparecem ao evento e quanto maior sua repercussão nacional, menos apoio recebemos dos órgãos de fomento. Resta-nos analisar estas forças para uma tomada consciente de decisão.

Os números do evento nos motivam e se analisados sob a ótica fria da matemática são sempre incontestáveis no sentido da continuidade. É muito gratificante também, perceber o engajamento do grupo de pesquisa, revisores de artigo, comissão organizadora, voluntários e alunos do curso de arquitetura e design na promoção do evento.

A participação de estudantes e pesquisadores que no ENSUS I ficou praticamente restrita aos estados do sul do país, nesta sétima edição reuniu representantes de todas as regiões, com mais de 500 inscritos (público pagante e não pagante) entre articulistas, ouvintes, palestrantes, expositores e voluntários. Deve-se ainda acrescentar a esta conta os cerca de 150 revisores de artigos, que ajudaram na emissão de pareceres e julgamento dos artigos que aqui serão apresentados. Desta forma, estas 650 pessoas envolvidas no evento, nos mostram o resultado de nosso trabalho e superaram nossas expectativas para esta edição.

Os anais do evento não ficam mais restritos a um único volume, mas sim, integram 5 volumes, com quase 3000 páginas de artigos.

Contudo, os órgãos de fomento do país, especificamente CAPES, CNPq e até a FAPESC que sempre apoiou o evento, parecem ter uma visão diferente da nossa. Não se trata apenas de não recebermos apoio financeiro, mas quando temos os mais importantes órgãos de fomento do país, que apesar de reconhecerem o mérito do evento, nos excluem com desculpas infundadas, como o fato de nossa programação pela sua diversidade e quantidade, não conseguir ser introduzida completa no campo do formulário, ou por não alcançar a nota de corte nos faz ponderar e nos enche de pesar. Essa mensagem, clara, não pode ser ignorada. O ENSUS tem por característica procurar fazer um evento sustentável por essência. E isso é refletido em fazermos o evento dentro da universidade e não em um hotel. É refletido na escolha cuidadosa dos materiais que serão ofertados, como não usar copos descartáveis e fornecer uma sacola que poderá efetivamente ser usada posteriormente para compras no mercado ou feira. Também não é um evento destes reconhecidos como caça-níquel, que praticam valores aviltantes dos quais não se faz ideia da aplicação dos recursos.

Procuramos utilizar o mínimo possível de impressões. Temos buscado reduzir nossos impactos, angariar recursos junto ao nosso público e buscar por fomento. Mesmo assim conseguimos praticar preços muito aquém de outros eventos com a mesma qualidade e sem um décimo do apoio dos órgãos de fomento.

Desta forma, o apoio de nossos fieis parceiros, público pagante e voluntários, é ainda mais importante. Nosso público é o maior financiador deste evento.

Na realização do evento de 2016, criamos a página da transparência para mostrar ao nosso público, de onde vêm o dinheiro e onde o empregamos. Os valores das edições passadas

foram mantidos em 2017 e 2018, mas tivemos de realizar um pequeno ajuste prevendo uma época de recessão. Conseguimos, como sempre, apoio dos profissionais que aqui estão como palestrantes do evento, que não recebem qualquer remuneração. Os palestrantes, estão aqui porque, assim como nós, acreditam na importância do tema que estamos discutindo e que existem outros ganhos pessoais, que não o financeiro, que podem afetar nosso futuro comum.

Ao longo destes anos, estabelecemos importantes parcerias, que nos permitem editar uma revista, divulgar e promover nossas pesquisas. Montamos uma rede de pesquisa para o estudo do bambu, outra para estudo da sustentabilidade e destas já resultaram pelo menos 4 publicações na forma de livros, 3 dos quais serão apresentados neste evento. Montamos uma materioteca e temos diversas pesquisas em andamento.

A promoção do evento proporciona tudo isto. Acima de tudo esperamos que a forma como o ENSUS ocorre, represente uma saída para as crises que assolam o país. Uma parceria público/privada, onde não se pode esperar que tudo seja custeado pelo Governo.

Para concluir, não podemos deixar de agradecer as pessoas que trabalharam nos bastidores. Os membros do Grupo de Pesquisa VirtuHab – bolsistas de iniciação científica, extensionistas, mestrandos e doutorandos do PósARQ (em especial Sumara Lisboa, Natália Geraldo, Ialê Ziegler, Altamirano Mathias, João Luiz Martins, Franchesca Medina, Camila Marques e Emanuelle Castro do Nascimento que auxiliaram na coordenação do evento) -, as direções dos centros do CCE e CTC, a PROEX e FAPEU que se empenharam ao longo de quase um ano, para ajudar na elaboração dos projetos de captação dos recursos, prestação de contas do evento anterior, emissão de certificados, proposição e contato com palestrantes, confecção de atas, elaboração e manutenção da página do evento, envio de chamadas de artigos, divulgação do evento por e-mail, pelo facebook, confecção de folders para divulgação das palestras, convite para revisores, alimentação da plataforma easychair, solicitação de orçamentos para compras de camisetas, cafés, impressões, crachás, bolsas, pedidos de doação de materiais (canetas, blocos), porta banners, reserva de transportes, carga de materiais, confecção dos anais, confecção da revista Mix Sustentável Especial ENSUS, controle de inscrições, entre outras tantas atividades que foram necessárias para receber vocês da melhor forma possível.

Estes anais foram produzidos com antecedência e já estão disponíveis na página desde o primeiro dia do ENSUS, graças ao esforço do nosso futuro designer João Martins. Os artigos publicados neste volume foram enviados pela plataforma easychair, sem identificação de autoria, enviados a pelo menos dois pareceristas com revisão às cegas, modificados pelos autores e atualizados no sistema, em uma trajetória que levou do início de setembro de 2018 a abril de 2019 para ser percorrida.

Nesta edição, houve a necessidade de realizarmos a publicação em 5 fascículos com os Títulos:

Volume 7, n.1 – Materiais e Processos Convencionais e Materiais e Tecnologias inovadoras/alternativas

Volume 7, n.2 – Metodologias de Projeto; Desenvolvimento Sustentável e Gestão da Sustentabilidade

Volume 7, n.3 – Sustentabilidade na Engenharia; Eficiência Energética e Resíduos

Volume 7, n.4 – Sustentabilidade na Arquitetura e Urbanismo e Sustentabilidade no Ambiente Construído

Volume 7, n.5 – Design de Produto; Design de Moda; Biônica e Biomimética

Nosso muito obrigado a todos vocês! Nosso muito obrigado aos apoiadores e expositores do evento, aos articulistas que enviaram suas pesquisas, aos revisores que trabalharam arduamente na emissão de pareceres e aos palestrantes que contribuem tanto para divulgar e incentivar o tema tão importante da sustentabilidade!

Aproveitem a leitura, referenciem em suas pesquisas e não deixem de comparecer ao ENSUS 2020! Onde ele acontecerá ainda não sabemos, mas temos a certeza de que acontecerá!

Lisiane Ilha Librelotto e Paulo César Machado Ferroli

## SUMÁRIO – ANAIS VOLUME 3

Análise comparativa de impacto ambiental de diferentes sistemas construtivos de superestruturas de pontes. Taylana Piccinini Scolaro, Luiz Eduardo Pereira e Jairo Trombetta.	009
Uma Alternativa Energética Sustentável Viável para o Brasil. Marcelo Menezes, Paulo Renato da Costa Mendes e Julio Elias Normey-Rico	021
Estudo de caso para aplicação de telhado verde como cobertura sustentável ao Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina. Fernanda de Oliveira Dozol Lopes, João Vitório Dagostin e Joelma dos Santos	033
Discussão referente à introdução de processos prevendo a eficiência hídrica ao Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina. Fernanda de Oliveira Dozol Lopes, João Vitório Dagostin e Joelma dos Santos	044
Elaboração de projeto de reforma e revitalização sustentável para o Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina. Fernanda de Oliveira Dozol Lopes, João Vitório Dagostin e Joelma dos Santos	056
Simulação térmica de protótipo de light wood frame pela NBR 15.575. Tiago de Castro Quevedo, Rafael Takeshi Hayashi Feuerharmel, Marina Espíndola Amorim, Ana Lígia Papst de Abreu e Luciana da Rosa Espíndola	068
ECOspace: proposição de um espaço para estimular a economia circular. Michele Tais D. C. Zamoner, Debora Barauna, Dalton Razera e Alexandre V. Pelegrini	080
Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos: Proposição de um Modelo de Gerenciamento para Empresa com Operação Portuária. Juvanilde Sousa de E. S. Cordeiro e Naiana Silva de Lima	092
Estudo de viabilidade de usina solar fotovoltaica em posto de combustível na cidade de Ipumirim. Eduarda Biffi e Mari Aurora Favero Reis.	101
Uma Abordagem Conceitual Quanto às Tecnologias Sustentáveis Concernentes aos Sistemas de Abastecimento de Água, Sistemas de Esgotamento Sanitário e Manejo de Águas Pluvias: Estudo de Caso “Cidade de Maria-MT”. Thamires Silva Martins, Analia Araujo Macedo, Sabine Eduarda Tonioli e Henrique Cereta Lopes	113
Uso do lodo descartado em estação de tratamento de água como agregado miúdo do concreto. Rafael Jonathas Vieira Sideri, Alexandre Lopes Ribeiro e Mariane Alves de Godoy Leme	125
Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos. Anny Key de Souza Mendonça e Antonio Cezar Bornia	137
Uma comparação entre bioconstrução e construção tradicional: análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental. Jamylly Ludimily Amorim Mello, Larissa Moraes Vieira e Paula Fernanda Scovino de C. R. Gitahy	150
Combustível sólido a partir de biomassa residual de borra de café, casca de arroz e casca de batata. Rachel Faverzani Magnago, Guilherme Domingos Garcia, Diego Valdevino Marques, Izoé Daysi Pedroso, Kênia Costa Hermann, Nathan Roberto Lohn Pereira, Simone Perroni Mazon e Susana Claudete Costa,	163

O destino dos resíduos provenientes da indústria da construção civil. Emerson Gervásio de Almeida, Meirilaine Silveria Rodrigues e Rigley César Matias Gonçalves	177
Análise do aproveitamento da fração lípidica extraída a partir de efluente coletado em uma ETE para produção de biodiesel. Kelly Lima de Almeida Alves e Lívia Savioli Manetta	189
Ventilação cruzada e noturna como estratégia de resfriamento passivo em edifício institucional no contexto climático de Brasília/DF. Ayana Dantas de Medeiros, Guilherme de Sousa Fernandes, Rhaiana Bandeira Santana, Thiago Augusto Tavares e Cláudia Naves David Amorim	200
Estudo do comportamento mecânico de mistura de agregado reciclado para uso como revestimento primário em vias de baixo volume de tráfego. Thiago Vargas de Deus, Danielle de Souza Clerman Bruxel, Anelise Schimitz, Rodrigo Lopes Erhart e Viviane Gschwenter Lopes	212
Ecocasa popular 1.0: Uma alternativa sustentável para casas populares. Sayonara Lanna, Natan da Silva, Emerson Gervásio de Almeida, Yan Alves Carvalho e Juarez Francisco Freire Júnior	225
Biodeposição - selagem de poros com a aspersão de bactérias em argamassa. Jupira Almeida, Roberto De Carli De Martini, Laura Dall'Igna Favretto, Fabiana Tonial e Antonio Thomé	237
Contêiner e a arquitetura do reuso: Proposta de instalação sanitária autônoma W-Eco. Rafaela de Souza Brasileiro, Sandra Moscon Coutinho e Aline Silva Sauer	249
Estudo de viabilidade no uso de filmes fotovoltaicos orgânicos: Estudo de caso em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado. Bruna Rogovski e Mari Aurora Favero Reis	261
Sustentabilidade energética: proposta de um simulador de geração distribuída de energia renovável. Júlio César Pinheiro Pires e Branca Freitas de Oliveira	270
Isolante térmico à base de sabugo de milho. Fábio Severo da Rosa, Giane de Campos Grigoletti e Rogério Cattelan Antochaves de Lima	281
A aerodinâmica como artifício de promoção da ventilação natural na concepção de um projeto arquitetônico vertical. Daniel Silva Castro de Amorim, Millena de Souza Silva Lopes e Sammea Ribeiro Granja Damasceno Costa	292
Identidade local e a sustentabilidade: uma relação com os espaços como estímulo de preservação ambiental. Tatiana Matucita Fabiani	304
Compósitos de Poliuretano com Resíduos Industriais. Victor Leibnitz Hipólito, Edivandro Giroto e Rachel Faverzani Magnago	316
Construção sustentável: análise bibliométrica dos trabalhos publicados em três plataformas de busca de artigos científicos dos últimos 17 anos. Amanda Reis e Tamily Roedel	328
Análise da iluminação de uma sala de leitura/estudos de uma biblioteca universitária. Leonardo Giardel Pazze, Andréia Balz, Bruna Thaís Liesenfeld e Tenile Rieger Piovesan	340

Intervenções educativas com ensino lúdico geradoras de autonomia social e sustentabilidade ambiental em escolas da cidade de Campinas-SP. Ana Claudia Mendes de Seixas, Giovanna Ramos Maccari e Jaqueline Silva de Oliveira	349
Desafios sustentáveis. Débora dos Santos.	357
Estudo de solo laterítico para aplicação em habitação rural para população de baixa renda através da técnica de bloco prensado. Camila Larrosa de Oliveira e Cezar Augusto Burkert Bastos	363
A estrutura da cadeia de suprimento para a produção de Bioenergia baseada nos princípios da Economia Circular. Luis Alberto Bertolucci Paes, Barbara Stolte Bezerra e Daniel Jugend	375
Geoprocessamento aplicado à identificação da antropização ocorrida na zona de proteção ambiental no município do Jaboatão dos Guararapes/PE. Amaury Gouveia Pessoa Neto, Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa e Ronaldo Faustino da Silva	388
Avaliação da resistência mecânica de concretos com reaproveitamento da areia de desmoldagem. Sara Borges Correa Santos, Leondiniz Gomes de Sousa Júnior, Mateus Nascimento Vieira de Melo e Joel Dias da Silva	399
Fabricação e estudo de produto dispersante à base de elementos biodegradáveis para adição em matriz de concreto visando efeito plastificante. Cayttano Saul de Sá Zarpellon, Christopher Antonio Martins de Moura e Claudemir Batalini	411
Eficiência Energética da Envoltória do Edifício “Plataforma Governamental de Gestión Financiera” Em Quito - Equador. Santiago Fernando Mena Hernández e Marta Adriana Bustos Romero	423
Comportamento mecânico de argamassas com areia de descartada de fundição (ADF). Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira, Gabriella Macedo de Assis e Rosangela Cavalcanti de Melo	435

## **Análise comparativa de impacto ambiental de diferentes sistemas construtivos de superestruturas de pontes**

### *Comparative analysis of the environmental impact of different building systems of bridge superstructures*

**Taylana Piccinini Sclaro, mestranda, UFSC.**

taylanaps@hotmail.com

**Luiz Eduardo Pereira, engenheiro, UTFPR.**

luiz\_eduu@hotmail.com

**Jairo Trombetta, mestre, UTFPR.**

jairotrombetta@gmail.com

#### **Resumo**

O presente estudo teve por objetivo desenvolver uma análise comparativa entre projetos de superestruturas de pontes de concreto pré-fabricado, madeira e mista aço/concreto, para três comprimentos de vão. Os projetos foram analisados quanto à geração de impacto ambiental através do desempenho apresentado em parâmetros estabelecidos dentro das categorias: consumo de energia, emissões atmosféricas e esgotamento de recursos. Foi realizada a análise do ciclo de vida dos materiais do berço ao portão. Os resultados permitiram identificar a superestrutura com o comportamento mais satisfatório em cada parâmetro. A ponte em madeira apresentou os melhores resultados em todos os parâmetros das categorias emissões atmosféricas e esgotamento de recursos naturais, por outro lado, exibiu grande consumo de energia. Em relação às demais superestruturas, o desempenho mais satisfatório em cada parâmetro das categorias variou com o comprimento do vão. Este estudo constitui uma importante ferramenta de auxílio à tomada de decisão com vistas à construção sustentável.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental; Pontes; Análise comparativa

#### **Abstract**

*This paper aimed to develop a comparative analysis between bridge superstructures constructed of*

*prefabricated concrete, wood and mixed steel/concrete, for three different spans length. The projects were analyzed for the generation of environmental impact through performance presented in parameters established within the categories: energy consumption, atmospheric emissions and resource depletion. The life cycle analysis of the materials from cradle to gate was carried out. The results allowed to identify the superstructure with the most satisfactory behavior in each parameter. The bridge constructed of wood showed the best results in all of the parameters in the categories atmospheric emissions and resource depletion, on the other hand, presented high energy consumption. In relation to the other superstructures, the best performance in each parameter varies according to the span length. This study is an important tool to aid decision making with a view to sustainable construction.*

**Keywords:** *Environmental impact; Bridges; Comparative analysis*

## 1. Introdução

Atualmente, as pontes são projetadas levando-se em consideração sobretudo aspectos de ordem econômica, técnica e de segurança. Raramente aspectos relativos ao desempenho ambiental são considerados no processo de tomada de decisão de planejamento destas estruturas. No entanto, a construção de pontes é responsável por significativo uso de energia e de matérias-primas (DU et al., 2014).

A NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), aborda a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como uma técnica de gestão ambiental em desenvolvimento que estuda os impactos ambientais ao longo da vida de um produto. Através da análise das entradas e saídas pertinentes à um sistema produtivo e da avaliação dos impactos ambientais relacionados, a ACV permite interpretar os resultados das análises e buscar medidas de melhoria em determinadas fases do ciclo de vida do produto.

Tendo em vista que as pontes, ao longo do seu ciclo de vida, podem gerar impactos ambientais, questionou-se sobre os diferentes tipos de materiais constituintes da superestrutura de uma ponte e seu desempenho frente à geração de impactos ambientais. Entende-se por superestrutura a estrutura da ponte com função de receber e transmitir as cargas que sobre ela trafegam.

Essa pesquisa teve como objetivo analisar comparativamente o desempenho ambiental de pontes executadas com diferentes sistemas construtivos – concreto pré-fabricado, madeira e mista aço/concreto – para três comprimentos de vão, através da análise do ciclo de vida dos materiais construtivos do berço ao portão.

## 2. Revisão de literatura

Gervásio (2008) apresenta uma análise comparativa em termos de impactos ambientais entre duas soluções estruturais para uma ponte, uma em concreto pré-fabricado e outra mista aço/concreto. Para a solução mista, foram admitidos três diferentes cenários acerca

da origem do aço estrutural: aço alto forno, aço arco elétrico e misto (50% alto forno e 50% arco elétrico). O desempenho ambiental foi avaliado com base na análise de ciclo de vida, baseada nas normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), e com auxílio do programa de análise BEES de Lippiatt (2002). Os dados referentes aos materiais construtivos foram obtidos da base de dados do programa BEES, com exceção dos dados relativos ao aço estrutural, que foram obtidos do International Iron and Steel Institute (IISI, 2002). Foram considerados os índices: consumo de água, *smog*, ozônio, saúde, alteração do habitat, aquecimento global, combustíveis fósseis, eutrofização, toxicidade, poluentes do ar e acidificação. Foi analisada a fase ‘*cradle to gate*’. Com relação aos resultados, em comparação à solução em concreto, a alternativa com aço alto forno aumentou a geração de impactos ambientais em 23%, a solução em aço arco elétrico apresentou uma redução de impacto ambiental de 31% enquanto que a mista (50% de cada processo de produção) reduziu em 4% a geração de impactos ambientais.

Castro (2012) desenvolveu uma comparação entre duas soluções construtivas para a estrutura de um edifício de 500m<sup>2</sup>, uma de concreto armado e outra metálica. Para tal, foram consultadas sete base de dados de Inventário de Ciclo de Vida (LCI) que fornecem valores médios de fluxos de entrada e saída associados à utilização de materiais construtivos. As categorias e parâmetros ambientais considerados pela autora foram os mesmos utilizados por este trabalho. A etapa do ciclo de vida considerada foi a ‘*cradle to gate*’. Entretanto, após o cálculo da pontuação individual em cada um dos parâmetros, os valores foram normalizados, de maneira a possibilitar a comparação de valores em mesma unidade. Em seguida, foi determinada a pontuação de cada categoria através da atribuição de pesos a cada uma delas. Por fim, a estrutura metálica apresentou o melhor desempenho ambiental.

Ainda, uma análise comparativa do desempenho frente aos impactos ambientais de projetos equivalentes de um armazém industrial, um constituído por concreto armado e outro por estrutura metálica, foi desenvolvida por Andrade (2013), de acordo com as normas NP EN ISO 14040 e EN 15978. Os valores dos parâmetros foram obtidos da base de dados Ecoinvent, para a solução de concreto armado e de uma Declaração Ambiental de Produto (DAP) para a solução metálica. Os parâmetros ambientais considerados foram os mesmos utilizados por este trabalho e foram avaliados separadamente, atribuindo-se o mesmo peso para cada. A avaliação compreendeu todo o ciclo de vida, através da elaboração de três cenários distintos: ‘*cradle to gate*’, ‘*cradle to grave*’ e ‘*cradle to cradle*’. As duas estruturas tiveram comportamentos equivalentes nas etapas ‘*cradle to gate*’ e ‘*cradle to grave*’. A etapa ‘*cradle to cradle*’ não foi conclusiva devido à complexidade da reciclagem ou reaproveitamento do concreto armado quando comparado ao aço.

Nesse contexto, verificou-se a ausência de estudos relativos ao uso da madeira como solução estrutural, material este que ainda é comumente encontrado em pontes de estradas vicinais da região do sudoeste do Paraná. Ademais, foi observada uma variação de resultados, bem como foi verificado que não há uma padronização metodológica para a avaliação do ciclo de vida de soluções construtivas. Assim, alguns estudos atribuem mesma importância aos parâmetros considerados, enquanto outros consideram pesos

relativos à cada um. A presente pesquisa avaliou cada parâmetro individualmente, não fornecendo o desempenho ambiental global na etapa do ciclo de vida considerada.

Além disso, não há uma uniformidade do conjunto de parâmetros considerados na análise, dificultando a comparação entre diferentes estudos. Por fim, ressalta-se a necessidade do desenvolvimento de estudos relativos à análise de ciclo de vida de estruturas, de forma a padronizar as metodologias de avaliação, tanto na seleção, quanto na ponderação relativa dos parâmetros.

### **3. Procedimentos metodológicos**

O presente trabalho desenvolveu-se, basicamente, em três etapas. Na primeira etapa, foram selecionados os projetos das pontes já dimensionadas, constituídas uma por concreto pré-fabricado e outra por madeira, bem como elaborado um pré-dimensionamento de uma estrutura mista constituída por aço e concreto. Em seguida, determinou-se o modelo geométrico ideal para as pontes. Por fim, realizou-se o quantitativo de materiais de cada modelo para a análise ambiental.

Os projetos das pontes foram selecionados de modo a padronizar as variáveis de estudo: largura e comprimento do tabuleiro. O manual de construções de pontes municipais, contendo as especificações técnicas, projetos tipo e montagem das estruturas foi disponibilizado pelo site do DER/PR para a ponte pré-fabricada de concreto. Para o estudo da ponte de madeira, utilizou-se do modelo descrito e dimensionado por Da Silva e Philippsen (2015). Para a ponte mista aço/concreto, por não ter sido encontrado um modelo já dimensionado com as mesmas dimensões dos demais projetos adotados, realizou-se um pré-dimensionamento com base nos resultados encontrados por Machado (2016) e Eller (2011) para perfis I em aço laminado e com auxílio do software AltoQI Eberick para o dimensionamento do tabuleiro em concreto armado. O cálculo das cargas móveis foi realizado em conformidade com a NBR 7188 (ABNT, 2013). Foi adotado o trem tipo TB-450, assim como nos projetos das pontes pré-fabricada de concreto e em madeira, de forma a padronizar os projetos e prever a passagem de veículos pesados.

O trabalho teve por finalidade o estudo de pequenas pontes, usuais em estradas vicinais do sudoeste do Paraná, também denominadas pontilhões. De acordo com Machado (2016), pontilhões são pontes de pequenos vãos e larguras, com apenas uma faixa de tráfego. Com base no trabalho de Da Silva e Philippsen (2015), foi adotada a largura da ponte como sendo 6 metros. O intervalo de comprimento do vão a ser vencido foi definido com base em dados referentes às pontes existentes no município de Pato Branco (PR), obtidos no estudo de Milani (2010). Por fim, foram adotados para este estudo os vãos de 5, 7 e 9 metros, julgados comuns na região. Dessa forma, o trabalho envolveu um total de 9 estudos, em que cada sistema construtivo (concreto pré-fabricado, madeira e misto aço/concreto) foi analisado para 3 vãos distintos.

De posse dos projetos das pontes, realizou-se a modelagem das superestruturas utilizando o software Autodesk Revit. A partir das dimensões definidas pelos projetos e da volumetria dos elementos da ponte, foram elaboradas planilhas de cálculo pelos autores,

com o auxílio do Microsoft Office Excel, de modo a obter o quantitativo de materiais de cada modelo de ponte.

Para a análise ambiental, as unidades de medida do quantitativo foram transformadas em unidade de massa (kg), para possibilitar a multiplicação das quantidades de material pelos índices de impacto ambiental.

Tomaram-se como unidades funcionais as quantidades necessárias de material para compor a superestrutura das pontes: 30m<sup>2</sup> (6m x 5m), 42m<sup>2</sup> (6m x 7m) e 54m<sup>2</sup> (6m x 9m).

Para a análise dos impactos ambientais, tendo como diretrizes os estudos de Castro (2012) e Andrade (2013), foi considerada a fase ‘*cradle to gate*’ (do berço ao portão) como base de estudo. Assim, foram contabilizados os impactos envolvidos desde a extração da matéria-prima até a fabricação do produto, ou seja, essa etapa do ciclo de vida termina na porta da fábrica. Dessa forma, este trabalho não contempla a análise de impactos ambientais nas fases de uso e manutenção das pontes, nem no processo de fim de vida.

Os projetos foram analisados quanto à geração de impacto ambiental através do desempenho apresentado em parâmetros estabelecidos dentro de três categorias: consumo de energia, emissões atmosféricas e esgotamento de recursos. Com base na revisão de literatura, foram selecionados os seguintes parâmetros ambientais para análise:

- Energia renovável incorporada (ER): trata sobre a preocupação em utilizar fontes renováveis;
- Energia não renovável incorporada (ENR): indica a dependência da energia não renovável incorporada de um produto, ou seja, quanto colabora para o esgotamento dos recursos;
- Potencial de aquecimento global (GWP): medida relativa da contribuição de um determinado gás para o aquecimento global em relação à mesma quantidade de CO<sub>2</sub>;
- Potencial de destruição de ozônio (ODP): potencial de destruição relativo de uma substância em relação à uma massa similar de CFC-11, que possui ODP igual a 1;
- Potencial de acidificação (AP): é medido utilizando a capacidade de uma substância libertar íons H<sup>+</sup>, causa da acidificação, ou pode ser medido em relação a uma liberação equivalente de SO<sub>2</sub>;
- Potencial de eutrofização (EP): a ocorrência de eutrofização é medida utilizando a unidade de referência de kg de nitrogênio ou equivalentes de fosfato;
- Potencial de formação de ozônio troposférico (POCP): medida da capacidade relativa de uma substância produzir ozônio na presença de NO<sub>x</sub> e luz solar. É expresso utilizando a unidade de referência kg de compostos orgânicos voláteis não metanados (NMVOC) ou kg de equivalente de etileno;
- Potencial de esgotamento de recursos abióticos (ADP): é determinado com base nas reservas remanescentes e taxa de extração. O ADP é comparado ao caso de referência antimônio (Sb).

Os valores de impactos ambientais por categoria e parâmetros considerados neste estudo foram obtidos a partir da base de dados apresentada no trabalho de Andrade (2013), conforme a Tabela 1. Estes valores tem como base as entradas e saídas de materiais, substâncias e energia associadas ao ciclo de vida dos produtos e processos.

Este trabalho adotou como valores dos parâmetros para o aço dos pregos, os mesmos que os descritos por Andrade (2013) para aço vergalhão. Da mesma forma que considerou-se para madeira roliça os mesmos valores que os fornecidos pelo referido autor para madeira serrada.

**Tabela 1 - Categorias e parâmetros de cada impacto ambiental**

IMPACTOS AMBIENTAIS									
CATEGORIA	CONSUMO DE ENERGIA		EMISSÕES ATMOSFÉRICA (AQUECIMENTO GLOBAL)				ESGOTAMENTO DE RECURSOS		
PARÂMETRO	Energia Renovável Incorporada (ER)	Energia Não-Renovável Incorporada (ENR)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Potencial de Destruição de Ozônio (ODP)	Potencial de Acidificação (AP)	Potencial de Eutrofização (EP)	Potencial de Formação de Ozônio Troposférico (POCP)	Potencial de Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP)	Energia Não-Renovável Incorporada (ENR)
UNIDADE	MJ equiv	MJ equiv	Kg CO <sub>2</sub> equiv	Kg CFC 11 equiv	Kg SO <sub>2</sub> equiv	Kg (PO <sub>3,4</sub> ) equiv	Kg Etano equiv	Kg Sb equiv	MJ equiv
Aço vergalhão (kg)	1,52E-01	3,27E+01	1,25E+00	6,16E-08	5,57E-03	1,30E-03	8,29E-04	1,29E-02	3,27E+01
Aço em perfil (kg)	1,16E-01	8,66E+00	5,71E-01	5,40E-08	3,04E-03	4,86E-04	1,85E-04	4,54E-03	8,66E+00
Concreto (kg)	6,24E-03	5,56E-01	1,10E-01	3,55E-09	1,79E-04	2,84E-05	6,49E-06	2,38E-04	5,56E-01
Madeira (kg)	1,58E+01	1,98E+00	-1,20E+00	1,28E-08	8,05E-04	1,29E-04	7,29E-05	1,02E-03	1,98E+00

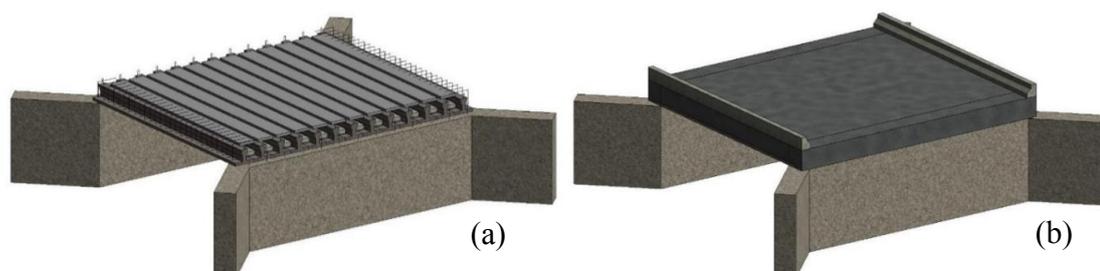
Fonte: adaptado de Andrade (2013).

#### 4. Comparação entre projetos de superestruturas de pontes

##### 3.1 Modelos de pontes

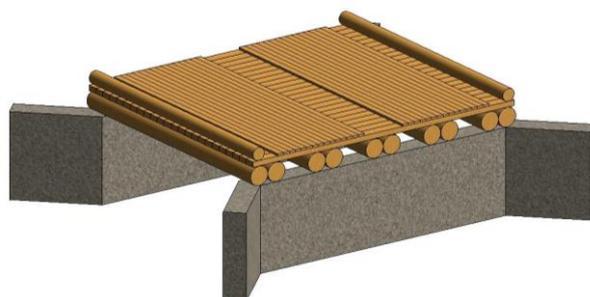
Como este trabalho refere-se a pontes com vãos determinados de 5, 7 e 9 m, foram estudados projetos compostos por vigas pré-fabricadas modelo DER/PR tipo "T": "TA-6,50", "TA-7,50" e "TA-9,50" (vãos livres máximos respectivamente iguais a 6, 7 e 9m),

com placas e guarda-rodas em concreto armado, conforme a Figura 1 (a). Além dos elementos pré-fabricados de concreto e das armaduras de amarração, o projeto da ponte inclui concreto lançado entre vigas e concreto de cobertura, finalizando a estrutura da ponte, como exposto na Figura 1 (b).



**Figura 1 - (a) Elementos pré-fabricados e (b) concreto de cobertura da ponte de concreto pré-fabricado. Fonte: elaborado pelos autores.**

A Figura 2 ilustra o modelo da ponte em madeira, composta por vigas roliças nas longarinas e nos guarda-rodas e por madeira serrada no tabuleiro e no rodeiro. As peças dimensionadas foram consideradas como sendo de madeira de floresta plantada da espécie ‘*Eucalyptus dunnii*’ e fixadas por pregos de aço.



**Figura 2 - Ponte em madeira. Fonte: elaborado pelos autores.**

O projeto da ponte mista aço/concreto considera um tabuleiro de placas pré-fabricadas de concreto com espessura de 35cm, guarda-rodas pré-fabricados de concreto, duas vigas (perfis I laminados) em aço que funcionam como longarinas sustentando o tabuleiro e conectores de cisalhamento do tipo Stud Bolt, conforme mostra a Figura 3. Estes últimos fazem a ligação do tabuleiro com os perfis I. Os perfis I adotados foram o W 460x68 para o vão de 5m, o W 460x106 para o vão de 7m e o W 610x140 para o vão de 9m. O modelo da ponte mista é apresentado na Figura 3.



**Figura 32 - Ponte mista aço/concreto. Fonte: elaborado pelos autores.**

### 3.2 Quantitativo de material

A Tabela 2 apresenta o quantitativo de cada material, em kg, para cada modelo de ponte e comprimento de vão.

**Tabela 2 – Quantitativo de materiais por modelo de ponte e comprimento de vão**

	Vão 5m	Vão 7m	Vão 9m
<b>CONCRETO PRÉ-FABRICADO</b>			
Concreto (kg)	41.900,00	54.902,00	67.904,00
Aço em vergalhão (kg)	1.699,89	2.443,65	3.291,41
Total (kg)	43.599,89	57.345,65	71.195,41
<b>MADEIRA</b>			
Madeira <i>Eucalyptus Dumnii</i> (kg)	11.661,00	17.381,10	26.854,80
Prego em aço (kg)	20,00	23,36	29,46
Total (kg)	11.681,00	17.404,46	26.884,26
<b>MISTA AÇO/CONCRETO</b>			
Concreto (kg)	30.645,00	41.735,00	52.825,00
Aço em vergalhão (kg)	1.597,20	2.175,57	2.753,13
Perfil I em aço (kg)	759,48	1.615,72	2.692,15
Total (kg)	33.001,68	45.526,29	58.270,28

**Fonte: elaborado pelos autores.**

Comparativamente, o peso é significativamente menor para o modelo de ponte em madeira, representando menos de 40% do peso da ponte em concreto pré-fabricado em todos os vãos, e correspondendo a menos de 50% ao peso da ponte mista aço/concreto em todos os comprimentos de vão. Taylor et al. (1995) também identificaram nas pontes em madeira diferentes vantagens, como o baixo peso, a facilidade de fabricação e de instalação, com a possibilidade de ser pré-fabricada.

### 3.3 Desempenho ambiental

A partir da Tabela 3 é possível realizar a comparação direta do impacto ambiental gerado pelos modelos de ponte em cada parâmetro estabelecido e para cada um dos comprimentos estudados. Esta metodologia não permite que sejam estabelecidas relações entre as três categorias – que agrupam certos parâmetros – uma vez que os parâmetros são dados em diferentes unidades de medida e a comparação de diferentes unidades não é viável.

Em um estudo mais aprofundado, poderia ser realizada uma normalização de valores, de forma a converter todos os parâmetros para uma mesma unidade. Ainda, poderiam ser atribuídos diferentes pesos para cada parâmetro dentro de uma categoria, de acordo com a relevância subjetiva que possam ter dentro de determinada análise (CASTRO, 2012).

**Tabela 3 - Comparativo ambiental das pontes em concreto pré-fabricado, madeira e mista aço/concreto**

QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DO BERÇO AO PORTÃO						
MODELO DE PONTE	CATEGORIA	PARÂMETRO	UNIDADE	VÃO		
				5m	7m	9m
Concreto pré-fabricado	Consumo De Energia	Energia Renovável Incorporada (ER)	MJ equiv	5,20E+02	7,14E+02	9,24E+02
		Energia Não Renovável Incorporada (ENR)	MJ equiv	7,89E+04	1,10E+05	1,45E+05
	Emissões Atmosféricas (Aquecimento Global)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Kg CO <sub>2</sub> equiv	6,73E+03	9,09E+03	1,16E+04
		Potencial de Destruição do Ozônio (ODP)	Kg CFC 11 equiv	2,53E-04	3,45E-04	4,44E-04
		Potencial de Acidificação (AP)	Kg SO <sub>2</sub> equiv	1,70E+01	2,34E+01	3,05E+01
		Potencial de Eutrofização (EP)	Kg (PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> equiv	3,40E+00	4,74E+00	6,21E+00
		Potencial de Formação de Ozônio Troposférico (POCP)	Kg Etano equiv	1,68E+00	2,38E+00	3,17E+00
	Esgotamento de Recursos	Potencial de Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP)	Kg Sb equiv	3,19E+01	4,46E+01	5,86E+01
Energia Não Renovável Incorporada (ENR)		MJ equiv	7,89E+04	1,10E+05	1,45E+05	
Madeira	Consumo de Energia	Energia Renovável Incorporada (ER)	MJ equiv	1,84E+05	2,75E+05	4,24E+05
		Energia Não Renovável Incorporada (ENR)	MJ equiv	2,37E+04	3,52E+04	5,41E+04
	Emissões Atmosféricas (Aquecimento Global)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Kg CO <sub>2</sub> equiv	-1,40E+04	-2,08E+04	-3,22E+04
		Potencial de Destruição do Ozônio (ODP)	Kg CFC 11 equiv	1,50E-04	2,24E-04	3,46E-04
		Potencial de Acidificação (AP)	Kg SO <sub>2</sub> equiv	9,50E+00	1,41E+01	2,18E+01
		Potencial de Eutrofização (EP)	Kg (PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> equiv	1,53E+00	2,27E+00	3,50E+00
		Potencial de Formação de Ozônio Troposférico (POCP)	Kg Etano equiv	8,67E-01	1,29E+00	1,98E+00
	Esgotamento de Recursos	Potencial de Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP)	Kg Sb equiv	1,22E+01	1,80E+01	2,78E+01
Energia Não Renovável Incorporada (ENR)		MJ equiv	2,37E+04	3,52E+04	5,41E+04	
Mista aço/concreto	Consumo de Energia	Energia Renovável Incorporada (ER)	MJ equiv	5,22E+02	7,79E+02	1,06E+03
		Energia Não Renovável Incorporada (ENR)	MJ equiv	7,58E+04	1,08E+05	1,43E+05
	Emissões Atmosféricas (Aquecimento Global)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Kg CO <sub>2</sub> equiv	5,80E+03	8,23E+03	1,08E+04
		Potencial de Destruição do Ozônio (ODP)	Kg CFC 11 equiv	2,48E-04	3,69E-04	5,02E-04
		Potencial de Acidificação (AP)	Kg SO <sub>2</sub> equiv	1,67E+01	2,45E+01	3,30E+01
		Potencial de Eutrofização (EP)	Kg (PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> equiv	3,32E+00	4,80E+00	6,39E+00
		Potencial de Formação de Ozônio Troposférico (POCP)	Kg Etano equiv	1,66E+00	2,37E+00	3,12E+00
	Esgotamento de Recursos	Potencial de Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP)	Kg Sb equiv	3,13E+01	4,53E+01	6,03E+01
Energia Não Renovável Incorporada (ENR)		MJ equiv	7,58E+04	1,08E+05	1,43E+05	

Fonte: elaborado pelos autores.

A partir da Tabela 3, pode-se perceber que em todos os parâmetros das três categorias analisadas, com exceção do parâmetro energia renovável incorporada (ER), a ponte em madeira apresenta o melhor desempenho. Como se pode observar, a solução que apresenta melhor desempenho é aquela que exibe o menor valor em cada um dos parâmetros, indicando que a estrutura gera menor impacto ambiental no parâmetro considerado durante a etapa do ciclo de vida considerada (do berço ao portão).

Com relação à categoria de consumo de energia, em que os parâmetros ER e ENR são expressos em mesma unidade e podem, dessa forma, ser agrupados, a ponte mista aço/concreto apresenta o desempenho mais satisfatório (menor consumo de energia), seguida da ponte em concreto pré-fabricado e da ponte em madeira. A ponte em concreto pré-fabricado apresenta o menor consumo de energia renovável incorporada (ER) seguida da ponte mista aço/concreto e da ponte em madeira em todos os vãos analisados. Já no parâmetro ENR, a ponte em madeira apresenta o menor consumo, seguida da ponte mista aço/concreto e da ponte em concreto pré-fabricado. Embora o maior consumo de energia se mostre uma desvantagem ambiental para o caso da ponte em madeira, o maior consumo de fontes renováveis em detrimento das não renováveis deve ser considerado e analisado. Essa consideração deve-se ao fato de que fontes de energia renováveis podem ser aproveitadas ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento, enquanto que a utilização de fontes de energia não renováveis depende da limitação de recursos existentes.

Na categoria emissões atmosféricas, a ponte em madeira apresenta melhores resultados em todos os parâmetros. Nos parâmetros GWP e POCP, o melhor, mediano e pior desempenho são relativos, respectivamente, à ponte em madeira, mista aço/concreto e ponte em concreto pré-fabricado. Já para os demais parâmetros (ODP, AP e EP), o segundo melhor desempenho em cada parâmetro é atribuído à ponte mista aço/concreto no vão de 5m e à ponte em concreto pré-fabricado nos vãos de 7 e 9m. A ponte em madeira apresenta valores negativos de impacto ambiental no parâmetro potencial de aquecimento global (GWP) devido à capacidade de aprisionamento de CO<sub>2</sub> da madeira.

Da mesma forma, na categoria esgotamento de recursos a ponte em madeira apresenta desempenho mais satisfatório em todos os parâmetros. No parâmetro ENR, o segundo melhor comportamento é atribuído à ponte mista aço/concreto. Já no parâmetro ADP, o desempenho das pontes em concreto pré-fabricado e da ponte mista aço/concreto varia com o vão, sendo a ponte em concreto pré-fabricado a que apresenta menor impacto ambiental nos vãos 7 e 9m.

Nesse sentido, ressalta-se a importância do detalhamento dos projetos anteriormente à realização de análises comparativas, uma vez que a escolha das práticas construtivas e dos materiais de construção utilizados influenciam significativamente os resultados. Isto foi evidenciado pela variação no desempenho ambiental apresentado por um mesmo projeto de ponte, quando avaliado sob diferentes características geométricas (avaliação de diferentes comprimentos de vão e conseqüentemente diferentes áreas de tabuleiro).

#### 4 Considerações finais

Acerca do peso de todos os materiais utilizados em cada projeto de superestrutura, a ponte em madeira apresenta-se como a mais leve em todos os vãos, seguida da ponte mista aço/concreto e da ponte em concreto pré-fabricado.

Com relação à análise ambiental, pode-se dizer que a ponte em madeira exibe os melhores resultados em todos os parâmetros das categorias emissões atmosféricas e esgotamento de recursos naturais, contudo, implica em grande consumo de energia. Isto significa que contabilizando todos os processos envolvidos na extração da matéria-prima e na transformação em produtos de construção, o sistema construtivo em madeira apresenta menor impacto ambiental relacionado com as emissões atmosféricas e com o esgotamento de recursos naturais, entretanto, resulta em maior consumo de energia.

Em relação as demais pontes – que em todos os parâmetros, com exceção do parâmetro ER, apresentam resultados menos satisfatórios que a ponte em madeira – em alguns parâmetros a ponte em concreto pré-fabricado assume melhor desempenho, em outros a mista aço/concreto tem melhor performance, fato que varia com o vão estabelecido.

Constatou-se que a análise ambiental realizada por este estudo é uma ferramenta efetiva de comparação entre tipologias construtivas, pois permite adaptar diferentes soluções ao processo. Entretanto, ainda são necessários estudos complementares envolvendo as demais etapas do ciclo de vida não compreendidas pelos limites deste trabalho, considerando as fases de uso, manutenção, bem como processos de reciclagem e aproveitamento dos materiais ao fim do ciclo. Nesse sentido, sugere-se que componentes relacionados à durabilidade das estruturas sejam abordadas por trabalhos futuros.

Destaca-se que esta metodologia de estudo não determina qual é a melhor estrutura ou o melhor processo em termos de rentabilidade e funcionalidade, mas pode ser vista como ferramenta de apoio para a tomada de decisão acerca da construção sustentável. Ressalta-se ainda que análises comparativas devem ser realizadas dentro de cada contexto e época específica e deve-se considerar a harmonia entre os três pilares da sustentabilidade – as dimensões ambiental, econômica e social. Por fim, entende-se que a elaboração de comparativos de projetos distintos constitui um importante recurso para a tomada de decisão com vistas à sustentabilidade na construção civil.

## Referências

- ABNT. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro. 2013.
- ANDRADE, T. F. R. **Integração da análise ciclo de vida nas práticas de projetos de edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.
- CASTRO, R. R. T. L. **Análise da sustentabilidade de estruturas: aço vs betão**. Tese (Doutorado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) – Universidade do Minho, Braga, 2012.
- DA SILVA, F. J.; PHILIPPSEN, M. **Estudo e concepção de modelo geométrico e estrutural de ponte em vigas de madeira roliça de eucalipto para estradas vicinais da Região Sudoeste do Estado do Paraná**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.
- DER. Departamento de Estradas de Rodagem. **Construção de Pontes Municipais**. Especificações técnicas, projetos tipo e montagem. 1999.
- DU, G. et al. **Life cycle assessment as a decision support tool for bridge procurement: environmental impact comparison among five bridge designs**. Int J Life Cycle Assess, n.19, p.1948–1964, 2014.
- ELLER, P. R. **Pré-Dimensionamento de Vigas Mistas de Aço e Concreto para Pontes de Pequeno Porte**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- GERVÁSIO, H. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas**. In: Congresso Latino-Americano da construção metálica CONSTRUMETAL. São Paulo, Brasil. 2008.
- MACHADO, L. R. **Pontilhões de madeira: substituição por pontes em estruturas mistas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- MILANI, C. J. **Subsídios para o diagnóstico das pontes do sistema viário do município de Pato Branco – Paraná**. 216f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.
- TAYLOR, S. E. et al. **Portable glulam timber bridge design for low-volume forest roads**. In: Proceedings of the 6th International conference on low-volume roads, p. 25-29, 1995.

## Uma Alternativa Energética Sustentável Viável para o Brasil

### *A Viable Sustainable Energetic Alternative for Brazil*

**Marcelo Menezes Morato**

marcelomnzm@gmail.com

**Paulo Renato da Costa Mendes**

paulorc@hotmail.com

**Julio Elias Normey-Rico**

julio.normey@ufsc.br

#### **Resumo**

O futuro da geração de energia deve ser discutido e os holofotes apontam para a indústria nacional da Cana-de-Açúcar, atividade chave para a produção de açúcar e etanol. Este trabalho tem como objetivo propor e analisar uma estrutura híbrida para a geração de energia limpa, de forma sustentável, a ser integrada a usinas de Cana-de-Açúcar, considerando o cenário energético do Brasil. Uma estrutura eficiente de *microrrede* é proposta como uma nova abordagem para geração híbrida de energia, integrando a reutilização dos resíduos da Cana-de-Açúcar (como a biomassa e o biogás) combinada com o uso de fontes renováveis externas, tais como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas, almejando reduzir impactos ambientais. A modelagem do sistema proposto segue a metodologia dos *Energy Hubs*, que permite a integração de diferentes transportadores, geradores e acumuladores de energia em um mesmo modelo. Em sequência, uma abordagem para a operação *ótima* é apresentada, seguindo a metodologia do *Controle Preditivo baseado em Modelo*. Os principais resultados deste trabalho se resumem em: *a)* resultados de simulação que provam a operação satisfatória da *microrrede* proposta, sua flexibilidade para cumprir diferentes cenários de demanda energética, como também os ganhos práticos em termos econômicos e de sustentabilidade; *b)* uma discussão e análise de custo e viabilidade econômica completa, através de cálculos de *payback*, apontando para a possibilidade de implementação em um futuro próximo.

**Palavras-chave:** Biomassa; Fontes Renováveis; Eficiência Energética; Desenvolvimento Sustentável; Brasil.

### **Abstract**

*The future of energy generation must be discussed and highlights are given to the national Sugarcane Industry, key activity for the production of ethanol and sugar. This work has the objective of proposing and analysing a hybrid scheme for clean energy generation to be integrated to such Sugarcane industries in Brazil. An efficient microgrid strategy is presented as a new approach toward hybrid generation, with the re-use of sugarcane residuals (such as biomass and bio-gas), combined with external renewable sources, such as PV panels and wind turbines. The system is modelled according to the Energy Hubs method. In the sequence, an approach for the optimal control of such plant is presented, using Model Predictive Control. The main results of this work are: a) simulation assessments that demonstrate the satisfactory operation of the proposed microgrid, as well as the practical gains in terms of profits and sustainability; b) a discussion and a cost analysis for this system, using payback analysis, point to a real possibility of this application in the future.*

**Keywords:** Biomass; Renewable Sources; Energy Efficiency; Sustainable Development; Brazil.

## 1. Introdução

O uso e a geração de energia de maneiras eficientes são peças chave para um futuro mais sustentável e ecologicamente amigável, como é discutido por Johansson et al. (2004), e também por Evans et al. (2009).

Muito é discutido sobre o uso de fontes renováveis, mas é importante ressaltar que, mesmo que estas sejam muito atrativas, elas são intermitentes, difíceis de prever e altamente dependentes das condições climáticas da região planta energética, como é colocado por Shafiee e Topal (2009).

De forma geral, o maior problema relacionado a sistemas de energia renovável é a falta de fiabilidade e a qualidade inconstante (sujeita a flutuações imprevisíveis) na energia produzida. Uma solução prática para tratar este problema é considerar a inclusão de sistemas intermediários de armazenamento de energia, como baterias, *super*-capacitores, e outros, ver a discussão de Dell e Rand (2001).

Este trabalho visa o caso da geração distribuída de energia. Isso refere-se a um conjunto de plantas de energia, localizadas perto do usuário final, que podem ser integradas a rede elétrica ou operadas de forma autônoma e que progressivamente tem sido chamadas de *microrredes* (Lassester e Piagi, 2004), (Barnes et al., 2007).

### 1.1 O Cenário Energético Brasileiro

O Brasil tem uma matriz energética imensamente diversificada (Mantovani et al., 2017), com uma parcela de 43,5% de renováveis. Desta parcela, o etanol e a biomassa da cana-de-açúcar correspondem a 40,1%.

A energia solar, por exemplo, pode ser considerada como uma das possíveis fontes de energia que podem aumentar a quantidade de geração renovável, pois o país tem um grande potencial solar em varias regiões. O investimento neste setor tem aumentado nos últimos anos e apresenta custos competitivos (Tiba et al, 2000).

O Brasil é o maior produtor de Cana-de-açúcar do mundo. A indústria da Cana-de-açúcar tem grande importância para este estudo, pois o tratamento da cana bruta tem uma grande quantidade de resíduos orgânicos que podem ser tratados como *bio*-fontes de energia. Existem três principais resíduos que podem ser usados para geração de energia: o bagaço, o palhico (palha) e a vinhaça.

O bagaço é o principal resíduo da cana. Ele é muito poluente se for descartado sem o devido tratamento e, por isso, ele é comumente usado como combustível de queima para caldeiras, como explica Alves (2006). Um estudo de diferentes tecnologias para o uso do bagaço é encontrado em (Dantas, Legey e Mazzone, 2013).

A palha da cana é composta de folhas secas, verdes e pela ponteira da cana-de-açúcar. Este resíduo é responsável por aproximadamente um terço da fonte primária de energia da cana, como detalha Leal et al. (2013). Porém, ainda não é explorado em toda sua plenitude. No Brasil, é muito comum a palha ser deixada no chão dos campos ou ser queimada no período de pré-colheita.

Finalmente, a vinhaça é um resíduo da destilação do caldo da cana-de-açúcar (garapa) que pode ser transformado em biogás, considerando digestão anaeróbica. A fiabilidade econômica, o potencial energético e as emissões de CO<sub>2</sub> evitadas com o uso de biogás proveniente da vinhaça são discutidas por Bernal et al. (2017).

Em termos de quantificação destes resíduos: para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, aproximadamente 730 kg de garapa são obtidos e mais de 250 kg de bagaço. Em

outros termos: para cada litro de etanol produzido, 12 litros de vinhaça podem ser obtidos das sobras.

Uma discussão completa do uso de algumas dessas fontes como possíveis *biocombustíveis* e algumas projeções para o futuro foram traçadas por Demirbas (2008).

## 1.2 Síntese do Problema

O problema investigado neste trabalho é como adequadamente responder a seguinte pergunta (que atualmente está em aberto): **Como integrar o uso de fontes renováveis a matriz energética brasileira de forma factível e rentável?**

Este trabalho detalha a tecnologia presente na maioria das indústrias de Cana-de-açúcar, no Brasil, e, então, propõe uma nova solução de geração híbrida, considerando a reutilização dos resíduos da cana em conjunto com uso de fontes renováveis externas, como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas, visando prevenir e, se quando não for possível, atenuar as emissões e o impacto ambiental.

A solução proposta é uma *microrrede* baseada em uma usina de cana-de-açúcar real, com a adição de novos subsistemas de geração renovável. Esta solução é modelada de acordo com a metodologia dos *Energy Hubs*, definida por Geidl e Andersson (2007) como uma interface generalizada entre produtores, consumidores e linhas de transmissão de energia. Tal formalização permite alta flexibilidade em termos de detalhe de modelagem matemática e precisão. Em seguida, uma abordagem para o funcionamento ótimo desta *microrrede* é detalhada, seguindo a metodologia do *Controle Preditivo baseado em Modelo*.

Este documento é organizado da seguinte forma: primeiramente objetivos são apresentados; em seguida, métodos de modelagem e de controle são discutidos; resultados de simulação do sistema mostrados, e uma análise de custo detalhada é feita; por fim, conclusões são apresentadas.

## 2. Objetivos

Como foi explicado, este trabalho propõe uma estrutura genérica para geração híbrida de energia, baseada em plantas de processamento de cana-de-açúcar, de forma a integrar o uso de fontes renováveis à matriz energética brasileira de forma factível.

### 2.1 A Indústria da Cana-de-Açúcar

A maioria das usinas que processam a Cana-de-açúcar, no Brasil, tem uma estrutura de funcionamento similar. Essas indústrias têm diversas demandas internas dado à produção de açúcar e etanol, tais como: produzir vapor a diferentes níveis de pressão, produzir água fria para resfriar equipamentos (tanques com óleo quente, entre outros) e produzir energia elétrica para manter a própria usina. Além disso, a energia elétrica excedente é costumeiramente vendida a um distribuidor local (rede externa).

Na Figura 1 é apresentado uma representação de uma comum indústria de processamento de cana-de-açúcar (chamada aqui de *Indústria Base*), com todos seus subsistemas, entradas e saídas. Vale ressaltar que uma prática comum nos canaviais é a estocagem de bagaço em pilhas, como retrata a Figura 2. Essas pilhas podem ter até 300 m de largura, 100 m de comprimento e 40 m de altura, como detalhado por Dos Santos et al. (2011), estocando mais de 100000 toneladas desta biomassa. Assim sendo, este trabalho considera que a *Indústria Base* tem sua própria área dedicada ao armazenamento de bagaço.

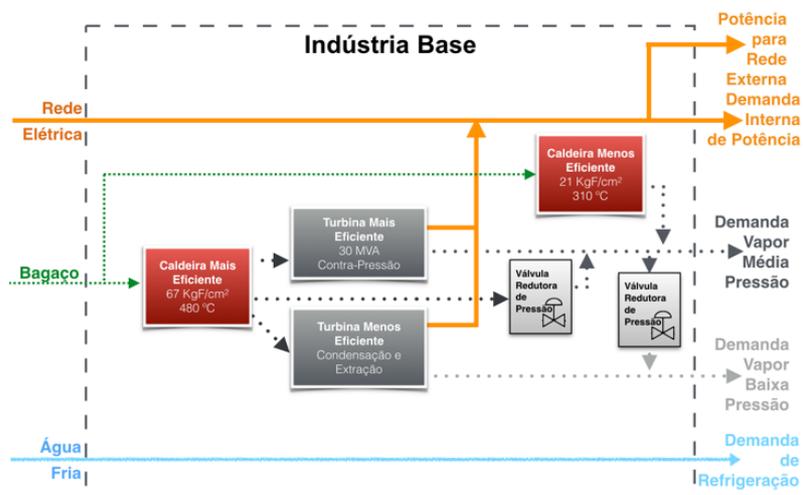


Figura 1 – Indústria Base. Fonte: elaborada pelos autores.



Figura 2 – Estoque de Bagaço em um Canavial. Fonte: elaborada pelos autores.

## 2.2 Mistura de Biomassa

Uma das principais mudanças na *Indústria Base* proposta neste trabalho é como as caldeiras devem ser movidas: com uma mistura apropriada de biomassas.

Como detalham Innocente (2011) e Maués (2007), uma maximização do poder calorífico do bagaço pode ser atingida se este é apropriadamente misturado com palhiço. Neste sentido, a Tabela 1 visa justificar porque deve-se usar uma mistura de bagaço com palhiço, ressaltando que um poder calorífico mais elevado acarreta em uma maior geração energética.

Tabela 1 – Misturas de Biomassas.

Amostra	Poder Calorífico Superior	Potencial Energético
100 % Bagaço	17.90 M.J/kg	1.40
90% Bag. 10% Palhiço	18.66 M.J/kg	1.42
80% Bag. 20% Palhiço	18.59 M.J/kg	1.49

70% Bag. 30% Palhiço	18.42 M.J/kg	1.54
60% Bag. 40% Palhiço	18.28 M.J/kg	1.50
50% Bag. 50% Palhiço	18.05 M.J/kg	1.65

Assim sendo, uma das propostas deste trabalho é escolher um fator de mistura de biomassa ótimo, tal que a produção de vapor pelas caldeiras sempre seja maximizada.

### 2.3 A Microrrede Proposta

Agora, esta subseção detalhará o sistema de geração híbrido proposto para o cenário energético brasileiro, composto de subsistemas a serem adicionados a *Indústria Base*.

A *microrrede* proposta (ver representação completa na Figura 3) é composta dos subsistemas listados a seguir: Duas caldeiras, com diferentes eficiências, já presentes na *Indústria Base*; Duas turbinas, de diferentes eficiências, também já presentes na *Indústria Base*; Duas válvulas redutoras de pressão, já presentes anteriormente; Um estoque de bagaço; Uma estrutura de geração de calor e potência combinada (chamada de *CHP*), a ser acionado à *Indústria Base*; Um resfriador de água, a ser acionado à *Indústria Base*; Um tanque armazenador de água quente, a ser acionado à *Indústria Base*; Painéis fotovoltaicos (FV), a serem acionados à *Indústria Base*; Painéis de aquecimento solar (AS), a serem acionados à *Indústria Base*; Uma turbina eólica, a ser acionada à *Indústria Base*; Um estoque de palhiço, a ser acionado à *Indústria Base*; Um trocador de calor (sistema que converte vapor a alta pressão em água quente), a ser acionado à *Indústria Base*; Um biodigestor de vinhaça, responsável pela produção de biogás, a ser acionado à *Indústria Base*; Um tanque para o estoque de biogás comprimido, a ser acionado à *Indústria Base*; Um banco de baterias, a ser acionado à *Indústria Base*.

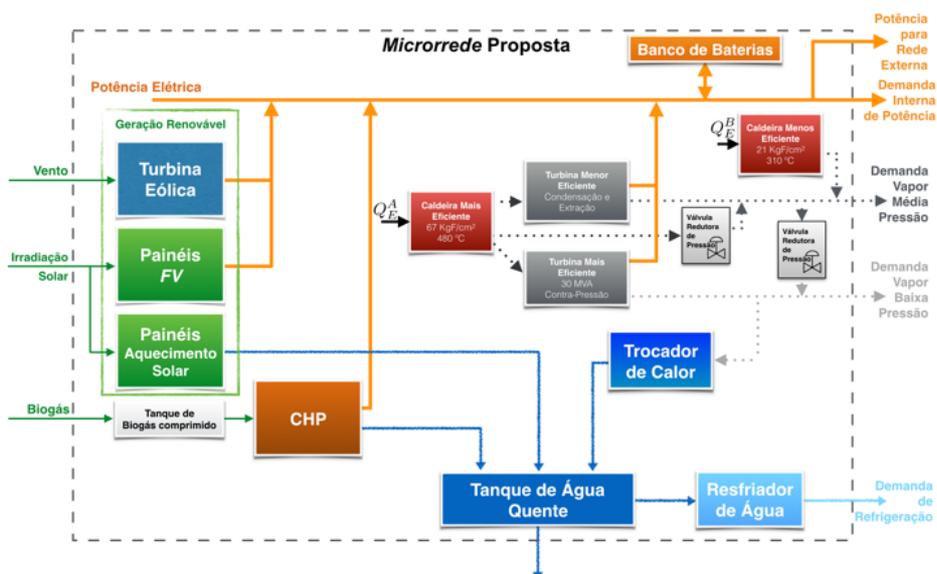


Figura 3 – Microrrede Generalizada Proposta. Fonte: elaborada pelos autores.

Esta *microrrede* generalizada é uma adaptação plausível de uma indústria de processamento de cana-de-açúcar que já produza sua própria energia. Ela é interessante, sob um olhar ecológico, pois propõe o uso de fontes renováveis e a reciclagem dos resíduos da cana-de-

açúcar.

Comparando a *Indústria Base* e a *microrrede* proposta, há um aumento na capacidade de geração de energia e, além disso, um aumento da eficiência e da sustentabilidade entre os sistemas. A *microrrede* visa usar a melhor tecnologia possível de tal forma a respeitar normas mínimas ambientais e o estado da arte em automatização de processos (com técnicas de controle e modelagem avançadas, a serem detalhadas na próxima seção).

É importante ressaltar que os subsistemas adicionais propostos são viáveis dentro do contexto brasileiro. Como exemplo: muitas das indústrias de cana-de-açúcar situam-se, no Brasil, em locais de alta insolação anual e grande disponibilidade de vento, onde painéis *FV* e turbinas eólicas encaixam-se perfeitamente.

Vale ressaltar que os símbolos  $Q_E^A$  e  $Q_E^B$ , na Figura 2, representam fluxos de misturas de biomassa (bagaço combinado com palhicho de forma ótima) que propulsionam as caldeiras.

Sobre os subsistemas da *microrrede*: as caldeiras devem operar de tal forma a produzir as demandas internas de vapor; já as turbinas e o CHP visam produzir energia elétrica que, junto com a geração renovável dos painéis *FV* e da turbina eólica, devem atender as demandas energéticas.

O *CHP* é um gerador de energia de altíssima eficiência, movido a gás. Com a combustão do gás de entrada, este sistema produz energia elétrica e, também, água quente. No caso deste estudo, o *CHP* é propulsionado com o uso de biogás, proveniente da digestão anaeróbica da vinhaça.

A proposta desta *microrrede* foi baseada em um estudo de uma planta real de processamento de cana-de-açúcar, localizada no estado do *Paraná*. É importante notar que este sistema de geração de energia híbrida é sujeito à diversas restrições de operação. Como tratar estas restrições é um problema de *Controle Ótimo*, detalhado na próxima seção.

### 3. Métodos

Nesta seção, serão mostrados os métodos utilizados para modelar e controlar a *microrrede* proposta. Modelagem, aqui, refere-se a como representar o sistema de um ponto de vista matemático, tal que este possa ser simulado (com uso de ferramentas adequadas) e analisado mais detalhadamente. Uma modelagem matemática eficiente permite que técnicas avançadas de Controle sejam aplicadas ao sistema proposto. Controle, por sua vez, diz respeito a como administrar um sistema de energia, tal que seja produzida a máxima quantidade possível de energia elétrica, dado as condições de operação.

#### 3.1 Os *Energy Hubs*

A modelagem seguida neste trabalho é a dos *Energy Hubs*. Um *Energy Hub* pode ser usado para modelar a interface entre produtores e consumidores de energia e a linha de transmissão. De um ponto de vista externo, um *Energy Hub* pode ser representado como um caixa-preta com os seguintes elementos: (1) entradas e saídas de potência elétrica; (2) conversão de energia; (3) armazenamento de energia. Isto é esquematizado na Figura 3, onde (a), (b) e (c) podem coexistir, mas isso não é condição imperativa. Como exemplo: um painel *FV* é composto unicamente de (b), entretanto um banco de baterias é representado somente por (c).

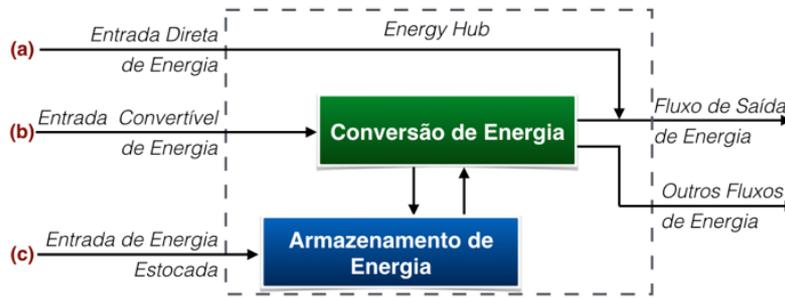


Figura 4 – Energy Hub

Seguindo a modelagem matemática dos *Energy Hub*, encontra-se uma representação final a variáveis de estados, colocada por Morato et al. (2018). Este tipo de representação permite que um sistema seja descrito relacionando a sua condição em um próximo instante de observação, dado a condição atual.

### 3.2 Controle Preditivo baseado em Modelo

Dado que a modelagem do sistema já foi devidamente apresentada, é necessário detalhar as técnicas de controle aplicadas a *microrrede*. Neste trabalho é seguida a metodologia do *Controle Preditivo baseado em Modelo (CPM)*, como foi outrora apresentado por Morato et al. (2017). Resumidamente, a metodologia do *CPM* permite escolher, a cada hora, as configurações que devem ser aplicadas ao sistema para que se atinja uma produção energética máxima. Isso se dá através da solução de um problema de otimização quadrático sobre restrições, como detalhado por Bordons e Camacho (2007).

## 4. Resultados e Discussão:

Visando demonstrar a operação da *microrrede* de geração híbrida proposta, esta seção expõe alguns resultados de simulação e uma análise de custo para uma possível implementação futura.

### 4.1 Resultados de Simulação

As simulações aqui mostradas foram obtidas usando os seguintes softwares: *MATLAB*, *Yalmip* e *CPLEX*.

Para um primeiro cenário, consideramos a geração de energia proveniente da *microrrede* proposta, dado um mês de disponibilidade média de sol e vento. Os respectivos resultados são colocados na Figura 5, onde observa-se a energia total vendida, a energia produzida pelas turbinas, pelo *CHP* e pelas fontes renováveis.

Já na Figura 6, observa-se um segundo cenário considerando apenas a produção pela *Indústria Base*. Neste cenário, considera-se que as caldeiras são propulsadas pelo uso de gás natural (sem a reutilização dos resíduos da cana), gastando aproximadamente 11.78 toneladas de gás.

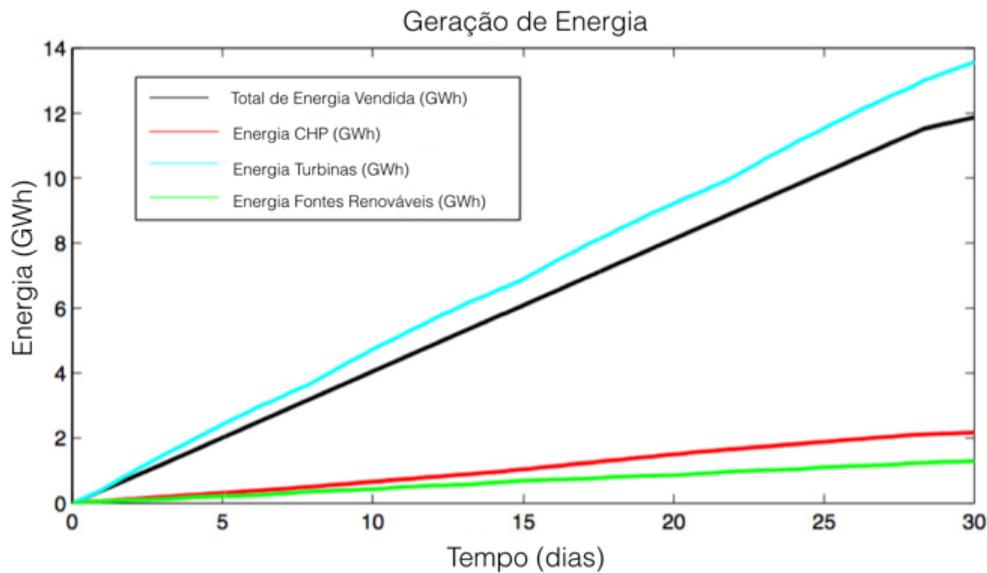


Figura 5 – Primeiro Cenário de Simulação. Fonte: elaborada pelos autores.

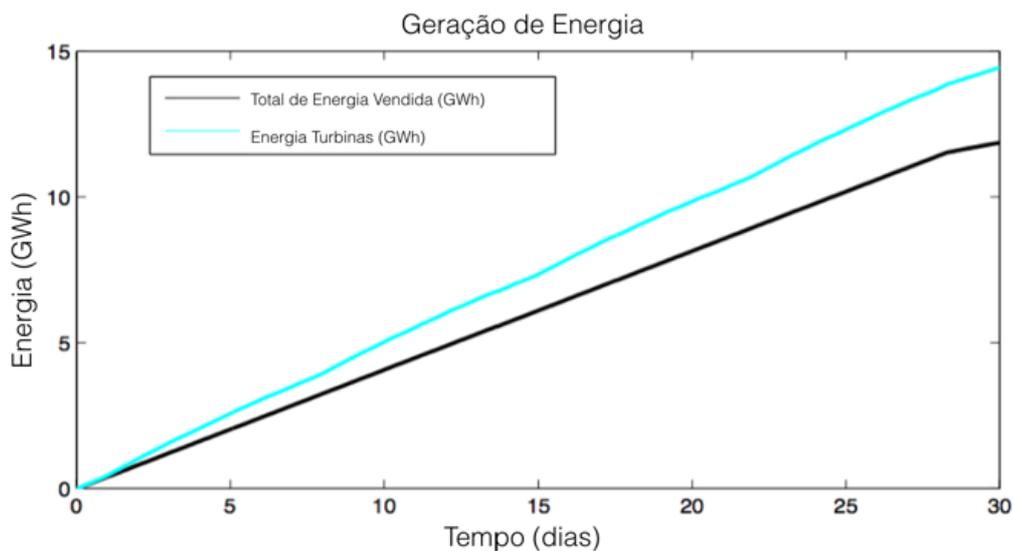


Figura 6 – Segundo Cenário de Simulação. Fonte: elaborada pelos autores.

Como pôde ser visto, o ganho em termos de produção de energia é muito grande se compararmos a *microrrede* proposta com a *Indústria Base*.

Já em termos de energia *limpa*, sustentável e lucro aproximado, em um mês de geração, o leitor deve observar a Tabela 2, que justifica ainda mais a importância da *microrrede* proposta.

Tabela 2 – Ganhos com a Microrrede.

Subsistema	Ganhos Energéticos	Lucro Aproximado
<b>CHP</b>	1920 MWh	\$ 89,376.00
<b>Painéis FV:</b>	-	-

Alta Insolação	228 MWh	\$10,613.40
Média Insolação	189 MWh	\$8,797.95
Baixa Insolação	123.6 MWh	\$ 5, 753.58
<b>Turbina Eólica:</b>	-	-
Muito Vento	1578 MWh	\$ 73, 455.90
Vento Médio	888 MWh	\$41,336.40
Pouco Vento	498 MWh	\$23,181.90

#### 4.2 Análise de Custo

Para explorar ainda mais a viabilidade do sistema de energia proposto, uma análise de custo através de técnicas de *payback* foi desenvolvida, com auxílio do software *HOMER Pro*. Os resultados obtidos mostram que o investimento neste sistema seria pago em até 5 anos e um mês. Estes dados são detalhados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Análise de Payback.**

Custo de Capital	\$ 16,966,791.30
Operação Manutenção	\$513,446.55
Lucro Venda Energia	\$ 8,394,598.06
Lucro Líquido	\$ 3,312,477.72
Tempo de <i>Payback</i>	5.12 anos

#### 5. Conclusões

O planejamento da geração de energia está mudando bruscamente para países em desenvolvimento, como o Brasil. Este trabalho visou discutir como o paradigma da transição energética pode ocorrer no Brasil, de uma maneira viável. Para isso, uma possível estrutura de geração híbrida foi apresentada e analisada sob simulação.

#### Referências

- BARNES, Mike et al. Real-world microgrids-an overview. In: **2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering**. IEEE, 2007. p. 1-8.
- BERNAL, Andressa Picionieri et al. Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. **Journal of cleaner production**, v. 151, p. 260-271, 2017.
- BORDONS, Carlos; CAMACHO, E. F. **Model predictive control**. Springer Verlag London Limited, 2007.
- DANTAS, Guilherme A.; LEGEY, Luiz FL; MAZZONE, Antonella. Energy from sugarcane bagasse in Brazil: An assessment of the productivity and cost of different technological routes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 356-364, 2013.
- DELL, Ronald M.; RAND, David Anthony James. Energy storage—a key technology for global energy sustainability. **Journal of power sources**, v. 100, n. 1-2, p. 2-17, 2001.
- DEMIRBAS, Ayhan. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy conversion and management**, v. 49, n. 8, p. 2106-2116, 2008.
- DOS SANTOS, Moacyr L. et al. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Quim. Nova**, v. 34, n. 3, p. 507-511, 2011.
- EVANS, Annette; STREZOV, Vladimir; EVANS, Tim J. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 5, p. 1082-1088, 2009.
- GEIDL, Martin; ANDERSSON, Göran. Optimal power flow of multiple energy carriers. **IEEE Transactions on power systems**, v. 22, n. 1, p. 145-155, 2007.
- INNOCENTE, Andréia Franco. Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar: estudo de caso. 2011.
- JOHANSSON, Thomas B. et al. **The potentials of renewable energy**. March, 2004.
- LASSETER, Robert H.; PIAGI, Paolo. Microgrid: A conceptual solution. In: **IEEE Power Electronics Specialists Conference**. 2004. p. 4285-4291.
- LEAL, Manoel Regis LV et al. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p. 11-19, 2013.
- MANTOVANI, Paula Renata Albrecht; NEUMANN, Pamela Nicole; EDLER, Marco Antonio Ribeiro. Matriz energética brasileira: em busca de uma nova alternativa. **Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 4, n. 1, 2017.
- MAUÉS, J. ARONE. Maximização da geração elétrica a partir do bagaço e palha em usinas de açúcar e álcool. **Revista Engenharia**, v. 583, p. 88-98, 2007.
- MORATO, Marcelo Menezes et al. Optimal operation of hybrid power systems including renewable sources in the sugar cane industry. **IET Renewable Power Generation**, v. 11, n. 8, p. 1237-1245, 2017.
- MORATO, Marcelo Menezes et al. Future hybrid local energy generation paradigm for the Brazilian sugarcane industry scenario. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 101, p. 139-150, 2018.
- SHAFIIE, Shahriar; TOPAL, Erkan. When will fossil fuel reserves be diminished?. **Energy policy**, v. 37, n. 1, p. 181-189, 2009.
- TIBA, Chigueru et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. **Recife: Editora Universitária da UFPE**, p. 32, 2000.

### **Financiamento**

Os autores agradecem o *CNPq* e o *Ministerio de Economía y Competitividad de España* por financiarem, respectivamente, os projetos *CNPq401126/2014-5*, *CNPq303702/2011-7* e *DPI2016-78338-R*.

## **Estudo de caso para aplicação de telhado verde como cobertura sustentável ao Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina**

### ***Case study for applying green roof as a sustainable cover to the CETTAL Building of the Universidade do Sul de Santa Catarina***

**Fernanda de Oliveira Dozol Lopes, especialista, professora no departamento de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (orientadora)**  
fernanda.dozol@unisul.br

**João Vitório Dagostin, acadêmico de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL**  
joao.dagostin@unisul.br

**Joelma dos Santos, acadêmica de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL**  
joelma.santos@unisul.br

#### **Resumo**

O presente artigo tem por objetivo apresentar a análise técnica e econômica para a implantação de uma cobertura vegetal no Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina, como parte do projeto de reforma e revitalização sustentável proposto à edificação. A aplicação de telhado verde como alternativa sustentável de cobertura para edificações, quando corretamente executado, apresenta vantagens relevantes em relação ao sistema tradicional, tal como a garantia de maior conforto térmico e acústico, redução de ilhas de calor locais, melhora do microclima local, além de proporcionar um maior atributo arquitetônico ao empreendimento. Por se tratar de uma edificação educacional, ao incorporar tais práticas sustentáveis às suas instalações físicas, a Universidade além de reduzir os gastos de utilização referente à climatização de ambientes, ainda proporcionará maior consciência coletiva na comunidade a qual pertence, devido ao caráter ecológico das soluções abordadas.

**Palavras-chave:** Cobertura vegetal; Cobertura verde; Sustentabilidade.

#### **Abstract**

*This article aims to present the technical and economic analysis for the implementation of a vegetation cover in the CETTAL Building of the Universidade do Sul de Santa Catarina, as part of the reform and sustainable revitalization proposed for the building. The application of green roof as a sustainable alternative to cover buildings, when properly executed, presents relevant advantages compared to the traditional system, such as to guarantee thermal and acoustic comfort, reduction of local heat islands, improves the local microclimate, in addition to providing a greater architectural attribute to the enterprise. Because it is an educational building, by incorporating such sustainable practices at their facilities, the University, in addition to reducing usage costs related to ambient air conditioning, will also provide greater collective awareness in the community to which it belongs, due to the ecological character of the solutions addressed.*

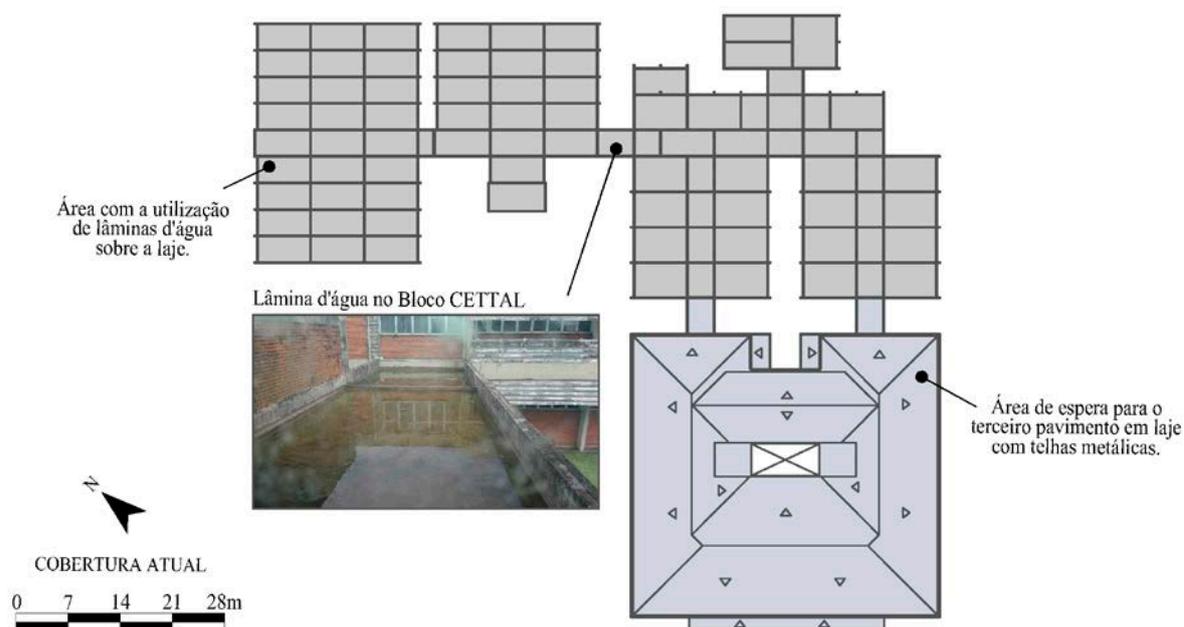
**Keywords:** Vegetation cover; Green roof; Sustainability.

## 1. Introdução

O Bloco CETTAL (Centro de Tecnologia Alimentar) da Universidade do Sul de Santa Catarina, localiza-se na Rua Padre Dionísio da Cunha Laudt, no Bairro Dehon, município de Tubarão/SC. Sua construção data ao final da década de 80, sendo concebido a princípio como um projeto básico de seis laboratórios, que se tornaram salas de aula para os cursos de graduação. Diante da constante oferta de ensino, o espaço físico acabou sendo ampliado a partir de 2001, não sofrendo nenhuma intervenção de grande porte desde então. Atualmente o bloco CETTAL abriga majoritariamente os cursos de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Matemática, Agronomia, Comunicação Social e áreas do conhecimento correlatas da Instituição de Ensino.

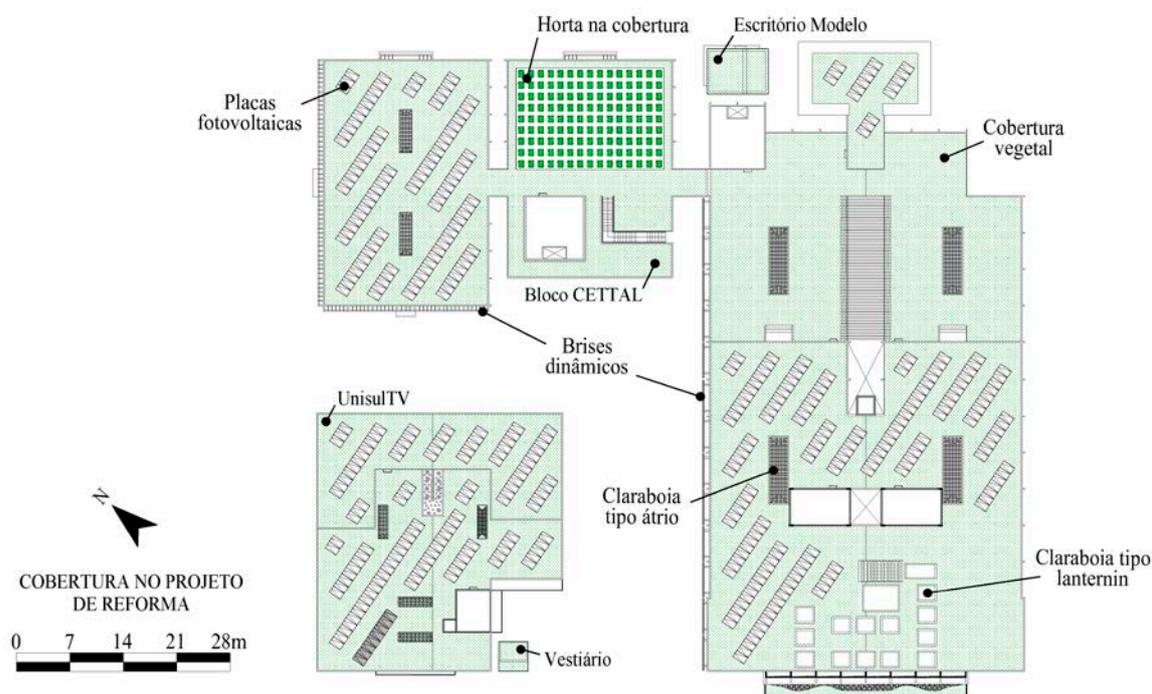
Atualmente esta edificação conta com parte da cobertura em telhas metálicas (na área de ampliação). Nas demais áreas, no projeto original da década de 80, a cobertura do prédio é composta por um conjunto de laje impermeabilizada para conter uma lâmina d'água. Acredita-se que esta solução foi considerada a princípio com o propósito alternativo de contribuir para o conforto térmico no interior da edificação através de um processo simples e de custo relativamente baixo, embora a manutenção do sistema de massa d'água sobre a laje não seja totalmente prática.

Além dos problemas causados pela falta de manutenção periódica de reaplicação da impermeabilização e desobstrução dos sistemas de drenagem, causando goteiras em certas épocas, a utilização da lâmina d'água na cobertura propicia a proliferação de mosquitos, principalmente durante os meses de verão. Do ponto de vista arquitetônico, esta solução também não se apresenta de maneira muito eficiente, afinal não contribui esteticamente para a arquitetura local. Na imagem da figura 1 é possível identificar na planta de cobertura da edificação as áreas que utilizam atualmente este sistema alternativo com lâmina d'água no prédio em questão.



**Figura 1: Cobertura atual do Bloco CETTAL. Fonte: Modificado de acervo pessoal da UNISUL e arquivo pessoal dos autores (2018).**

Como parte do Trabalho de Conclusão de Curso, os autores propuseram à Instituição de Ensino um projeto de reforma e revitalização sustentável para o Bloco CETTAL. Uma das soluções apresentadas consistiu na introdução de cobertura vegetal à edificação, como forma de garantir o conforto térmico e acústico dos usuários, bem como garantir a melhora do microclima local e incentivo estético das instalações, substituindo as atuais lâminas d'água por um sistema mais eficiente. A planta de cobertura do projeto de intervenção na figura 2 ilustra as áreas propostas com esta prática da arquitetura sustentável.



**Figura 2: Planta de cobertura da proposta de reforma para o Bloco CETTAL. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

Aliado à cobertura vegetal, em projeto foram sugeridos elementos adicionais visando a sustentabilidade, tal como a inserção de placas fotovoltaicas, conforme estudos prévios de Souza (2018) e Pereira (2018) para a edificação em questão, sendo constatado a necessidade de 762 painéis fotovoltaicos com 320W para atender 100% do consumo interno do empreendimento, dada a eficácia do sistema, sendo possível atingir o *payback* em aproximadamente 12 anos. Foram propostos, adicionalmente, o uso de brises dinâmicos, claraboias com vidros difusores, captação e reuso de água pluvial e água cinza, utilização de horta vegetal comunitária, entre outras diretrizes. A figura 3 representa a planta humanizada da edificação com algumas das soluções citadas, conforme projeto.



**Figura 3: Planta humanizada abrangendo parte da proposta de reforma para o Bloco CETTAL.**  
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Este artigo visa, portanto, complementar a proposta ao realizar uma análise técnica e orçamentária da aplicação do telhado verde como cobertura ao Bloco CETTAL, de forma a conduzir a edificação aos parâmetros da construção moderna, através da aplicação paulatina de elementos sustentáveis ao empreendimento, através do processo de *retrofit*.

## **2. Revisão de literatura**

Os telhados verdes são alternativas viáveis no sentido de retardar o escoamento superficial da água pluvial e melhorar a performance energética das edificações. Como benefícios adicionais da utilização desta solução destaca-se a redução das ilhas de calor, redução do coeficiente de *runoff* para a área de telhado, otimização da biodiversidade, limpeza do ar (por processo de fotossíntese, pelas plantas da cobertura vegetal), e redução da variação de temperatura interna da edificação, pelas camadas que compõem o sistema. Estudos científicos comprovam que a adoção de telhados verdes como coberturas em edificações possibilita a redução do microclima em 1,1°C e 2,0°C, causando uma sensação de menor temperatura aos usuários entre 0,4°C e 0,7°C. (CASCONI, CATANIA, *et al.*, 2018).

“A introdução de plantas e solo às superfícies inutilizadas dos telhados são geralmente caracterizadas com uma estratégia de grande valia para transformar as edificações em espaços mais sustentáveis.” (VIJAYARAGHAVAN, 2016, p. 741, tradução nossa). De acordo com o autor, além das características citadas, os telhados verdes também contribuem acusticamente para o empreendimento, possibilitando a redução da transmissão do ruído externo ao atuar como uma espécie de manta acústica.

Esta solução arquitetônica de cobertura permite que no verão os efeitos da zona de calor sejam minimizados, enquanto no inverno age como uma espécie de manta térmica isolante, mantendo a edificação aquecida. Cabe ressaltar que esta solução baseada em telhados verdes, do ponto de vista técnico pode apresentar fortes manifestações patológicas caso não executadas corretamente, ou caso não se dê a devida manutenção periódica. É importante que seja realizada impermeabilização da laje (uso de manta asfáltica, por exemplo) e a utilização de membranas antirraízes para que o sistema de drenagem do telhado e a laje não sejam comprometidos pela vegetação. (SILVA e DUARTE, 2017).

Os telhados verdes, de acordo com Silva e Duarte (2017), apresentam benefícios estéticos e terapêuticos (proporcionando conforto e bem-estar aos usuários), promovem benefícios ecológicos (melhorando a qualidade do ar e proporcionando maior área de renovação do ar), e podem ser classificados em três formas:

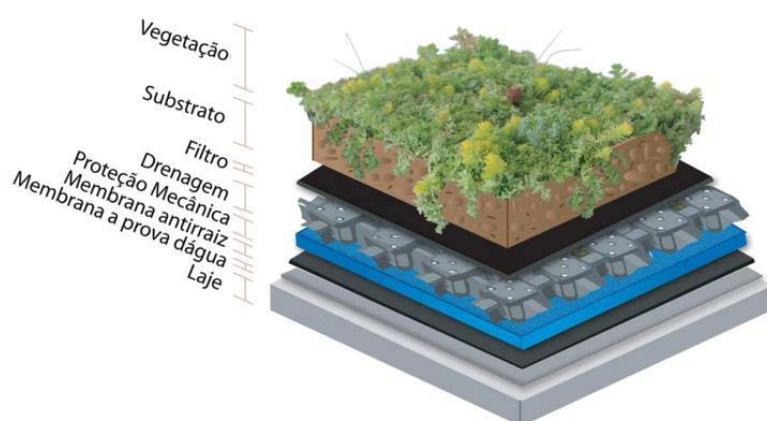
- a) extensivos: de baixo custo e pouca capacidade de carga (80 a 150kg/m<sup>2</sup>), neste modelo de telhado as plantas costumam ser simples e de crescimento natural, com espessura de substrato de 10cm;
- b) intensivos: são coberturas acessíveis e multifuncionais, sendo geralmente utilizadas para fins de ajardinamento. A capacidade de carga varia entre 180 e 500kg/m<sup>2</sup> e a camada de substrato necessita estar entre 15 e 40cm, em função do porte maior das plantas;
- c) semiextensivo: reúne ambas as características citadas, no entanto apresenta qualidade inferior e requer maior nível de manutenção, possuindo uma capacidade de carga de 120 a 200kg/m<sup>2</sup> e com utilização de substrato médio de 12 a 25cm. Neste tipo de telhado verde, geralmente não há uma maior preocupação com a questão estética.

O uso de telhados verdes pode ser considerado uma alternativa de “cobertura fria”, conseguindo evitar a incidência direta de radiação solar sobre o teto da edificação. Na utilização de coberturas frias, a necessidade de resfriamento da edificação e o consumo energético acaba sendo reduzido. Mesmo nos meses frios, as coberturas frias são interessantes, pois a redução de ganhos térmicos no inverno é muito inferior à que ocorre no verão. (KEELER e BURKE, 2010).

As coberturas verdes também agem como coberturas frias. Elas oferecem vantagens adicionais, como a retenção de águas pluviais e a criação de um habitat alternativo para pássaros e animais pequenos. Até pouco tempo atrás, essas coberturas costumavam ter mais de 30 cm de espessura além da laje, recebendo sistemas de paisagismo convencionais. As novas coberturas verdes são mais leves e podem ser incorporadas a praticamente qualquer edificação. (KEELER e BURKE, 2010, p. 155).

A estrutura de um telhado verde usualmente é realizada sobre uma estrutura de laje impermeabilizada (ou com adoção de membrada a prova d'água), seguido por membranas antirraízes para proteção da impermeabilização e respectiva estrutura. Para proporcionar o escoamento da água infiltrada pela camada de substrato, o telhado verde conta com um sistema de drenagem em argila expandida, brita ou seixo, bem como uma proteção mecânica em fôrmas de plástico com reentrâncias para captação de água, caso o sistema de drenagem fique sobrecarregado em função de altas precipitações. O filtro acima da drenagem tem por função permitir apenas a passagem de líquidos, evitando que o substrato seja carregado pela água e causando o preenchimento dos vazios que permitem a passagem de água no sistema

de drenagem. A camada de substrato requer uma atenção especial em função do solo a ser utilizado, haja vista que cada espécie de vegetação necessita de solos específicos. No entanto, é necessário que o solo utilizado não se compacte pelo peso próprio prejudicando a permeabilidade, sendo preferível um solo com menor teor de argila. Por fim, a escolha da camada de vegetação depende do clima e espessura/tipo do substrato. Usualmente opta-se pela vegetação com menores níveis de manutenção, tal como gramas ou herbáceas. (SILVA e DUARTE, 2017). O desenho esquemático de um telhado verde pode ser encontrado na figura 4.



**Figura 4: Composição do telhado verde. Fonte: Silva e Duarte (2017, p. 39).**

Desta forma, o uso de coberturas verdes torna-se interessante no sentido de promover suporte ao conforto ambiental dos usuários, contribuindo para com a paisagem local e possibilitando uma série de vantagens adicionais ao ambiente em uso, a um custo relativamente baixo de manutenção.

### 3. Resultados e discussões

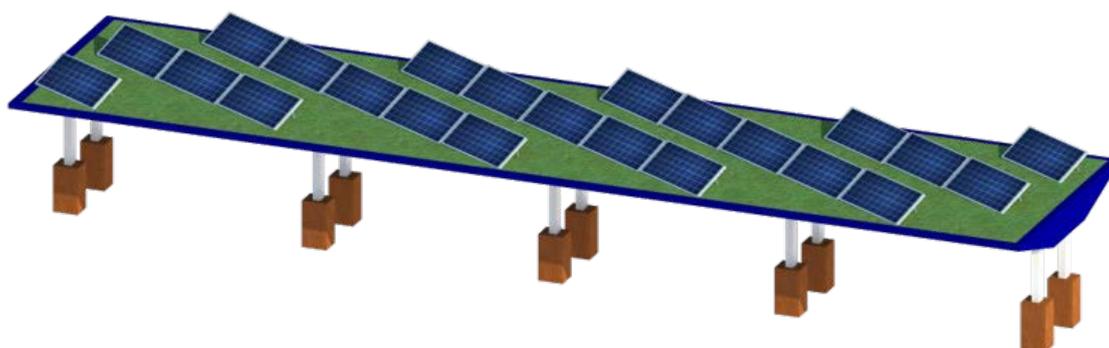
De acordo com a proposta de reforma, desenvolvida a nível de anteprojeto para análise das diferentes disciplinas que permeiam o projeto da obra, a área representativa da edificação a que se propõe a adoção de cobertura vegetal é de 5.534,02m<sup>2</sup>, conforme pode ser verificado na tabela 1.

Local com telhado verde proposto	Área de cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )
Bloco CETTAL (área 01)	1.888,27 m <sup>2</sup>
Bloco CETTAL (área 02)	1.590,43 m <sup>2</sup>
Bloco UnisulTV (expansão do CETTAL)	902,19 m <sup>2</sup>
Escritório Modelo de Engenharia Civil e Arquitetura	50,10 m <sup>2</sup>
Vestiário para área de bicicletário	15,75 m <sup>2</sup>
Estrutura fotovoltaica com telhado verde para estacionamento	1.187,28 m <sup>2</sup>
<b>Área total (m<sup>2</sup>):</b>	<b>5.534,02 m<sup>2</sup></b>

**Tabela 1: Área de cobertura vegetal na proposta de reforma para o Bloco CETTAL. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

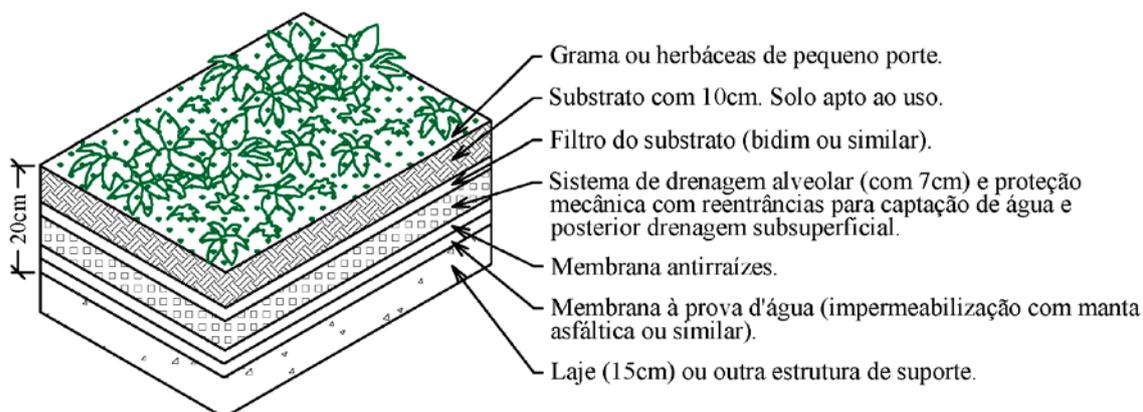
Devido ao fato de parte da edificação contar com vigas invertidas (Bloco CETTAL, área 01), durante o projeto optou-se por desenvolver uma estrutura adicional para dar suporte ao telhado verde, de forma que não houvesse separação física entre a cobertura vegetal pelas vigas salientes. Para tal, foi considerado a utilização de perfis metálicos e placas de apoio, similar ao modelo *light steel frame* para dar suporte aos elementos da cobertura verde, e evitar o aumento significativo das cargas de peso próprio da edificação.

Além da utilização deste sistema de cobertura para a edificação, o mesmo foi utilizado também para o topo da estrutura fotovoltaica destinado à área de estacionamento (figura 5). Este ambiente foi projetado com dupla função: servir como espaço coberto para o estacionamento e possibilitar um plano para instalação de placas fotovoltaicas em sua superfície, otimizando a área de instalação. A adoção de uma cobertura vegetal nesta estrutura visa aprimorar o microclima local e possibilitar um maior rendimento das placas fotovoltaicas, conforme verificado por Melo Filho e Matos (2018), em que a união dos dois elementos representa um aumento de 8,3% na produção de energia pelas referidas placas fotovoltaicas.



**Figura 5: Estrutura fotovoltaica para estacionamento. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

Como estrutura básica para execução e composição orçamentária do telhado vegetal extensivo, ficou definido a representação, conforme apresentado na figura 6.



**Figura 6: Composição básica inicial da cobertura vegetal proposta. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

Considerando como índice de preços a tabela de preços SINAPI, da Caixa Econômica Federal para a região de Florianópolis, tendo como mês de referência abril de 2017, o custo de execução da proposta de telhado verde para a reforma, desconsiderando o BDI e os custos com mão de obra, os custos materiais para a adoção do telhado verde nas áreas indicadas pelo projeto podem ser apresentados conforme descrito na tabela 2.

	Quantidade	Und.	Custo Unitário médio	Und.	Custo total
<b>Bloco CETTAL (área 01) com 1.888,27m<sup>2</sup> de cobertura vegetal</b>					
Execução de estrutura adicional para posicionamento do telhado vegetal acima das vigas invertidas	1.888,27	m <sup>2</sup>	R\$ 53,52	/m <sup>2</sup>	R\$ 101.060,21
Impermeabilização com membrana à prova d'água	1.888,27	m <sup>2</sup>	R\$ 25,36	/m <sup>2</sup>	R\$ 47.886,53
Aplicação de membrana antirraízes	1.888,27	m <sup>2</sup>	R\$ 14,86	/m <sup>2</sup>	R\$ 28.059,69
Aplicação de sistema de drenagem alveolar	132,18	m <sup>3</sup>	R\$ 98,14	/m <sup>3</sup>	R\$ 12.972,04
Filtro do substrato (bidim ou similar)	1.888,27	m <sup>2</sup>	R\$ 11,26	/m <sup>2</sup>	R\$ 21.261,92
Substrato (solo apto ao uso)	188,83	m <sup>3</sup>	R\$ 90,00	/m <sup>3</sup>	R\$ 16.994,43
Aplicação de grama para cobertura vegetal	1.888,27	m <sup>2</sup>	R\$ 4,99	/m <sup>2</sup>	R\$ 9.422,47
<b>Bloco CETTAL (área 02), Bloco UnisulTV, Escritório Modelo de Engenharia Civil e Arquitetura, vestiário no bicicletário e estrutura fotovoltaica com telhado verde para estacionamento (totalizando 3.745,75m<sup>2</sup> de cobertura vegetal)</b>					
Impermeabilização com membrana à prova d'água	3.745,75	m <sup>2</sup>	R\$ 25,36	/m <sup>2</sup>	R\$ 94.992,22
Aplicação de membrana antirraízes	3.745,75	m <sup>2</sup>	R\$ 14,86	/m <sup>2</sup>	R\$ 55.661,85
Aplicação de sistema de drenagem alveolar	262,20	m <sup>3</sup>	R\$ 98,14	/m <sup>3</sup>	R\$ 25.732,55
Filtro do substrato (bidim ou similar)	3.745,75	m <sup>2</sup>	R\$ 11,26	/m <sup>2</sup>	R\$ 42.177,15
Substrato (solo apto ao uso)	374,58	m <sup>3</sup>	R\$ 90,00	/m <sup>3</sup>	R\$ 33.711,75
Aplicação de grama para cobertura vegetal	3.745,75	m <sup>2</sup>	R\$ 4,99	/m <sup>2</sup>	R\$ 18.691,29
<b>Total relativo ao orçamento de materiais</b>					<b>R\$ 508.624,09</b>

**Tabela 2: Tabela orçamentária de execução da cobertura verde. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

Desta forma, verifica-se que o custo total para instalação com materiais gira em torno de R\$ 508.624,09 para a aplicação do telhado vegetal em toda a área proposta, equivalendo em média a um investimento de R\$ 90,28 por metro quadrado do espaço de cobertura. O custo relativo à mão de obra, no entanto, não está aplicado sobre o montante apresentado.

Em relação a eficiência energética da cobertura vegetal (tabela 3), quando comparado com a atual lâmina de água e laje sem elementos adicionais em prol do conforto térmico-acústico do usuário (tabelas 4 e 5), percebe-se que o telhado verde apresenta grande vantagem em relação aos demais sistemas analisados, devido ao fato de apresentar menor valor de transmitância térmica (coeficiente U). De acordo com a NBR 15.575-5/2013 (ABNT, 2013), o fator U para telhados na zona bioclimática em que a edificação está localizada deve ser inferior a 2,3 W/m<sup>2</sup>.K.

<b>Telhado verde (U = 1,39 W/m<sup>2</sup>.K)</b>			
<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>λ (W/m.K)</b>	<b>R. Térmica</b>
Substrato	0,10	0,90	0,11
Filtro	0,01	0,17	0,06
Proteção mecânica	0,07	0,43	0,16
Membrana antirraízes	0,01	0,20	0,05
Membrana impermeabilizante	0,01	0,23	0,04
Laje	0,15	1,75	0,09

**Tabela 3: Fator de transmitância de calor para telhado verde (fator U da NBR 15.575-5, considerando R<sub>si</sub> 0,17 (m<sup>2</sup>.K)/W e R<sub>se</sub> 0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W). Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

<b>Cobertura com lâmina d'água (U = 1,98 W/m<sup>2</sup>.K)</b>			
<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>λ (W/m.K)</b>	<b>R. Térmica</b>
Lâmina d'água	0,10	0,60	0,17
Membrana impermeabilizante	0,01	0,23	0,04
Laje	0,15	1,75	0,09

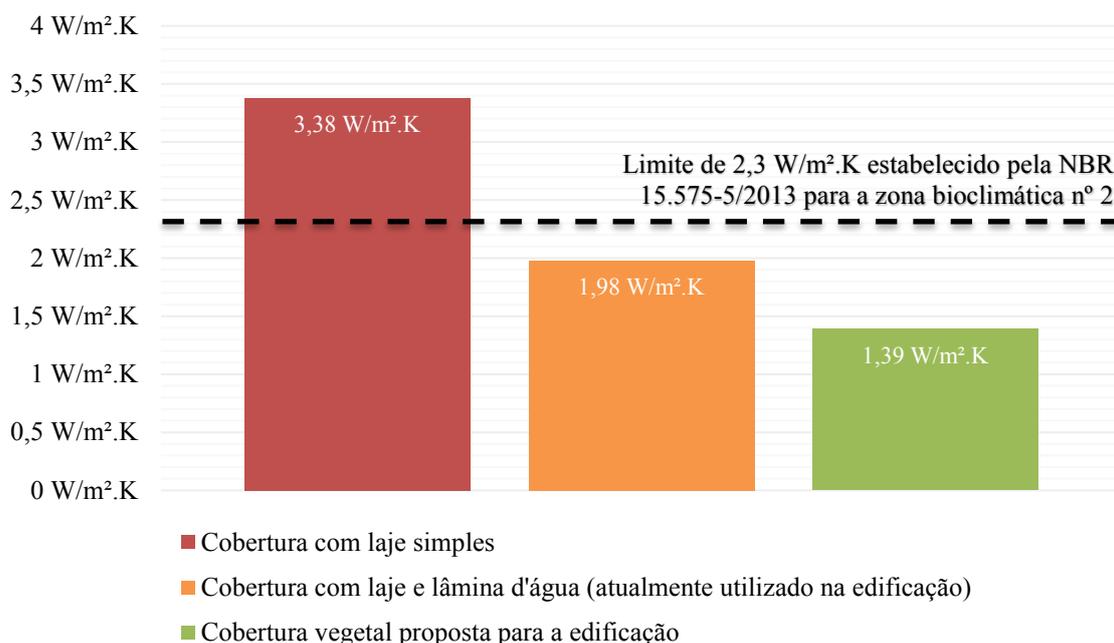
**Tabela 4: Fator de transmitância de calor para cobertura com lâmina d'água (fator U da NBR 15.575-5, considerando R<sub>si</sub> 0,17 (m<sup>2</sup>.K)/W e R<sub>se</sub> 0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W). Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

<b>Cobertura sem proteção térmica (U = 3,38 W/m<sup>2</sup>.K)</b>			
<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>λ (W/m.K)</b>	<b>R. Térmica</b>
Laje	0,15	1,75	0,09

**Tabela 5: Fator de transmitância de calor para cobertura sem proteção térmica adicional (fator U da NBR 15.575-5, considerando R<sub>si</sub> 0,17 (m<sup>2</sup>.K)/W e R<sub>se</sub> 0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W). Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

Em comparação direta do índice físico de transmitância de calor (valor U), percebe-se a melhor eficiência energética das coberturas verdes, conforme evidenciado no gráfico 1, em relação às demais configurações apresentadas, afinal quanto menor a transmitância térmica, maior o isolamento contra aquecimento excessivo nos meses de verão e garantia de inércia térmica nos meses de inverno.

Além de o telhado verde contribuir positivamente para o conforto ambiental do usuário, este ainda apresenta vantagens adicionais, ao reduzir a proliferação de insetos (diferente do que acontece atualmente com o uso de lâminas d'água na edificação) e apresenta vantagens adicionais ao permitir a utilização simultânea de placas fotovoltaicas, otimizando a geração de energia sustentável e proporcionando uma redução da temperatura no entorno imediato pelo controle do microclima local.



**Gráfico 1: Comparação entre os sistemas de cobertura avaliados para a edificação. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**

Em relação ao carácter construtivo, para evitar o surgimento de manifestações patológicas na edificação referente à infiltração, é imprescindível que o processo executivo seja realizado de forma adequada, respeitando os critérios de projeto para garantir a drenagem pluvial do escoamento superficial (recomenda-se adotar ao menos uma declividade mínima de 0,5% para direcionar a lâmina d'água aos coletores/calhas pluviais), bem como o adequado sistema de drenagem subsuperficial, para garantir o correto esgotamento da água que infiltrar pela camada de substrato. A impermeabilização dos sistemas é crucial para atender esta prerrogativa.

#### 4. Conclusão

Apesar do considerável custo inicial para adoção do telhado verde na edificação, o uso de tal elemento torna-se extremamente recomendado, devido as vantagens que apresenta em relação ao sistema utilizado atualmente. Como fonte de recursos, sugere-se que a Universidade busque por parcerias público-privadas como forma de obter subsídios que possam ser investidos nas instalações físicas do Bloco CETTAL, contribuindo para com a manutenção do mesmo.

Após a execução da cobertura vegetal, no entanto, é necessário que sejam considerados cuidados para com o telhado verde, de forma a mantê-lo em perfeito estado. Para isto, recomenda-se a utilização de irrigação automática com reutilização de águas pluviais ou águas cinzas após adequado processo de tratamento sanitário, bem como adubação anual e reposição do substrato a cada 10 anos.

## Referências

- ABNT. **NBR 15.575-5 - Edificações habitacionais - Desempenho - Requisitos para os sistemas de coberturas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 73. 2013.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2017.
- CASCONE, S. et al. A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings. **Building and Environment**, v. 136, p. 227-239, maio 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318301872?via%3Dihub>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projetos de edificações sustentáveis**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2010. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577807338>>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- MELHO FILHO, J. B.; MATOS, G. L. **Telhados verdes integrados à tecnologia fotovoltaica**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado. out. 2018.
- PEREIRA, Fabiana Luzia. **O uso de energia solar fotovoltaica como alternativa à redução da fatura de energia elétrica em blocos universitários**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, p. 67. 2018. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/5221>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- SILVA, M. C.; DUARTE, S. **Concepção e projeto de métodos construtivos sustentáveis: aplicação de telhado verde e aproveitamento de água pluvial em um ambiente escolar**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, p. 97. 2017. Disponível em: <<https://www.riuni.unisul.br/handle/12345/2218>>. Acesso em: 03 abr. 2018.
- SOUZA, W. B. **Projeto de viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema fotovoltaico na UNISUL**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, p. 45. 2018. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/5011>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 740-752, maio 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015026?via%3Dihub>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

## **Discussão referente à introdução de processos prevendo a eficiência hídrica ao Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina**

### ***Discussion regarding the introduction of processes predicting water efficiency in the CETTAL Building of the Universidade do Sul de Santa Catarina***

**Fernanda de Oliveira Dozol Lopes, especialista, professora no departamento de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (orientadora)**  
fernanda.dozol@unisul.br

**João Vítório Dagostin, acadêmico de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL**  
joao.dagostin@unisul.br

**Joelma dos Santos, acadêmica de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL**  
joelma.santos@unisul.br

#### **Resumo**

Como prática sustentável no sentido de contribuir para a transformação do espaço compreendido pelo Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina em um potencial *green campus*, propõe-se a adoção de medidas voltadas ao alcance da eficiência hídrica. Este processo compreende a captação e reuso de água pluvial, água cinza e tratamento adequado de efluentes, bem como redução das perdas relativas ao desperdício hídrico. A inclusão da eficiência hídrica aos demais elementos de sustentabilidade que podem ser aplicadas à edificação, como resultado de uma discussão recente da necessidade de execução de uma reforma e revitalização sustentável ao empreendimento, possibilitará uma adequação do espaço aos conceitos da construção sustentável, contribuindo para com a sociedade e status ambiental da Instituição.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Eficiência hídrica; Diretrizes hidráulicas.

#### ***Abstract***

*As sustainable practice in order to contribute to the transformation of space comprised by the CETTAL Building of the Universidade do Sul de Santa Catarina in a potential green campus, it is proposed to adopt measures aimed at achieving water efficiency. This process includes the collection and reuse of rainwater, greywater and wastewater treatment, as well as reduction of losses related to water waste. The inclusion of water efficiency to other elements of sustainability that can be applied to the construction, as a result of a recent discussion of the need for implementing a reform and sustainable revitalization to the enterprise, will allow an adaptation of the space to the concepts of sustainable construction, contributing to society and environmental status of the Institution.*

**Keywords:** *Keywords. Sustainability; Water efficiency; Hydraulic guidelines.*

## 1. Introdução

Atualmente, nenhum campus da Universidade do Sul de Santa Catarina conta com projeto de gestão ou controle de águas e efluentes. Conforme Ribeiro (2017, p. 98) “[...] a universidade atualmente não conta com nenhum programa ou normatização para *retrofit*, por exemplo, que consiste na modernização de infraestruturas antigas [...]” que possam contribuir para com a sustentabilidade das edificações no sentido de nortear a incorporação de elementos sustentáveis adicionais em seus campi.

O desenvolvimento sustentável em uma instituição de ensino superior é processo lento, ambicioso, envolve mudanças de hábito e comportamento, alto grau de investimento e comprometimento dos gestores da universidade com o tema. Apesar das dificuldades na implementação dos projetos, a UNISUL apresenta uma grande capacidade de mudança, e vem tentando, mesmo que com muitos empecilhos, implementar um green campus em suas instalações. Os próximos anos serão estratégicos para definir se a universidade estará alinhada com os compromissos assumidos por praticamente todas as universidades do mundo. (RIBEIRO, 2017, p. 135).

Como prática sustentável no sentido de contribuir para a transformação em um *green campus* ao espaço compreendido pelo Bloco CETTAL, localizado no campus de Tubarão da Universidade do Sul de Santa Catarina, propõe-se um projeto de reforma à edificação, incluindo a adoção de medidas voltadas ao alcance da eficiência hídrica. Este processo compreende a captação e reuso de água pluvial, água cinza e tratamento adequado de efluentes, bem como redução das perdas relativas ao desperdício causado por sistemas ineficientes.

Como objetivo geral deste artigo, define-se a discussão referente a metodologia aplicável no Bloco CETTAL (e demais edificações com características similares) de forma que a eficiência hídrica possa ser alcançada pela adoção de técnicas alternativas de abastecimento e uso de equipamentos sanitários hidráulicamente mais eficientes.

## 2. Revisão de literatura

A eficiência hídrica está pautada na economia, reutilização (quando possível) e potabilidade dos sistemas hidráulicos. A racionalização do uso da água não está voltada somente às regiões que sofrem com a escassez hídrica, sendo uma prática louvável mesmo em regiões com recursos abundantes e demandas potenciais crescentes, contribuindo para a manutenção dos recursos naturais. (CAVALCANTE, MACHADO e LIMA, 2013).

A captação de água da chuva para reuso acontece usualmente nos telhados das edificações, devido à facilidade de instalação do sistema de coleta, impermeabilização da área e facilidade de transporte dos fluidos em função da declividade e gravidade. A condução da água pluvial após a captação, ocorre mediante calhas, condutores e grelhas, de material do tipo polimérico ou metálico. O tipo e nível do tratamento que a água pluvial coletada será submetida dependerá do destino que esta receberá. (OLIVEIRA, CHRISTMANN e PIEREZAN, 2014).

Com relação a normativa técnica de coleta e reaproveitamento de água pluvial, a NBR 15.527 - Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos (ABNT, 2007, p. 2), define a área de captação como a “[...] área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada”, não sendo considerado, portanto, a superfície inclinada do telhado, e sim a projeção da cobertura.

A referida norma exige que a ligação física das tubulações, entre a que conduz água potável e a que conduz água pluvial ou de qualidade desconhecida, seja realizada por dispositivo que impeça a conexão cruzada. (ABNT, 2007). Para impedir o contato de água potável com a água coletada da precipitação, pode ser empregado na tubulação um componente antiretrossifonagem, que tem por função evitar o refluxo de água pela variação de pressões (JOHN e PRADO, 2010).

É recomendado, que o escoamento inicial (contendo poeira, fuligem, galhos e detritos) seja descartado de forma automática (pelo menos os 2mm da precipitação inicial) por meio de um sistema de descarte automático das primeiras águas, e que o restante da pluviosidade seja submetido a um processo mecânico de limpeza por gradeamento, antes do armazenamento e submissão aos demais sistemas de tratamento químico. (ABNT, 2007).

Os reservatórios destinados a comportar a água coletada da precipitação, devem conter extravasor, sistema de esgotamento, cobertura, acesso para inspeção e ventilação. A tomada de utilização, deve estar pelo menos 15 centímetros da superfície interna do reservatório, devido ao acúmulo de sólidos por sedimentação, devendo ser limpo e desinfetado com solução de hipoclorito de sódio, pelo menos uma vez ao ano, independente dos tratamentos químicos aplicados à água armazenada. É importante destacar que a água coletada, mesmo sendo para fins não potáveis, deve atender parâmetros mínimos de qualidade, conforme quadro 1. Quando utilizado o cloro residual livre para tratamento, a solução deve estar entre 0,5mg/L e 3,0mg/L. (ABNT, 2007).

Parâmetro	Valor mínimo aceitável
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100ml
Cloro residual livre (no caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção)	0,5 mg/l a 3,0 mg/l
Turbidez	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	< 15 uH (unidade Hazen)
Ajuste de pH para proteção das redes hidráulicas e metais sanitário	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação aço-carbono ou galvanizado
NOTA: Podem ser utilizados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.	

**Quadro 1: Parâmetros de qualidade de água para usos e reusos restritivos não potáveis. Fonte: ABNT (2013, p. 39).**

O posicionamento do reservatório de águas da chuva logo abaixo do telhado, ao invés de uma cisterna enterrada reduziria o custo com tubulações e bombeamento, no entanto aumentaria a necessidade de reforço estrutural em função da massa d’água e poderia dificultar o processo de manutenção periódica, dependendo da posição do reservatório. (OLIVEIRA, CHRISTMANN e PIEREZAN, 2014).

O volume de água aproveitável pela captação pluvial de acordo com a norma 15.527 (ABNT, 2007), pode ser expresso pelo método hidrológico racional modificado, conforme equação 1:

$$V = P \cdot A \cdot C \cdot n_{(\text{fator de captação})} \quad (1)$$

sendo:

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;

P = precipitação média anual, mensal ou diária;

A = área de coleta;

C = coeficiente de escoamento superficial de cobertura (coeficiente de runoff);

$n_{(\text{fator de captação})}$  = eficiência do sistema de captação, considerando o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio do escoamento inicial, caso utilizado.

O volume de precipitação que não for armazenado mediante reservatório, deve ser destinado às galerias pluviais da rede de drenagem urbana. As tubulações que contiverem água não-potável (como a de reutilização pluvial) deverão ser adequadamente identificadas. (ABNT, 2007). A manutenção periódica é de fundamental importância para o correto funcionamento do sistema de reutilização de água. O quadro 2 define a frequência mínima de manutenção para reservatórios de águas pluviais.

<b>Componente</b>	<b>Frequência de manutenção</b>
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção manual e limpeza trimestral
Dispositivo de descarte de escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

**Quadro 2: Frequência de manutenção para reservatório de águas pluviais. Fonte: ABNT (2007, p. 5).**

Considerando que grande parte do consumo de água potável ocorre nos banheiros das edificações, é plausível que se considere um sistema de reaproveitamento das águas cinzas após adequado tratamento químico para utilização em bacias sanitárias ou irrigação de plantas ornamentais. Quando reutilizado a água nas edificações, é importante que seja atendido exigências qualitativas mínimas adicionais, sintetizadas pelo quadro 3. (BONI, 2009).

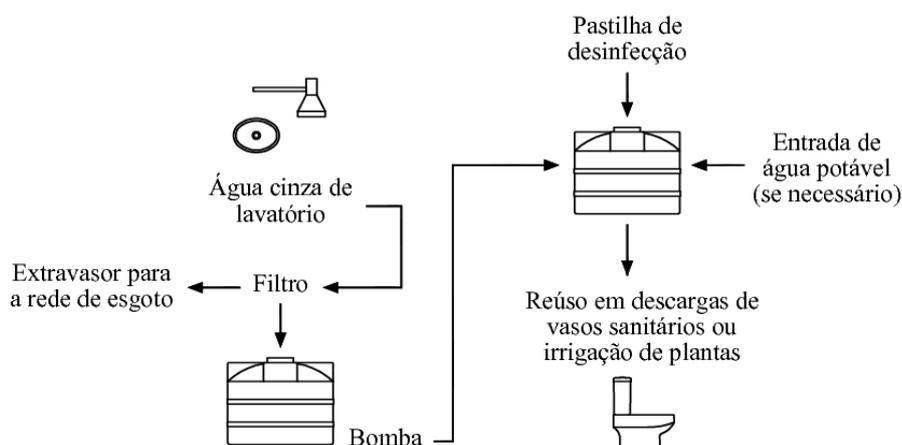
Atividade	Exigência
Água para irrigação, rega de jardim e lavagem de pisos	Não deve apresentar mau-cheiro
	Não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas
	Não deve ser abrasiva e nem manchar a superfície
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
Água para descarga em bacias sanitárias	Não deve apresentar mau-cheiro
	Não deve ser abrasiva nem manchar superfície
	Não deve deteriorar os metais sanitários
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
Água para uso ornamental	Deve ser incolor
	Não deve ser turva e não deve apresentar mau-cheiro
	Não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana

**Quadro 3: Exigências mínimas para uso de água não potável de reuso. Fonte: Boni (2009, p. 20).**

O reuso de águas cinzas (proveniente de lavatórios, chuveiros e bebedouros) quando coletados de forma separada das águas negras (proveniente de sanitários), podem ser reutilizadas após tratamento por gradeamento, decantação, filtro e desinfecção para aplicação em sistemas de atividades não potáveis, como jardinagem. (GUERRA, 2016).

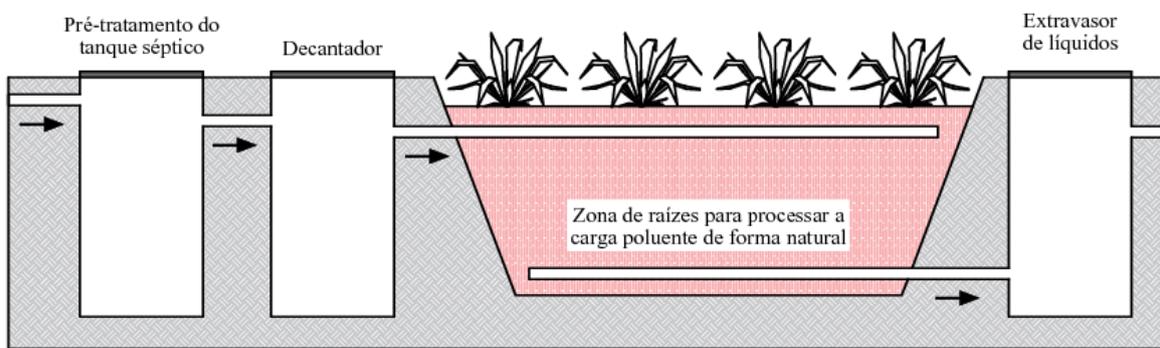
As edificações sustentáveis influenciam o projeto integrado de maneira significativa no que se refere à água, pois tem condições de reduzir a quantidade de água potável necessária para descartar os dejetos humanos. A reciclagem das águas fecais e servidas é uma estratégia de conservação da água potável. (KEELER e BURKE, 2010, p. 25).

Conforme figura 1, o tratamento de águas cinzas pode ocorrer por meio da filtragem, seguido por desinfecção por cloro, ou outro elemento químico com tais propriedades, através de pastilhas ou dosagem líquida. O tempo de contato e o agente desinfetante são fatores importantes para garantir o processo de desinfecção da água, que deve ser utilizada apenas para fins não potáveis. (BAZZARELLA, 2005).



**Figura 1: Esquema de reuso das águas cinza. Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005, p. 51).**

Para as águas negras, o tratamento ideal é considerado através da coleta e transferência dos efluentes, mediante rede coletora para uma Estação de Tratamento de Esgotos – ETE coletiva operada pela concessionária de saneamento da localidade. Em modelos alternativos de saneamento são viáveis a adoção de ETEs compactas ou sistemas de tratamento individual de esgoto (tanque séptico, filtro anaeróbico, clorador e dispositivo de destinação do efluente). Outro sistema interessante para o tratamento de efluentes consiste na utilização do método contendo a zona de raízes, formado por uma vala com solo e rochas de diversas granulometrias. Neste sistema o efluente passa por um tanque séptico e por um decantador, sendo o efluente encaminhado por um dreno para a vala filtrante contendo a zona de raízes que processa a carga poluidora, transformando-a em um material praticamente inofensivo ao ambiente, conforme indicado na figura 2. (SILVA, SOUZA, *et al.*, 2010).



**Figura 2: Tratamento com zona de raízes. Fonte: Adaptado de Silva, Souza, *et al.* (2010, p. 6).**

O atendimento à eficiência hídrica em um projeto de reformas visando a sustentabilidade, é, portanto, de fundamental importância haja vista a possibilidade de armazenamento e reutilização de águas pluviais e águas cinzas tratadas, reduzindo o consumo de água potável em pontos de utilização que não requerem o uso exclusivo deste recurso.

### **3. Metodologia**

A partir da análise de padrões hidrológicos referente à precipitação (dados obtidos da literatura e bases de dados climatológicas), foi possível estimar o potencial de armazenamento de água pluvial para a edificação do Bloco CETTAL, considerando a coleta na área compreendida pela cobertura do empreendimento. Destarte, foi possível estimar a redução do consumo hídrico devido à substituição dos atuais aparelhos sanitários por equipamentos mais eficientes do ponto de vista hidráulico.

Adicionalmente foi proposto um organograma esquemático orientativo para o futuro redimensionamento do projeto hidrossanitário, visando atender ao critério de eficiência hídrica em uma futura intervenção de reforma na instituição.

#### 4. Parâmetros hidrológicos

Na cidade de Tubarão, a precipitação média anual é de 1.493 centímetros cúbicos. A umidade média relativa do ar na região é de 83,59%, em função da presença de lagos e do rio que corta a cidade. (PMT, 2014).

A curva IDF, que relaciona intensidade, duração e frequência das precipitações para um determinado tempo de ocorrência, para a cidade de Tubarão, de acordo com CPRM (2016), pode ser expresso por meio de duas equações. Para chuvas entre 5 minutos e 2 horas de duração, a intensidade da precipitação é definida de acordo com a expressão da equação 2:

$$i = \frac{19027,8 T^{0,2048}}{(t + 50,6)^{1,3363}} \quad (2)$$

Sendo:

i = intensidade da chuva (mm/h),

T = tempo de retorno (anos),

t = duração da precipitação (minutos).

Para chuvas com precipitação compreendida no intervalo de 2 horas a 24 horas, a curva IDF (intensidade-duração-frequência) ajustada é obtida a partir da equação 3:

$$i = \frac{595,5 T^{0,2041}}{t^{0,7103}} \quad (3)$$

Sendo:

i = intensidade da chuva (mm/h),

T = tempo de retorno (anos),

t = duração da precipitação (minutos).

#### 5. Resultados e discussões

Como ponto de partida da proposta e diretrizes futuras para o redimensionamento do projeto hidrossanitário, foram sugeridos critérios básicos para obtenção da eficiência hídrica no empreendimento, conforme descrito no organograma esquemático da figura 3.

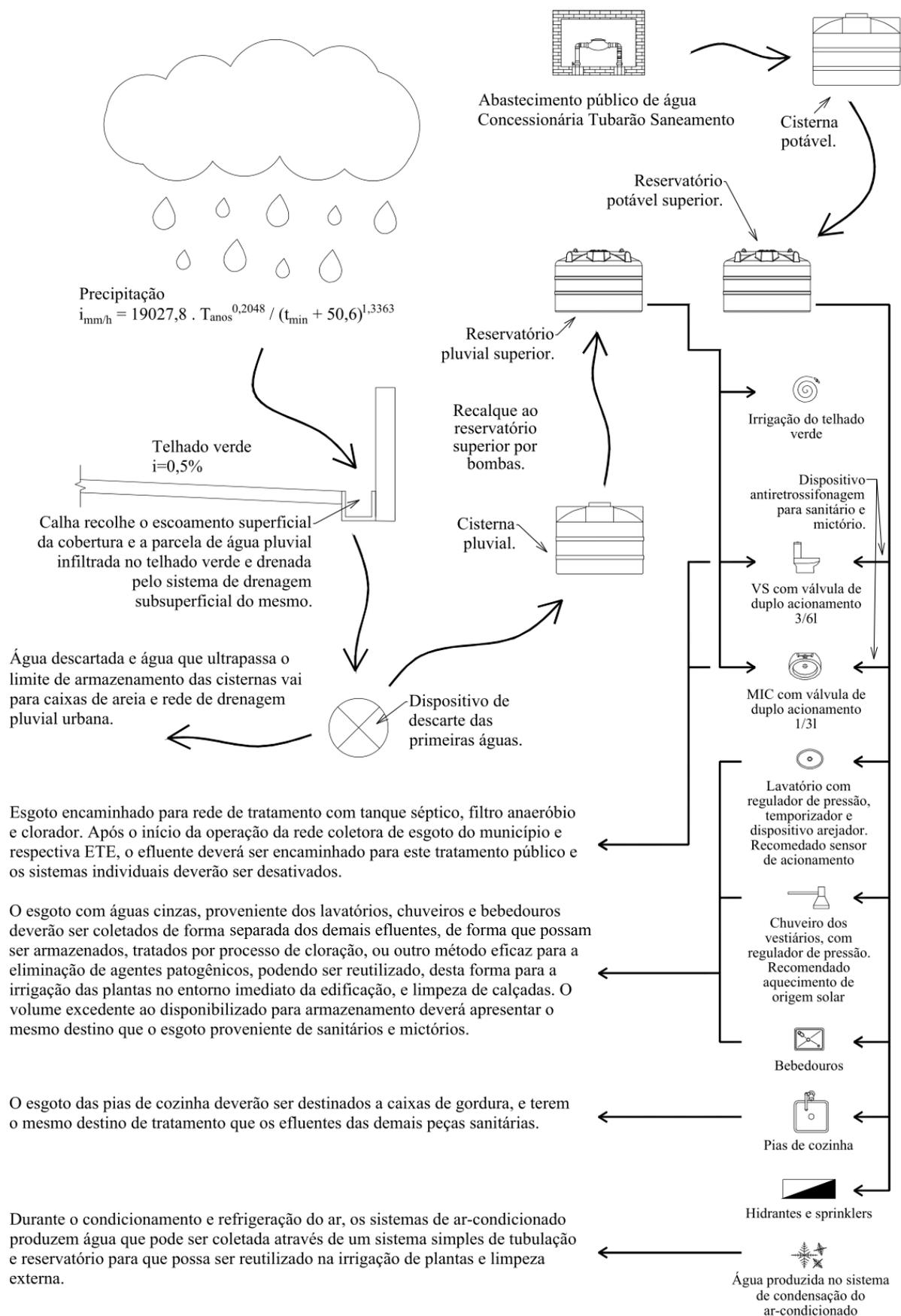


Figura 3: Organograma de eficiência hídrica para a edificação. Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Em relação aos equipamentos sanitários, a figura 4 ilustra alguns aparelhos sanitários e acessórios sugeridos para a implementação na proposta de intervenção da edificação, visando a eficiência hídrica. A descrição em maiores detalhes quanto aos parâmetros propostos, estão apresentados na sequência.



**Figura 4: Aparelhos sanitários visando a eficiência hídrica. Fonte: Elaboração dos autores (2018).**

- a) **Torneira para o lavatório:** deve contar com arejador; deve limitar a vazão/pressão a no máximo 8 litros/minuto (ou vazões menores); deve desligar automaticamente após 15 segundos; preferencialmente deverá ser dotada de sensor para acionamento; a manutenção deverá ser periódica para evitar perdas por vazamentos.
- b) **Torneira para copa/cozinha:** deve contar com arejador; deve limitar a vazão/pressão; preferencialmente deverá ser dotada de sensor para acionamento; a manutenção deverá ser periódica para evitar perdas por vazamentos.
- c) **Mictório:** deverá ser dotado de válvula de duplo acionamento, com 1 e 3 litros; há atualmente o sistema de mictório com lavatório embutido, em que a água usada para lavar as mãos no uso anterior do lavatório se torna recurso automático para descarga durante o próximo uso.
- d) **Vaso sanitário:** deverá ser dotado de válvula de duplo acionamento, com 3 e 6 litros; recomenda-se o uso de vaso sanitário com caixa acoplada, em razão da economia proporcionada por este sistema; há atualmente a disponibilidade de vasos sanitários ecológicos, fabricados em ABS e que necessitam apenas de 2 litros por descarga em função da troca do clássico sifão por sistema basculante, com tubulação reta que quando aberta no momento da descarga permite despejar os dejetos diretamente na prumada de esgoto com o mínimo de água. Este produto, no entanto, necessita de verificação quanto ao atendimento pelo projeto hidrossanitário, por poder apresentar incompatibilidades em pavimentos térreos de banheiros públicos, devido ao seu modo de funcionamento.
- e) **Secador para as mãos:** os banheiros deverão contar com dispositivo que permita secar as mãos com auxílio de ar aquecido, reduzindo o consumo de papel, no entanto, deverá ainda existir a disponibilidade de papel toalha para usos diversos, como secar óculos, por exemplo; deverá ser analisado a possibilidade de reciclagem deste material em outros usos; o número mínimo de secador automático/elétrico para as mãos deverá ser de pelo menos 75% da disponibilidade de lavatórios; o secador deverá ser ativado por sensor e desativar automaticamente após tempo determinado.

- f) **Saboneteiras:** as saboneteiras deverão espumar o sabonete líquido no acionamento, de forma a promover economia na liberação do volume e garantir a eficiência de higienização.

Como sugestões gerais referentes à política do empreendimento quanto à eficiência hídrica, portanto, pode-se elencar e sintetizar como sendo:

- a) **Reutilização de águas pluviais:** as águas pluviais devem ser coletadas e armazenadas para usos não potáveis. Não havendo a disponibilidade para cisterna elevada, deverá ocorrer o armazenamento em cisterna enterrada. A água pluvial poderá ser utilizada (após tratamento) para uso em bacias sanitárias. No sistema de coleta pluvial, deverá ser previsto o descarte inicial das primeiras águas, gradeamento para tratamento físico e remoção de impurezas, bem como tratamento químico, tal como cloração ou processo de similar eficácia. A água pluvial também poderá ser utilizada para irrigação do telhado verde (solução adotada na proposta de reforma da edificação). A água reutilizada em sanitários proveniente da coleta pluvial, eventualmente necessitará receber contribuição de água potável, em razão do volume de uso. Desta forma, não poderá haver contaminação da água potável, devendo os dois sistemas serem independentes por meio da utilização de válvulas antiretrossifonagem ou método mais eficaz.
- b) **Reutilização de águas cinzas:** as águas cinzas (provenientes de lavatórios, bebedouros e chuveiros), poderão ser coletadas por sistema de esgoto separador absoluto das bacias sanitárias e mictórios, e serem encaminhadas para dispositivo com tratamento químico do efluente. Após o tratamento, a água não potável poderá ser armazenada e utilizada para irrigação da vegetação do empreendimento. Em toda tubulação e ponto de uso com água não potável deverá haver placa indicativa desta condição.
- c) **Redução do desperdício hidráulico:** da mesma forma, a conscientização dos usuários é de suma importância. Nos ambientes sanitários a possibilidade de válvula com duplo acionamento de vazão (3l/6l) para descargas nos sanitários e mictórios (1l/3l) contribuem no sentido da economia, bem como a adoção de torneiras para os lavatórios com sensor de presença e/ou temporizador para desligamento. O uso de dispositivos arejadores, bem como redução da pressão disponível ao ponto de uso contribuirá na economia hídrica, haja vista que será disponibilizada uma menor vazão ao ponto de uso, sendo a sensação percebida pelo usuário como se a torneira possuísse pressões elevadas. A vazão das torneiras deverá ser limitada a 8l/min.

## 6. Conclusão

Percebe-se a importância que a eficiência hídrica apresenta atualmente quando se discute os critérios de edificações sustentáveis. Mesmo em construções existentes, a adoção de meios alternativos de fonte de abastecimento não potável, como coleta de águas pluviais e águas cinzas tratadas, são práticas louváveis, principalmente quando aliadas ao uso de equipamentos hidráulicos mais eficientes, que consomem menor volume de água quando utilizados, e reduzem as perdas hídricas de consumo durante o processo.

Além de contribuir para com o meio ambiente, a reutilização de recursos hídricos em finalidades não potáveis contribuem também para a redução dos custos com abastecimento de água, gerando economia financeira adicional à edificação.

## Referências

- ABNT. **NBR 15.527 - Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 8. 2007.
- ABNT. **NBR 15.575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho - Requisitos gerais**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 71. 2013.
- BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 165. 2005. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_6573\\_Bazzarella\\_BB\\_2005.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_6573_Bazzarella_BB_2005.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2018.
- BONI, S. D. S. N. **Gestão de água em edificações: formulação de diretrizes para o reúso de água para fins não potáveis**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 258. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257704>>. Acesso em: 24 mar. 2018.
- CAVALCANTE, M.; MACHADO, L. C. G. T.; LIMA, A. M. M. Avaliação do desempenho ambiental e racionalização do consumo de água no segmento industrial de produção de bebidas. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 191-202, set.-dez. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-993X2013000300016&lang=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2013000300016&lang=en)>. Acesso em: 01 maio 2018.
- CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Goiânia, p. 12. 2016. Disponível em: <[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17523/idf\\_tubarao\\_sc\\_suscet.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17523/idf_tubarao_sc_suscet.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- GUERRA, B. B. Uso da água como fonte renovável em edificações. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 5, n. 2, p. 4-9, jul.-dez. 2016. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/550>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. 1. ed. São Paulo: Páginas & Letras, v. 1, 2010. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/manual-selo-casa-azul-caixa>>. Acesso em: 29 abr. 2018.
- KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projetos de edificações sustentáveis**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2010. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577807338>>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- OLIVEIRA, D. D.; CHRISTMANN, S. S.; PIEREZAN, J. B. Aproveitamento, captação e (re)uso das águas pluviais na arquitetura. **Revista gestão e desenvolvimento em**

**contexto- GEDECON**, Cruz Alta, v. 2, n. Especial - IV Fórum de Sustentabilidade, p. 1-15, maio 2014. Disponível em:

<<http://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/GEDECON/article/view/1933/497>>. Acesso em: 06 maio 2018.

PMT. Aspectos físicos. **Prefeitura Municipal de Tubarão**, 2014. Disponível em:

<<http://www.tubarao.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/22162>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

RIBEIRO, J. M. P. **Um plano de ação para a promoção da sustentabilidade em uma instituição de ensino superior por meio de green campus: um estudo de caso da unidade UNISUL Pedra Branca**. Universidade do Sul de Santa Catarina.

Florianópolis, p. 175. 2017. Disponível em:

<<https://riuni.unisul.br/handle/12345/3377>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

SILVA, W. M. et al. Avaliação da reutilização de águas cinzas em edificações, construções verdes e sustentáveis. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-15, 2010. Disponível em:

<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/avaliacao%20da%20reutilizacao.pdf>>.

Acesso em: 11 maio 2018.

## **Elaboração de projeto de reforma e revitalização sustentável para o Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina**

### *Elaboration of reform and sustainable revitalization project for the CETTAL Building of the Universidade do Sul de Santa Catarina*

**Fernanda de Oliveira Dozol Lopes, especialista, professora no departamento de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (orientadora)**  
fernanda.dozol@unisul.br

**João Vitório Dagostin, acadêmico de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL**  
joao.dagostin@unisul.br

**Joelma dos Santos, acadêmica de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL**  
joelma.santos@unisul.br

#### **Resumo**

O presente artigo tem por objetivo apresentar a síntese da proposta de reforma e revitalização sustentável ao Bloco CETTAL da Universidade do Sul de Santa Catarina. A intervenção nesta edificação se faz imprescindível em função da necessidade de readequação do ambiente físico aos parâmetros da construção sustentável. A revisão de literatura baseada nas normativas vigentes, bem como a busca documental e levantamento de dados por meio de entrevista com gestores, discentes e docentes foram fundamentais para a caracterização das necessidades específicas dos usuários e obtenção das condicionantes arquitetônicas para a elaboração do partido geral. A proposta, portanto, visou apresentar a partir de um projeto arquitetônico, com ênfase na sustentabilidade, sugestões de melhorias físicas para o Bloco CETTAL da universidade, garantindo o conforto dos usuários em âmbito térmico, lumínico e acústico, contribuindo para redução do consumo de recursos e custo de utilização, proporcionando maior qualidade e valor agregado à edificação.

**Palavras-chave:** Reforma; Sustentabilidade; Universidade.

#### **Abstract**

*The purpose of this article is to present a synthesis of the proposed reform and sustainable revitalization to the CETTAL Building of Universidade do Sul de Santa Catarina. The intervention in this building is essential due to the need for readjustment of the physical environment to the parameters of sustainable construction. The literature review based on the current standards, as well as the document research and data collection through interview with managers, students and teachers were fundamental for the characterization of user's specific needs and obtaining the architectural constraints for the development of the project. The proposal, therefore, aimed to present from an architectural project, with an emphasis on sustainability, suggestions for physical improvements to the CETTAL Building of the University, ensuring the comfort of users in a thermal, lighting and acoustic environment, contributing to reducing the consumption of resources and cost of using, providing higher quality and added value to the building.*

**Keywords:** Reform; Sustainability; University.

## 1. Introdução

O CETTAL (Centro de Tecnologia Alimentar) da Universidade do Sul de Santa Catarina localiza-se na Rua Padre Dionísio da Cunha Laudt, na cidade de Tubarão/SC. A construção da edificação data ao final da década de 80, tendo sido objeto de ampliação nos anos 2000 e nenhuma grande intervenção desde então. Apesar das manutenções aplicadas ao imóvel, a edificação educacional em questão ainda apresenta obstáculos físicos quanto à acessibilidade e falta de prospecção em elementos sustentáveis que contribuam para com o ambiente e comunidade que abrange.

Inevitavelmente, com o passar dos anos o ambiente físico e arquitetônico das edificações acabam se tornando defasados no atendimento às expectativas dos usuários em quesitos de conforto, usabilidade e estética, caso não haja constantes ações em prol da atualização do imóvel. O ciclo de vida de uma edificação tem início na concepção e planejamento, avançando pelas etapas de projeto, execução e uso, e, em muitas situações, culminando no processo de demolição quando findada sua vida útil. A partir dos princípios de construção sustentável, tem-se tentado criar um ciclo de vida fechado, em que uma edificação, ao se tornar inadequada pelo ponto de vista arquitetônico ou estrutural, possa retornar para a cadeia produtiva através de uma etapa de reforma ou *retrofit*, processo de atualização da edificação, de forma que a mesma possa ser requalificada ao uso e a abranger as novas necessidades dos usuários. (CBCS, 2018).

De acordo com a Norma Técnica Brasileira – NBR 16.280 – Reformas em edificações, “[...] o envelhecimento das obras construídas impõe determinados processos [de reforma], por segurança, perda de função ou qualidade que devem ser conduzidas com base em requisitos bem definidos.” (ABNT, 2015a, p. V). Ainda de acordo com esta normativa, “[...] as edificações cumprem funções de serviço definidas em projeto. Contudo, ao longo do tempo de serviço, existirão necessidades de ajustes, adequações a novas demandas e até mesmo recuperação de suas propriedades técnicas.” (ABNT, 2015a, p. V).

Sendo assim, o projeto de reforma surge como uma alternativa para reuso e adequação de uma edificação, proporcionando ao projetista subsídios para sugerir uma vasta gama de melhorias e ajustes ao projeto original. O princípio de reforma e revitalização, portanto, compartilha dos princípios de sustentabilidade ao possibilitar que os impactos da construção sejam reduzidos: ao invés de se demolir edificações inteiras para a construção de novos espaços, há a possibilidade de reutilizar o máximo possível da infraestrutura existente para a criação de uma edificação com características aprimoradas.

Desta forma buscou-se propor a reforma para o Centro de Tecnologia Alimentar da Universidade do Sul de Santa Catarina, visando uma melhor adequação da arquitetura ao ambiente educacional e incorporando as necessidades atuais da edificação em nível de acessibilidade, uso e conforto, com enfoque no conceito da sustentabilidade.

## 2. A sustentabilidade em edificações escolares

As edificações sustentáveis são fundamentalmente aquelas que “[...] utilizam os materiais, a energia, a água e solo mais eficientemente do que aquelas que são construídas, simplesmente, baseadas em normas e códigos de edificações.” (FELIX, 2008, p. 45). “A

sustentabilidade pode ainda ser atingida com diferentes níveis de tecnologia, nem sempre requerendo soluções sofisticadas.” (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2005, p. 50). Muitos são os autores que apresentam uma definição formal do princípio de arquitetura sustentável. Vieira e Barros Filho (2009, p. 7), por exemplo, reúnem em sua produção científica algumas das conceituações mais comuns a este princípio:

Uma conceituação atual, abrangente e muito bem recebida pelos estudiosos da Arquitetura Sustentável é dada por Mulfarth (2003, p.31): “uma forma de promover a busca pela igualdade social, valorização dos aspectos culturais, maior eficiência econômica e menor impacto ambiental nas soluções adotadas... garantindo a competitividade do homem e das cidades”. Outro conceito de arquitetura sustentável é fornecido por Corbella (2003 p.17) que a define como sendo a concepção e o desenvolvimento de edificações que objetivem “o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características de vida e do clima locais, além da redução do uso de recursos naturais”. Já de acordo com Steele (1997, p.11), a arquitetura sustentável “consiste na produção de uma edificação que se adapte ao clima, à iluminação, ventilação e topografia, tirando proveito das condições naturais do lugar reduzindo o desperdício energético”. Para a Ecoplano (2006), por sua vez, a arquitetura sustentável é aquela que considera o uso, a economia e a racionalização/eficiência de recursos, o ciclo de vida do empreendimento e o bem-estar do usuário, reduzindo significativamente, ou até eliminando, possíveis impactos negativos causados ao meio ambiente e a seus usuários.

Apesar das diferentes conceituações, todos os autores convergem no sentido de que a sustentabilidade é um parâmetro de grande valia na elaboração de projetos na atualidade, sendo fundamental para garantir o desempenho das edificações, evitando prejuízos ambientais e agregando valor ao imóvel em questão.

Em se tratando de centros universitários sustentáveis (*green campi*), estes são comuns em países e regiões desenvolvidas, tais como Estados Unidos, Europa, Austrália e Nova Zelândia. O *green campi* incorpora de maneira ativa práticas de sustentabilidade ao campus, adotando estes conceitos às novas edificações ou reformas de espaços existentes para alcançar as certificações ecológicas disponíveis. No Brasil, até 2008, não havia campi universitários desenvolvidos com maiores critérios da construção sustentável, havendo até então apenas algumas ações isoladas no sentido de gestão ambiental e energética, sendo de destaque e pioneirismo a Universidade Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Fundação Universitária de Blumenau (Furb) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). (DEEKE e CASAGRANDE JÚNIOR, 2008).

A criação dos centros universitários sustentáveis se justifica por dois motivos principais: a real redução dos impactos ambientais causados por sua construção e uso [...] e pela importância do edifício sustentável em si, como agente catalisador no processo de educação para um modo de vida mais sustentável, ética, social e ambientalmente responsável. Pelo modo como usam o espaço, os estudantes passarão a conhecer novas tecnologias, materiais e práticas, tornando-se replicadores da sustentabilidade. (DEEKE e CASAGRANDE JÚNIOR, 2008, p. 4)

O conceito de *green campus* e *green schools*, tem por objetivo transformar o espaço educacional em um sistema integrado ao meio ambiente, através de um ensino com implementação de princípios da educação ambiental, e um ambiente físico condizente com estas práticas. (ZHAO, HE e MENG, 2015). O ambiente escolar é um espaço importante

para influenciar a formação de cidadãos ecológicos, mas para que isto ocorra é fundamental que esta transpire sustentabilidade, tanto em sua estrutura, quanto em sua visão e currículo. (DOURADO, BELIZÁRIO e PAULINO, 2015).

O espaço físico [de uma edificação escolar] é a porta de entrada de um projeto de transformação porque materializa o esforço da escola em direção à coerência, ao contrário de concentrar as ações de educação ambiental [apenas] no currículo, ensinando sobre resíduos, uso da água ou matriz energética. Incorporar materialmente essa discussão na vida escolar é potencializar a força deste discurso e a sua intencionalidade. (DOURADO, BELIZÁRIO e PAULINO, 2015, p. 43).

O espaço universitário, por sua característica formadora de profissionais dotados de habilidade para tomada de decisões, responde por um importante papel junto à prática de ações éticas e corretas envolvendo a sociedade, meio ambiente e desenvolvimento sustentável. A universidade que incorpora medidas sustentáveis em sua estrutura física, possibilita a absorção pela consciência individual da comunidade de referências vivas de modelo sustentável, promovendo uma cultura pró-sustentabilidade. (GAION, 2013). “Muitos pesquisadores universitários trabalham com questões ligadas a sustentabilidade, mas eles estão predominantemente limitados aos laboratórios de pesquisas e atividades de ensino, ou seja, não integram as prioridades da universidade nem suas práticas operacionais.” (RIBEIRO, 2017, p. 40).

A universidade, como fonte de inovação e conhecimento desempenha papel fundamental na educação sustentável, e sua estrutura física, deve acompanhar esta premissa. O princípio de edificação sustentável está incluso nas conceituações de construção sustentável, envolvendo todas as decisões de projeto que refletirão durante toda a vida útil da edificação. (TIBÚRCIO, SILVA, *et al.*, 2011). “[...] em um país em desenvolvimento, o engajamento de universidades tecnológicas [com relação à sustentabilidade] é ainda mais significativo, uma vez que suas próprias edificações podem propiciar projetos de pesquisa que contribuam para gerar novas tecnologias e para criar um novo modelo de desenvolvimento socioeconômico.” (DEEKE e CASAGRANDE JÚNIOR, 2008, p. 6).

Ao longo dos anos, com o aumento da preocupação com a sustentabilidade, muitas conferências acabaram sendo realizadas mundialmente buscando definir diretrizes e práticas que convergissem neste sentido. O Relatório de Brundtland (em 1987), a ECO’92 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD em 1992 e Agenda 21: documento que traduz a importância do comprometimento socioambiental), são algumas das primeiras de muitas reuniões que passariam a definir a sustentabilidade como palavra de ordem do século. (GAION, 2013).

No Brasil, uma das conferências mais relevantes para o desenvolvimento sustentável foi a Rio+20, que definiu compromissos entre cento e oitenta e oito países. No que tange à sustentabilidade em edifícios educacionais de ensino superior, esta conferência estabeleceu alguns critérios que colaboram com a sustentabilidade neste setor, conforme apresentado no quadro 1.

<b>Proposta</b>	<b>Objetivo</b>
Incorporar sustentabilidade no currículo	Desenvolver habilidades para compreender como alcançar uma sociedade que valoriza as pessoas, o planeta, respeitando os limites finitos dos recursos da Terra.
Incentivar pesquisas sobre desenvolvimento sustentável	Melhorar a compreensão científica com intercâmbio científico e tecnológico, incluindo novas tecnologias e inovadoras.
Campi verdes	a) reduzir a pegada ecológica (extensão de território que uma sociedade utiliza para se sustentar) com a energia, a água e uso de materiais nos edifícios e instalações; b) compras sustentáveis em materiais e serviços; c) opções de mobilidade sustentável; d) minimizar resíduos, reciclar e reutilizar; e) incentivar estilos de vida mais saudáveis.
Apoiar ações de sustentabilidade nas comunidades em que residem em conjunto com autoridades locais e sociedade civil	Promover comunidades melhor habitáveis com recursos eficientes e que são socialmente inclusivos com pequenas pegadas ecológicas.
Compartilhar resultados por estruturas internacionais (Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, Universidade das Nações Unidas, Pacto Global das Nações Unidas, Princípio das Nações Unidas).	Trocar conhecimentos e experiências e informar regularmente sobre progressos e desafios.

**Quadro 1: Declarações para Instituição de Ensino Superior pela Rio+20. Fonte: Gaion (2013, p. 66).**

A adoção de práticas sustentáveis em edificações, são fatores essenciais nos dias atuais para o reconhecimento da eficiência do empreendimento perante diversas certificações ambientais. No Brasil, o selo de certificação LEED (*Leadership in Environmental Design*) é considerado um dos mais importantes, sendo “[...] um conjunto de normas que abrangem concepção, projetos, execução e ocupação. Conforme pontuação obtida, o empreendimento, classificado em um dos grupos de acordo com sua tipologia, é certificado em um dos quatro níveis de sustentabilidade [...]” (DEEKE, CASAGRANDE JR. e DA SILVA, 2008). Entre outros processos de certificação com destaque nacional estão a certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) gerenciado pela Fundação Vanzolini; o selo PROCEL EDIFICA, gerenciado pela Eletrobrás; e o selo CASA AZUL, gerenciado pela Caixa Econômica Federal.

### **3. Histórico da sustentabilidade na Universidade do Sul de Santa Catarina**

É perceptível a importância que a UNISUL apresenta em relação à sustentabilidade. A partir de 2003, por exemplo, a Universidade tem formado uma rede internacional de pesquisa com ênfase em sustentabilidade ambiental por meios dos projetos Consórcio de Universidades Europeias e Latino-Americanas em Energias Limpas – JELARE e Promoção da Geração Renovável de Eletricidade na América do Sul – REGSA. Com o projeto LINKS 2015, houve uma parceria entre o Grupo de Pesquisa em Energias Limpas e Sustentabilidade

– GREENS da UNISUL e grupos de pesquisa da Universidade de Cambridge. Além dos citados, projetos internos também foram iniciados entre campus da universidade, também no sentido da pesquisa. (RIBEIRO, 2017).

Na unidade de Pedra Branca, da Universidade do Sul de Santa Catarina, o compromisso com a sustentabilidade é fortemente evidenciado pela implantação de projetos ligados às áreas de ciência e tecnologia com vistas à sustentabilidade, tal como o projeto UNISUL Solar, Projeto de Eficiência Energética UNISUL e Programa de Educação Ambiental. (RIBEIRO, 2017).

O Projeto UNISUL Solar é uma iniciativa que visa disseminar e desmistificar a utilização da energia solar fotovoltaica para a comunidade universitária. Uma cadeia, de 17 painéis solares, foi instalada no Campus Pedra Branca permitindo que toda a energia elétrica necessária para a utilização da Biblioteca Universitária seja proveniente da geração renovável. (RIBEIRO, 2017, p. 66).

Atualmente, nenhum campus da Universidade do Sul de Santa Catarina conta com projeto de gestão ou controle de águas e efluentes, e isto se agrava, pois conforme (RIBEIRO, 2017, p. 98) “[...] a universidade atualmente não conta com nenhum programa ou normatização para *retrofit*, por exemplo, que consiste na modernização de infraestruturas antigas [...]” que possam contribuir para com a sustentabilidade das edificações neste sentido.

O desenvolvimento sustentável em uma instituição de ensino superior é processo lento, ambicioso, envolve mudanças de hábito e comportamento, alto grau de investimento e comprometimento dos gestores da universidade com o tema. Apesar das dificuldades na implementação dos projetos, a UNISUL apresenta uma grande capacidade de mudança, e vem tentando, mesmo que com muitos empecilhos, implementar um green campus em suas instalações. Os próximos anos serão estratégicos para definir se a universidade estará alinhada com os compromissos assumidos por praticamente todas as universidades do mundo. (RIBEIRO, 2017, p. 135).

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Institucional – PDI da Universidade do Sul de Santa Catarina, a visão para o ano de 2030 é que a universidade possa ser reconhecida por “[...] ser uma Universidade Comunitária de vanguarda, empreendedora e global, reconhecida pela ampliação do acesso à educação de qualidade e por contribuir com o desenvolvimento sustentável, em Santa Catarina e no País, em parceria com o Estado e outras organizações.” (UNISUL, 2015). Desta forma, a proposta de revitalização sustentável do Bloco CETAL, é condizente com a visão da referida Instituição de Ensino a curto, médio e longo prazo.

#### **4. Metodologia**

A aplicação do nível exploratório qualitativo de estudo, portanto, possibilitou a aplicação de abordagem multimetodológica, quanto ao método de procedimento em estudo de caso aliado ao levantamento bibliográfico e documental.

A revisão de literatura e análise documental foi baseada em cinco etapas principais: conceituação de um projeto de reformas; identificação das diretrizes arquitetônicas aplicáveis aos edifícios educacionais por normas técnicas, planos diretores e instruções normativas; identificação de medidas de sustentabilidade aplicáveis às edificações de acordo com manuais de certificações ambientais; identificação da situação e do entorno da edificação (parâmetros pré-projetuais), bem como análise de referenciais arquitetônicos.

Como parte do processo de levantamento de dados, o processo de investigação da percepção dos usuários da edificação foi importante, no sentido de elencar as necessidades dos alunos e professores que frequentam o referido Bloco CETTAL. Esta etapa foi realizada através da aplicação de um questionário semiestruturado online e entrevista intencional com alguns dos representantes administrativos da Universidade.

O resultado final da pesquisa, portanto, consistiu na elaboração de um projeto de reforma e revitalização sustentável ao Bloco CETTAL, através de um anteprojeto arquitetônico e diretrizes específicas.

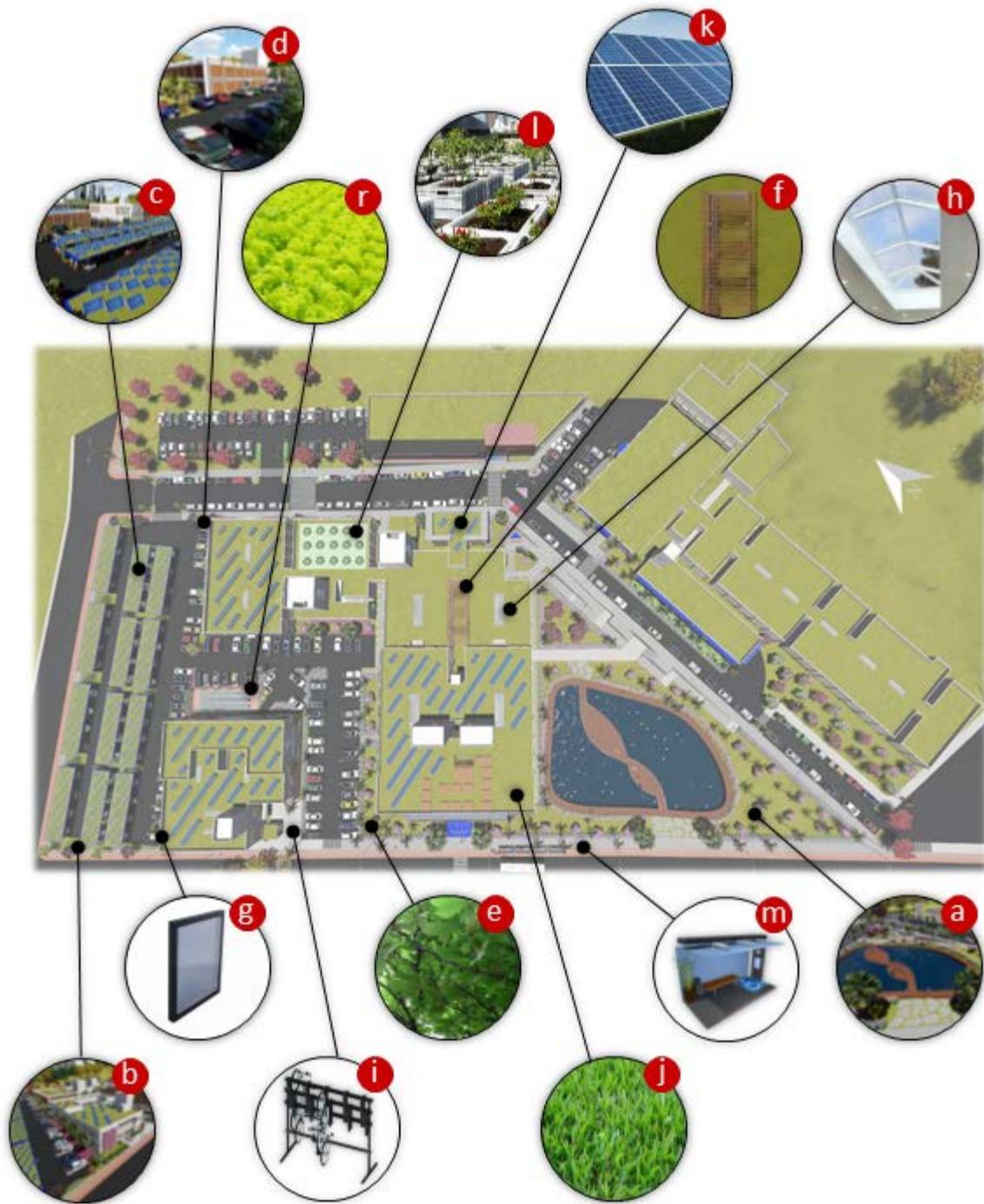
## 5. Resultados e discussões

Durante a análise pré-projetual da edificação e entorno imediato do Bloco CETTAL, constatou-se que embora o terreno seja amplo, os elementos arquitetônicos e urbanísticos encontram-se mal distribuídos, não valorizando adequadamente o espaço físico disponível. As áreas subutilizadas podem se tornar potenciais locais de convivência entre alunos, melhorando a integração usuário-edificação e edificação-entorno.

Com relação aos itens de conforto dos usuários, as principais considerações da proposta foram pautadas na adoção de vedações e esquadrias com melhor eficiência, como a adoção de camadas isolantes e uso de vidros duplos com tecnologia *low-e* seletivo.

Relativo às considerações da acessibilidade, na etapa projetual houve grande preocupação na eliminação de desníveis nas circulações horizontais e passeios públicos, bem como o aumento do número de circulações verticais apropriadas, tal como rampas com declividade de acordo com a NBR 9.050/2015, plataformas elevatórias e um elevador central. Todos os sanitários da edificação foram adaptados em projeto, visando atender a todos os públicos. Adicionalmente, as vagas em estacionamento destinadas a portadores de necessidades especiais foram locadas estrategicamente visando facilitar o acesso deste público à edificação.

As principais alterações propostas pelo projeto de reforma em prol da sustentabilidade na edificação estão sintetizadas conforme elementos identificados na figura 1, com legenda de acordo com os itens descritos nas alíneas que seguem a imagem específica.



**Figura 1: Painel expositivo da proposta de reforma sustentável ao Bloco CETTAL. Fonte: Elaborado pelos autores (2018).**



*Legenda:*

- a) Melhorias no urbanismo imediato prevendo maiores e melhores áreas vegetalizadas, com potencial para convivência dos acadêmicos. Desta forma, além de estimular a integração dos usuários da edificação, ainda existirá a melhora do microclima local;
- b) Transformação das áreas de estacionamento em espaços mais verdes, de acordo com as recomendações do Plano Diretor Físico da Universidade, reduzindo a ilha de calor;
- c) Proposta de estruturas fotovoltaicas para a área de estacionamento, proporcionando uma cobertura à esta área e permitindo a geração de energia sustentável. De caráter adicional estas estruturas contam com telhado vegetal, possibilitando o aumento da eficiência das placas fotovoltaicas;
- d) Utilização de brises dinâmicos nas esquadrias voltadas às orientações Norte e Oeste, permitindo a abertura parcial das venezianas de proteção solar e possibilitando configurações variáveis das fachadas (fachadas dinâmicas);
- e) Utilização de áreas com vegetação caduca próximo às edificações, permitindo maior proteção solar no período de verão (em que as árvores apresentam mais folhas) e possibilitando o aquecimento nos meses de inverno (época que a vegetação apresenta menor quantidade de folhas, possibilitando a insolação direta nesta época);
- f) Uso de pergolado nos poços de luz em substituição à utilização de brises individuais nestes espaços;
- g) Uso de vidros especiais nas esquadrias, compostos com tecnologia *low-e* seletivo em vidros duplos, para maior conforto térmico-acústico;
- h) Uso de claraboias para a iluminação e ventilação dos espaços nos corredores e em locais estratégicos, permitindo inclusive a exaustão do ar quente. Para os vidros destes espaços recomenda-se que sejam difusores, de modo a permitir a passagem de luz difusa e evitar o ganho térmico;
- i) Inserção de um bicicletário vertical para otimização do espaço com disponibilidade de um vestiário anexo (com aquecimento de água mediante painel solar localizado na cobertura da UNISULTV). Para impedir a entrada de pessoas desautorizadas, estes vestiários deverão dispor de controle de acesso por cartões especiais para que sejam utilizados apenas por estudantes e colaboradores;
- j) Utilização de telhado verde como cobertura para a edificação e paredes vegetais, de forma a melhorar o microclima local e promover o conforto térmico da edificação (telhados verdes podem funcionar como uma espécie de manta térmica à edificação, desde que bem executados);
- k) Previsão de uso de placas solares fotovoltaicas na cobertura das edificações, de forma a contribuir em quase 100% da necessidade energética para o uso do espaço. Estas deverão distar pelo menos 5cm da cobertura para permitir o escoamento pluvial. Deverá ser considerado os espaçamentos necessários para que elementos como platibandas e reservatórios não causem sombra às placas solares;
- l) Previsão de uma horta comunitária na cobertura do Bloco CETTAL, com acesso externo, de forma que o plantio e colheita dos vegetais possam ser doados à comunidade ou às demais instituições sociais;
- m) Previsão de pontos de ônibus nas proximidades do Bloco CETTAL, acompanhando o padrão aceito através do concurso cultural “Que Parada é Essa”, promovido pela Prefeitura Municipal de Tubarão, estimulando o transporte coletivo local;
- n) Adoção de pontos de coleta seletiva e separação de materiais reciclados ao longo do campus (tanto em áreas externas, como corredores e salas de aula) possibilitando a posterior reciclagem dos materiais com maior facilidade;



- o) Coleta e armazenamento de água pluvial para fins não potáveis a ser utilizada (após tratamento) para uso em bacias sanitárias. No sistema de coleta pluvial, deverá ser previsto o descarte inicial das primeiras águas, gradeamento para tratamento físico e remoção de impurezas, bem como tratamento químico, tal como cloração ou processo de similar eficácia. A água pluvial também poderá ser utilizada para irrigação do telhado verde;
- p) Coleta e reuso das águas cinzas (provenientes de lavatórios, bebedouros e chuveiros), através de sistema de esgoto separador absoluto e tratamento químico do efluente. Após o tratamento, a água não potável poderá ser armazenada e utilizada para irrigação da vegetação do empreendimento;
- q) Incentivo a caminharmento de pedestres através do aumento da sensação de segurança no campus. Tal situação pôde ser alcançada pela maior iluminação das áreas abertas no período noturno, e incentivo de maior fluxo de transeuntes pela oferta de atividades nos espaços. O uso de segurança por meio de guardas e câmeras de segurança ainda é fundamental devido à proximidade da edificação com a Rodovia BR-101;
- r) Manteve-se na proposta de reforma a horta hidropônica existente, projeto desenvolvido em parceria com a Universidade de Cambridge, em razão da função apresentada pelo projeto;
- s) Diretrizes para redução do desperdício energético: a conscientização dos usuários da edificação em desligar os equipamentos não utilizados é importante para garantir que não esteja ocorrendo desperdício energético. A garantia desta, pode ocorrer por meio da introdução de temporizadores para dispositivos de condicionamento do ar dos ambientes, bem como a adoção de *dimmers* para que seja possível controlar o grau de luminância da edificação em função da luz natural disponível ao ambiente. Para os dispositivos condicionadores de ar, poderá haver junto ao interruptor manual da iluminação um dispositivo de acionamento e controle de temperatura em cada ambiente, haja vista a impossibilidade do sistema de ar condicionado central para esta edificação. A utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes, conforme selo PROCEL é interessante no sentido da economia energética, tal como a possibilidade de utilização de lâmpadas com tecnologia LED. As parcerias com empresas públicas e privadas podem ser investigadas, no sentido de possibilitar a troca de equipamento energeticamente ineficientes, por equipamentos mais eficazes. Para a iluminação externa deverá haver sensor de luminosidade para acionamento;
- t) Diretrizes para redução do desperdício hidráulico: da mesma forma, a conscientização dos usuários é de suma importância. Nos ambientes sanitários a possibilidade de válvula com duplo acionamento de vazão (3l/6l) para descargas nos sanitários e mictórios (1l/3l) contribuem no sentido da economia, bem como a adoção de torneiras para os lavatórios com sensor de presença e/ou temporizador para desligamento. O uso de dispositivos arejadores, bem como redução da pressão disponível ao ponto de uso contribuirá na economia hídrica, haja vista que será disponibilizada uma menor vazão ao ponto de uso, sendo a sensação percebida pelo usuário como se a torneira possuísse pressões elevadas. A vazão das torneiras deverá ser limitada entre 5l/min e 12l/min, sendo priorizadas vazões menores, se possível.

## 6. Conclusão

Durante a etapa projetual visou-se atingir os parâmetros de certificações ambientais mais relevantes, de forma que no futuro o projeto possa ser submetido ao processo de avaliação e implantação dos certificados que atestam a sustentabilidade presente na edificação referente aos campos energético, hídrico e material, sem necessidade de novas alterações arquitetônicas.

A partir da proposta contendo a intervenção arquitetônica para a reforma do Bloco CETTAL, a Universidade do Sul de Santa Catarina pode se beneficiar das informações apresentadas, dispondo de parâmetros e condicionantes que podem ser aplicadas paulatinamente à edificação, de forma a atualizar as instalações existentes aos atuais parâmetros e normativas vigentes, possibilitando à Universidade tornar-se um modelo e referência de *green campus*.

A partir do momento que a Universidade integrar em sua estrutura física práticas de sustentabilidade, esta estará contribuindo para com a formação de cidadãos mais ecológicos, cientes da capacidade de mudança do ambiente em que se encontram. Proporcionará maior consciência individual na comunidade que abrange através das referências vivas de modelos sustentáveis. As universidades são consideradas a fonte de inovação e conhecimento, e como tal, seu espaço físico deve acompanhar esta premissa, deixando a estaticidade à parte e buscando alternativas no sentido de se adaptar às novas realidades e necessidades.

Embora o custo inicial de instalação das propostas sustentáveis seja elevado, o retorno a curto, médio e longo prazo é inigualável, tanto em âmbito energético e economia financeira, quanto em *status* ambiental, contribuindo significativamente para a imagem da Instituição perante ao grupo acadêmico, avaliadores externos e comunidade local.

## Referências

ABNT. **NBR 16.280 - Reformas em edificações - Sistema de gestão de reformas - Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 11. 2015a

CBCS. Condutas de sustentabilidade no setor imobiliário residencial. **CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**, 2018. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/condutas-de-sustentabilidade/show.asp?ppgCode=2AF07A75-7E4C-426B-BF7A-C2F925B2B065>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

DEEKE, V.; CASAGRANDE JR., E. F.; DA SILVA, M. C. **Edificações sustentáveis em instituições de ensino superior**. 7º Seminário Internacional Espaço Sustentável: Inovações em Edifícios e Cidades. São Paulo: USP. 2008. p. 1-8. Disponível em: <<https://www.usp.br/nutau/CD/03.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

DEEKE, V.; CASAGRANDE JÚNIOR, E. F. **A arquitetura e o design como agentes de transformação para o desenvolvimento sustentável nas instituições de ensino superior (IES)**. I Encontro Latino Americano de Universidades Sustentáveis. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo. 2008. p. 12. Disponível em:

<[ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ELAUS\\_2008/trabalhos/207.pdf](ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ELAUS_2008/trabalhos/207.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DOURADO, J.; BELIZÁRIO, F.; PAULINO, A. **Escolas Sustentáveis**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2015. Disponível em:  
<<http://unisul.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788579752223/pages/-3>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

FELIX, L. F. C. **O processo de projeto de uma edificação mais sustentável: contribuições relativas ao programa arquitetônico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 166. 2008. Disponível em:  
<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17865>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

GAION, P. P. **Diretrizes de planejamento e projeto urbano sustentável de campi universitários: o caso da UFSCar**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 251. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4370>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. 1. ed. Barueri: Manole, v. 1, 2005. Disponível em:  
<[http://unisul.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788520420805/pages/\\_1](http://unisul.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788520420805/pages/_1)>. Acesso em: 19 abr. 2018.

RIBEIRO, J. M. P. **Um plano de ação para a promoção da sustentabilidade em uma instituição de ensino superior por meio de green campus: um estudo de caso da unidade UNISUL Pedra Branca**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, p. 175. 2017. Disponível em:  
<<https://riuni.unisul.br/handle/12345/3377>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

TIBÚRCIO, T. M. D. S. et al. **Produto e processo**: abordagens conceituais sobre edificações e construções inteligentes e sustentáveis. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória: UFPR. 2011. p. 10. Disponível em: <[http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011\\_artigo\\_126.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011_artigo_126.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

UNISUL. Plano de Desenvolvimento Institucional – PDI 2015 – 2019. **PDI UNISUL**, 2015. Disponível em: <[vidaacademica.unisul.br/pdi](http://vidaacademica.unisul.br/pdi)>. Acesso em: 30 mar. 2018.

VIEIRA, L. A.; BARROS FILHO, M. N. M. A emergência do conceito de arquitetura sustentável e os métodos de avaliação do desempenho ambiental de edificações. **Humanae**, Recife, v. 1, n. 1, p. 1-26, dez. 2009. Disponível em:  
<<http://humanae.esuda.com.br/index.php/humanae/article/view/55>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

ZHAO, D.-X.; HE, B.-J.; MENG, F.-Q. The green school project: A means of speeding up sustainable development. **Geoforum**, v. 65, p. 310-313, out. 2015. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718515301652?via%3Dihub>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

## **Simulação térmica de protótipo de *light wood frame* pela NBR 15.575**

### ***Thermal simulation of wood frame house prototype by NBR 15.575***

**Tiago de Castro Quevedo, acadêmico Curso Engenharia Civil, IFSC.**

quevedotc@gmail.com

**Rafael Takeshi Hayashi Feuerharmel, acadêmico Curso Engenharia Civil, IFSC.**

rafaelfeuerharmel@gmail.com

**Marina Espíndola Amorim, acadêmica Curso Engenharia Civil, IFSC.**

marinaamorim2101@gmail.com

**Ana Lígia Papst de Abreu, Doutora, IFSC.**

ana.abreu@ifsc.edu.br

**Luciana da Rosa Espíndola, Doutora, IFSC.**

luciana.espindola@ifsc.edu.br

#### **Resumo**

Sistema construtivo de *light wood frame* quando analisado pelo método simplificado da norma de desempenho de edificações habitacionais (NBR 15.575), não atende ao critério de desempenho térmico no item de capacidade térmica. O objetivo deste artigo é comparar o desempenho de edificações com sistema construtivo de *light wood frame*, verificando o atendimento aos critérios de desempenho térmico da NBR 15.575 pelo método da simulação computacional. Foram simulados diferentes propostas de sistemas construtivos de *light wood frame*, buscando avaliar o comportamento térmico e atendimento aos critérios da NBR 15.575. Através dos resultados da simulação observou-se que o desempenho térmico no inverno atende aos critérios mínimos da NBR 15.575, e no período de verão este sistema construtivo mais leve pode chegar a ter classificação superior em função do sombreamento das janelas e de poucas trocas de ar com o ambiente externo.

**Palavras-chave:** simulação térmica; desempenho térmico; norma de desempenho

#### ***Abstract***

*Construction system of light wood frame doesn't get the minimum thermal performance criteria of the thermal capacity by the simplified method of NBR 15.575, the Brazilian Performance Standard. The objective of this paper is to compare the performance of buildings with a light wood frame construction system, verifying compliance with the thermal performance criteria of NBR 15.575 by the simulation method. Different proposals of constructive systems were simulated in order to classify the thermal performance by the criteria of NBR 15.575. The results of the simulation have showed that the thermal performance in winter reach the minimum level of NBR 15.575, and in the summer this lightweight construction system may have a better classification due to the windows shading and a low air changes per hour with the external environment.*

**Keywords:** *thermal simulation; thermal performance; performance standard*

## 1. Introdução

Mundialmente, o setor da construção civil é responsável por diversos impactos ambientais nas suas mais diversas etapas, seja pelo uso de recursos naturais, seja pela emissão de carbono, seja pela produção de resíduos sólidos. (TORGAL e JALALI, 2010). No Brasil, madeira, materiais cimentícios (incluindo areia e brita), cerâmica vermelha e aço representam a maior parte dos produtos da construção civil. Sendo os materiais cimentícios e a cerâmica vermelha quase que de uso exclusivo da construção civil. Em se mantendo as atuais práticas do setor da construção civil com relação aos materiais adotados, e com o seu respectivo crescimento, agravar-se-á os impactos ambientais associados a estes. Com relação a especificação dos materiais construtivos, faz-se necessário inovações com foco na sustentabilidade. (CBCS, 2014). A madeira por ser um recurso renovável, ter um potencial de manter-se fora do descarte, possibilitar a construção de edifícios de vários pavimentos, têm vantagens e um forte potencial ainda a ser explorado. (OLIVER et al., 2014).

No Brasil, a NBR 15.575 é a primeira norma que trata da avaliação do desempenho da edificação habitacional com foco no atendimento das expectativas dos usuários com relação ao conforto e à segurança no uso. Esta norma foi elaborada para incentivar o desenvolvimento tecnológico, pois orienta na avaliação da eficiência técnica da solução tecnológica proposta, e “(...) não na prescrição de como os sistemas são construídos.” (ABNT, 2013a). Nesta norma são apresentados dois procedimentos para a avaliação de desempenho térmico numa edificação, o método normativo e o método informativo. O procedimento normativo que é o que realmente serve para avaliar o desempenho térmico, está subdividido em dois métodos: o simplificado e o por simulação computacional. Em não existindo o atendimento ao desempenho térmico mínimo pelo método simplificado, adota-se o procedimento pela simulação computacional para avaliação e possível classificação de atendimento (ou não) à norma. (ABNT, 2013a).

Como uma forma de disseminação do sistema construtivo de madeira, foi proposto no Campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), a construção de protótipos didáticos de *light wood frame* (estrutura de madeira). A ideia da construção destes protótipos é que possam ser utilizados como instrumento didático e também de avaliação de desempenho térmico de um sistema construtivo mais sustentável.

O problema de especificar edificações com sistema estrutural de madeira e fechamento de painéis de madeira, está no fato de que por ser um sistema construtivo leve, não é aprovado pelo método simplificado da NBR 15.575 no item referente à capacidade térmica. A proposta deste artigo é seguir a NBR 15.575, e utilizar o método de simulação computacional para avaliação do desempenho térmico de um protótipo de casa de *light wood frame*, isto devido ao não atendimento deste sistema construtivo pelo método simplificado. Algumas variações no fechamento do sistema construtivo serão propostas, com o intuito de avaliar parametricamente a influência destes componentes no desempenho térmico da edificação. Uma outra questão a ser avaliada neste artigo, é a influência da dimensão da edificação no comportamento térmico da mesma. Desta forma, a construção de um protótipo para posterior medição das temperaturas internas, mesmo que só para explicar os procedimentos didáticos de medição, podem levar os alunos a acreditar que este tipo de sistema construtivo não é o adequado ao clima local em função das temperaturas internas medidas. A simulação computacional possibilita averiguar a influência do

parâmetro das dimensões dos protótipos de *light wood frame* também na classificação do desempenho térmico pela NBR 15.575.

O objetivo deste artigo é comparar o desempenho de protótipos com sistema construtivo de *light wood frame*, verificando o atendimento aos critérios de desempenho térmico da NBR 15.575 pelo método da simulação.

## 2. Revisão de literatura

A revisão de literatura focou em dois aspectos: a madeira como material que possibilite uma construção civil brasileira mais sustentável; e os critérios de avaliação de desempenho térmico indicados pela NBR 15.575.

### 2.1 Construção civil mais sustentável com a utilização da madeira

No Brasil é comum as construções serem em alvenaria e concreto armado. O sistema construtivo em estrutura de madeira não é tradicional no Brasil como é em países como Estados Unidos, Japão, Austrália, Alemanha, Chile, países nórdicos, entre outros. A real incorporação de sistemas construtivos novos, como o *wood frame*, pressupõe a integração sistemática das esferas governamentais, das empresas e das instituições de ensino e pesquisa. (ESPÍNDOLA, 2017).

A madeira é um dos poucos recursos naturais usados na construção civil, que tem a possibilidade de ser desmontada, e reutilizada em outras edificações até com uso diferenciado. Além disso, a madeira tem baixo impacto na produção, além de ter um alto potencial no sequestro de carbono. (OLIVER et al., 2014). Mas para que a madeira seja considerada um material de baixo impacto ambiental na fase de uso da edificação, é preciso que se tenha cuidados na utilização de materiais como tintas e adesivos que emitem compostos orgânicos voláteis (COV). (CBCS, 2014).

Mundialmente, se uma parte da infraestrutura das novas construções fossem feitas com madeira poderia-se reduzir entre 14% e 31% as emissões globais anuais dos gases que contribuem para o efeito estufa, e poderiam contribuir numa diminuição de 12% a 19% do consumo de combustíveis fósseis. (OLIVER et al., 2014).

### 2.1 Desempenho térmico de sistema construtivo de madeira pela NBR 15.575

A NBR 15.575 (ABNT, 2013a) apresenta uma lista de exigência e expectativas dos usuários de edificações habitacionais em relação à segurança, à habitabilidade e à sustentabilidade, e estabelece requisitos e critérios mínimos. Considera-se que se estes requisitos e ou critérios forem atendidos, estariam sendo satisfeitas as exigências dos usuários. São dois os procedimentos para a avaliação de desempenho térmico numa edificação: o método normativo e o método informativo. A Figura 1 apresenta um esquema do método de avaliação do desempenho térmico pela NBR 15.575.

O procedimento informativo, que são medições em edificações ou protótipos, não se sobrepõe ao procedimento normativo, e não serve para classificar o desempenho térmico da edificação. O procedimento normativo está subdividido em dois métodos: o simplificado e o por simulação computacional. O método simplificado (prescritivo) é a verificação ao atendimento aos requisitos e critérios de características térmicas (transmitância térmica e capacidade térmica) das vedações verticais e coberturas. Se não for atendido os valores mínimos através dos sistemas construtivos de vedações verticais e coberturas com relação aos critérios de transmitância térmica e capacidade térmica, passa-se para a verificação de temperaturas internas por simulações computacionais.

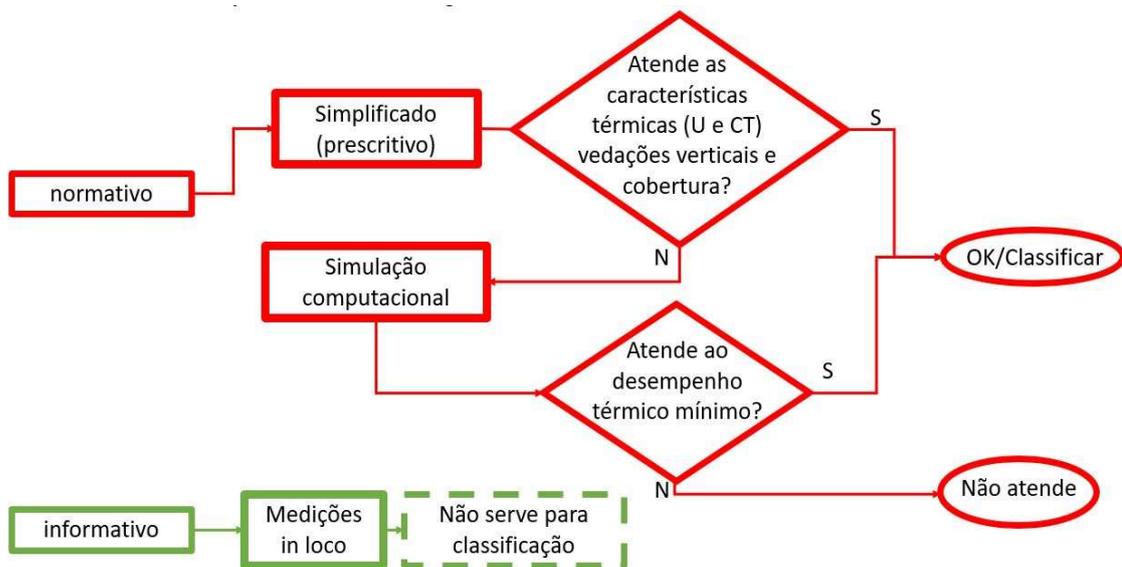


Figura 1: Esquema de avaliação de desempenho térmico pela NBR 15.575. Fonte: elaborado pelos autores.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013a,b,c) estabelece requisitos e critérios para que uma edificação tenha o mínimo desempenho exigido pelos usuários. A Tabela 1 é um resumo dos valores de transmitância térmica e capacidade térmica das vedações verticais, e a Tabela 2 apresenta os valores de transmitância térmica mínima de coberturas, para a zona bioclimática 3 onde está situada a cidade de Florianópolis (ABNT, 2005b).

Transmitância Térmica (U)		Capacidade Térmica (C)
$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$C \geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$
$U \leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$	$U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$	

\* $\alpha$  é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Tabela 1 – Valores de Transmitância térmica e capacidade térmica para vedações verticais Fonte: adaptado da NBR 15.575 (ABNT, 2013b)

	Transmitância Térmica (U)	
Nível de Desempenho	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
Mínimo	$U \leq 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$	$U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

\* $\alpha$  é a absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura

**Tabela 2 – Valores de Transmitância térmica para coberturas Fonte: adaptado da NBR 15.575 (ABNT, 2013c)**

A transmitância térmica (U), pode ser melhorada incorporando materiais leves como isolamentos térmicos na composição do sistema construtivo. Já a capacidade térmica que é um dos itens a serem avaliados pelo método prescritivo de sistemas de vedações verticais, é calculado em função da espessura, do calor específico e da densidade do material. (ABNT, 2005a). Em estudo recente de quatro variações de painéis de wood frame, a capacidade térmica máxima obtida foi de 53 KJ/m<sup>2</sup>K. (ZARA; SANTOS; GIGLIO, 2018). Pelo fato da madeira ter baixa densidade e baixa condutividade térmica, é o que faz com que este sistema construtivo seja considerado de baixa inércia térmica. A baixa inércia térmica é indicada para garantir o conforto térmico no período de verão (JOLIBOIS, 2017), mas não atende ao que é preconizado pela NBR 15.575 pelo método simplificado. Desta forma, parte-se para a verificação por simulação computacional.

A NBR 15.575 indica para o procedimento normativo por simulação computacional o software EnergyPlus com os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de verão e inverno da cidade analisada, no caso Florianópolis (ABNT, 2013a). O desempenho térmico mínimo de verão por simulação é feito sem fontes internas de calor, e a temperatura máxima interna deve ser inferior ou no máximo igual ao valor da temperatura máxima externa no dia típico de verão, que no caso de Florianópolis é 32,7°C. Já para o inverno, o o desempenho térmico mínimo do ambiente é quando a temperatura interna mais baixa é 3°C mais elevada que a temperatura externa mínima num dia típico de inverno, que no caso de Florianópolis é de 6°C.

Para simulações de edificações residenciais multifamiliares que ainda estão em fase de projeto, a NBR 15.575 recomenda simular computacionalmente a unidade habitacional mais crítica termicamente. No caso do verão, janela na parede oeste e segunda parede voltada ao norte, e no caso do inverno, janela na parede sul e outra parede voltada ao leste. Adota-se a renovação de ar de uma troca por hora. A absorvância à radiação solar ( $\alpha$ ) da cobertura deve ser a especificada no projeto. Nas paredes, quando a absorvância à radiação solar não for definida, usar valores de: cor clara (0,3); cor média (0,5); e cor escura (0,7).

Caso a unidade avaliada não atenda aos critérios de verão, deve-se simular com as seguintes alterações: cinco trocas de ar por hora e janela sem sombreamento; dispositivo de sombreamento de no mínimo 50% da radiação solar direta com uma troca de ar por hora; combinação da estratégia de sombreamento e de 5 trocas de ar por hora.

A comparação por simulação computacional do sistema construtivo de alvenaria convencional com sistema construtivo em *wood frame* pelo RTQ-R, mostram desempenho térmico similar para os dois sistemas construtivos, tanto para os casos de verão quanto de inverno. (ZARA; SANTOS; GIGLIO, 2018; AMORIM e VIEIRA, 2016). Os modelos simulados dos painéis de madeira que apresentaram os melhores resultados foram os casos com painéis de baixa transmitância térmica associado ao uso de coberturas com baixa absorvância solar da cobertura. (ZARA; SANTOS; GIGLIO, 2018).

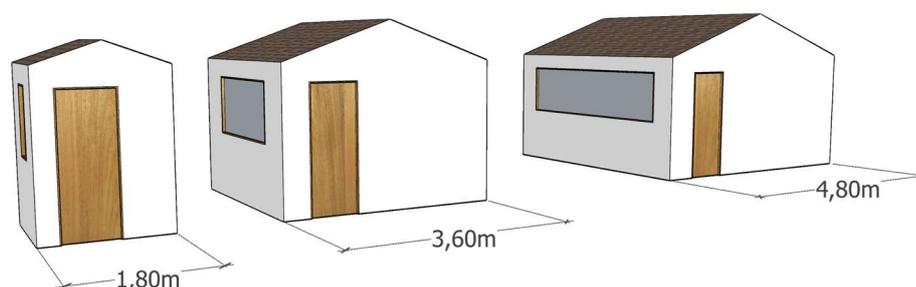
### 3. Procedimentos metodológicos

Este item está dividido em três partes: uma primeira onde são apresentadas as especificações dos protótipos simulados, especificações construtivas que foram analisadas parametricamente; critérios da NBR 15.575 que foram utilizados como referência, o software utilizado para simulação e os procedimentos adotados; métodos aplicados para avaliação; e comparação dos resultados das simulações.

#### 3.1 Especificação do protótipo simulado

Para as simulações dos protótipos foram adotados três tamanhos diferenciados (vide Figura 2). As edificações foram estimadas em função dos painéis de OSB (1,20m x 2,40m) e foram denominadas de Casa P, M e G. A Casa denominada P tem as dimensões em planta do protótipo a ser construído no Campus Florianópolis do IFSC. Para os três protótipos foram consideradas paredes compostas por placa cimentícia, isolante lã de rocha de 5 cm, câmara de ar de 2 a 5 cm com fluxo horizontal, OSB de 1 cm e gesso acartonado de 1,25 cm. Já as coberturas foram consideradas com telha shingle, isolante lã de rocha de 5 cm, câmara de ar de 5 cm e placa OSB.

As áreas de abertura foram estimadas em  $\frac{1}{6}$  da área do piso (CMF, 2000), e padronizou-se o peitoril de 1,10 m e altura da janela de 1 metro. Também foi considerada a abertura com vidro transparente de 3 mm. Apesar dos protótipo terem coberturas inclinadas ( $i = 20^\circ$ ), para a simulação adotou-se a simplificação de um elemento prismático retangular, o que resultou num pé direito estimado em função da altura média da cobertura somado a 2,40 m da altura do painel. A Tabela 3 apresenta simplificadamente os critérios adotados para a simulação dos protótipos.



**Figura 2: Exemplo dos protótipos simulados em função da dimensão e da área de abertura. Fonte: elaborado pelos autores.**

	Modelo P	Modelo M	Modelo G
dimensão em planta	1,80m x 1,80m = 3,24m <sup>2</sup>	3,60m x 3,60m = 12,96m <sup>2</sup>	4,80m x 4,80m = 23,04m <sup>2</sup>
pé direito	2,55m	2,75m	2,85m
dimensão da abertura	1,0m x 0,54m = 0,54m <sup>2</sup>	1,0m x 2,16m = 2,16m <sup>2</sup>	1,0m x 3,84m = 3,84m <sup>2</sup>

Tabela 3 – Critérios de dimensionamento dos protótipos simulados. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.2 Especificações referentes a simulação

As simulações foram realizadas com base na NBR 15.575 (ABNT, 2013a), que trata dos requisitos gerais e de como deve ser feito o processo de simulação. Portanto, para cada modelo (Figura 2) foram simuladas diferentes estratégias.

Para o inverno foram realizadas somente simulações com 1 renovação de ar por hora. Já para o verão foram considerados dois casos distintos: o primeiro com 1 renovação de ar por hora; o segundo com maior taxa de ventilação, sendo de 5 renovações de ar por hora.

As orientações solares de cada modelo foram determinadas também seguindo o proposto pela normatização. Para inverno a janela é orientada para Sul, enquanto que para o verão a janela é orientada para Oeste.

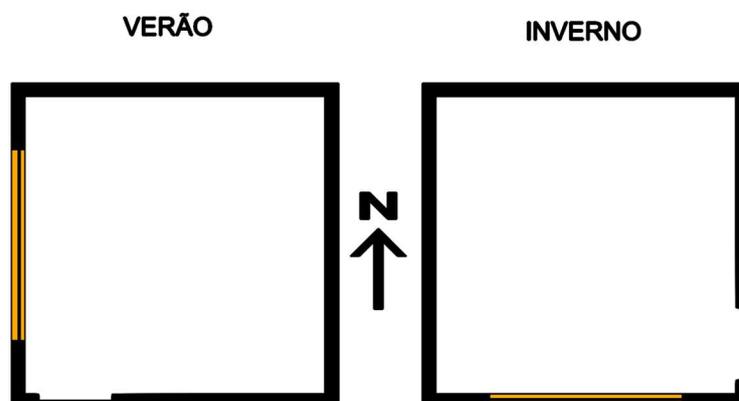


Figura 3: Exemplo da orientação solar das aberturas para casa de verão e de inverno. Fonte: elaborado pelos autores.

Para a simulação no caso do inverno, a NBR 15.575 determina que não devem ser adotadas estratégias de sombreamento. Para o verão, caso não seja atingido o valor mínimo de desempenho térmico, deve-se adotar estratégias que incluam sombreamento mínimo de 50%. Para a simulação foi adotado o valor de 100% como estratégia no período de verão, o semelhante a uma veneziana totalmente fechada.

Ainda com base na NBR 15.575, foram escolhidos três valores de absorvâncias para as paredes externas. Os valores adotados foram de: 0,3 que representa cor clara; 0,5 representando cor média; e 0,7 que representa a absorvância solar de cor escura (Figura 4).

É importante frisar que a construção foi considerada em contato com o solo, uma vez que muitas casas de madeira ou até mesmo de wood frame são construídas em cima de radiers em contato direto com o solo. Portanto utilizou-se o próprio programa de simulação para calcular as temperaturas do solo em contato com a edificação.

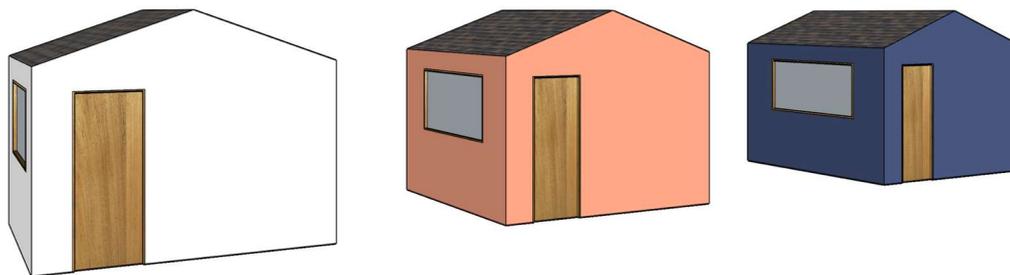


Figura 4: Exemplo das cores adotadas para simulação, branco (0,3), flamingo (0,5), azul (0,7).

Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.3 Avaliação do desempenho térmico pelo método da simulação computacional da NBR 15.575

Para realizar a avaliação do desempenho térmico da edificação deve-se comparar as temperaturas no interior da mesma com as temperaturas máximas e mínimas do exterior. Para a análise foi utilizado o preconizado pela NBR 15.575, que para se considerar um desempenho térmico mínimo de verão, a temperatura máxima interna deve ser no máximo igual a externa. Para a avaliação do desempenho térmico mínimo de inverno a temperatura interna mínima precisa ser 3°C acima da temperatura mínima externa. As classificações de desempenho térmico, mínimo, intermediário e superior, para os casos de verão e inverno estão apresentadas na Tabela 4. Lembrando que Florianópolis encontra-se na Zona Bioclimática 3.

Desempenho inverno e verão Zona bioclimatica 1 a 7			
Desempenho	M	I	S
Verão	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}C)$
Inverno	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}C)$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}C)$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}C)$

Tabela 4 – Classificação de desempenho térmico segundo dados de simulação térmica. Fonte: ABNT (2013a).

#### 4. Análise das simulações

Ao total foram rodadas 36 simulações. A primeira rodada de simulação foi para as três dimensões dos protótipos, sem sombreamento, e uma renovação de ar por hora, para os casos de um dia típico de verão e inverno segundo a NBR 15.575. A Tabela 5 apresenta a classificação dos três protótipos para o inverno, e a Tabela 6 classifica o desempenho térmico para verão.

INVERNO						
CASA WF	ABS 0.3		ABS 0.5		ABS 0.7	
Temp Ext	6.00	Classificação	6.00	Classificação	6.00	Classificação
<b>CASA P</b>	8.63	Insuficiente	8.77	Insuficiente	8.89	Insuficiente
<b>CASA M</b>	9.76	Mínimo	9.89	Mínimo	10.01	Mínimo
<b>CASA G</b>	10.07	Mínimo	10.19	Mínimo	10.30	Mínimo

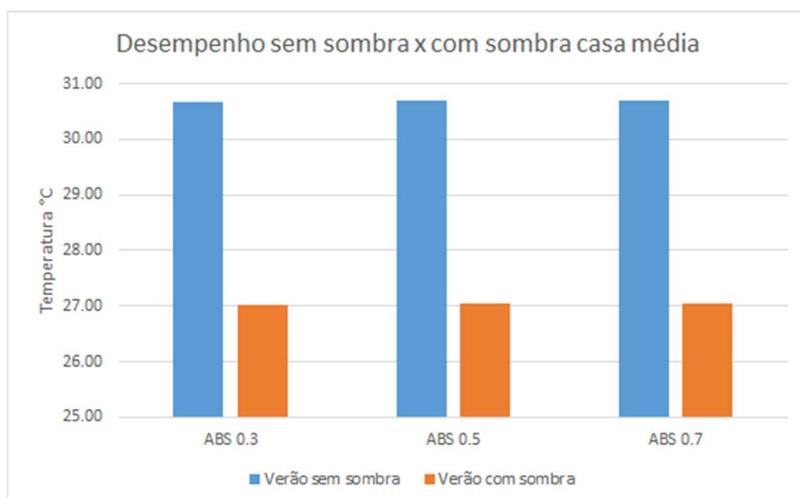
Tabela 5 – Classificação de desempenho térmico para inverno dos três protótipos segundo dados de simulação térmica. Fonte: elaborado pelos autores.

VERÃO						
	ABS 0.3		ABS 0.5		ABS 0.7	
Temp Ext	32.70	classificação	32.70	classificação	32.70	classificação
<b>CASA P</b>	30.18	Intermediário	30.20	Intermediário	30.25	Intermediário
<b>CASA M</b>	30.68	Intermediário	30.70	Mínimo	30.71	Mínimo
<b>CASA G</b>	30.68	Intermediário	30.69	Intermediário	30.70	Mínimo

Tabela 6 – Classificação de desempenho térmico para verão dos três protótipos segundo dados de simulação térmica. Fonte: elaborado pelos autores.

Pelos resultados das simulações, no inverno, o menor protótipo (denominado Casa P) apresentou desempenho térmico inferior ao mínimo preconizado pela NBR 15.575 (ABNT, 2013a), mesmo com paredes escuras. Vale salientar que as dimensões em área deste protótipo são inferiores ao que se preconiza a um ambiente de grande permanência pelo Código de Obras de Florianópolis. Lembrando que o sistema construtivo *light wood frame* tem pouca capacidade térmica, mas é considerado um sistema construtivo de isolamento térmico pela baixa transmitância térmica. Desta forma, observa-se que no inverno a temperatura interna sofreu maior influência de variação de temperatura (+1°C em geral) pelo aumento das dimensões do protótipo, do que pela alteração por cor mais escura nas paredes (+0,1°C em geral). Já no verão, o desempenho térmico das variações dos protótipos foi considerado mínimo ou intermediário, com variação máxima de 0,53°C nas temperaturas encontradas nas simulações. Observa-se também que os casos de verão que através da simulação os protótipos foram classificados como desempenho térmico mínimo, a variação foi de 0,02°C acima do critério intermediário.

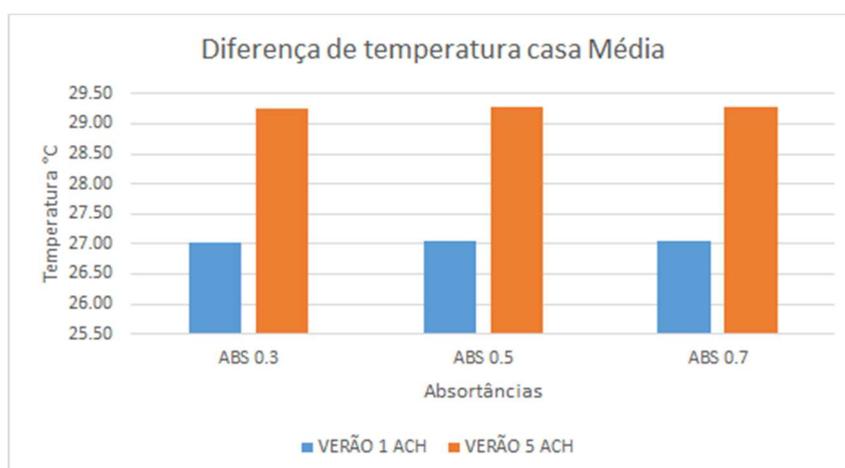
Tanto para verão quanto para inverno, a variação de temperatura interna é muito pequena, mesmo para os modelos com diferentes absortâncias solares nas paredes. Isso ocorre por ser um sistema isolado, onde o ganho de carga térmica ocorre principalmente através das aberturas (janelas). Para fazer esta avaliação a Figura 4 traz as temperaturas encontradas para o protótipo denominado “Casa M”, onde as simulações de verão foram feitas com e sem sombreamento nas janelas.



**Figura 4:** Gráfico de comparação da temperatura máxima interna da “Casa média” com e sem sombreamento na janela. Fonte: elaborado pelos autores.

Pela Figura 4 evidencia-se que a temperatura máxima interna com o sombreamento das aberturas no verão, garantiriam uma classificação Superior ao protótipo denominado “Casa M”. Isto porque a temperatura máxima interna é inferior a menos de 4°C da temperatura máxima externa de 32,7°C.

Outra avaliação feita para o verão, seguindo as recomendações da NBR 15.575, foi o aumento da renovação de ar de 1 troca por hora para 5 trocas de ar por hora. Pela Figura 5, observa-se que para o sistema construtivo de *light wood frame*, as simulações com 5 renovações de ar se mostraram menos eficientes do que simulações com 1 renovação de ar. Como o sistema construtivo pode ser considerado um isolamento térmico sem massa térmica, quanto maior for a renovação do ar interno com a temperatura do ar externo, maior a quantidade de carga térmica entrando, elevando a temperatura interna, e quase a igualando a temperatura externa.



**Figura 5:** Gráfico de comparação da temperatura máxima interna da “Casa média” com e sem sombreamento na janela. Fonte: elaborado pelos autores.

## 5. Considerações Finais

Nas simulações térmicas pela NBR 15.575, o sistema construtivo *light wood frame* apresentou resultados satisfatórios para o desempenho térmico, atingindo níveis suficientes para o inverno e níveis superiores para o verão. O sistema construtivo apresenta um bom desempenho térmico uma vez que as vedações verticais possuem material isolante, impedindo que o calor entre ou saia da edificação. Contudo, é importante ressaltar que a porcentagem de área de aberturas pode afetar o desempenho da edificação, uma vez que o calor tende a entrar em maior quantidade através das aberturas. Para percentuais de aberturas maiores que o mínimo exigido pelo Código de Obras de Florianópolis, faz-se necessário novas avaliações para determinar a eficiência da edificação.

Observa-se ainda que por se tratar de um sistema isolado quanto menor for a taxa de ventilação, melhor é o seu desempenho perante a NBR 15.575. Vale ressaltar que a norma não trata de cargas térmicas internas, e que por ser um sistema isolado o calor gerado pelos ocupantes ou equipamentos teria dificuldades para sair. Neste caso deveria ser feita uma nova avaliação do sistema para determinar a necessidade de maiores taxas de ventilação.

Por fim observa-se que os resultados da casa pequena em relação às outras casas foi variável. No inverno, por exemplo a casa apresentou um desempenho ligeiramente inferior em termos de temperatura, mas não atingiu o mínimo exigido pela normatização. Já no verão o seu desempenho foi melhor, atingindo níveis superiores de desempenho.

## Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15.575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15.575-4:** Edificações Habitacionais – Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15.575-5:** Edificações Habitacionais – Desempenho parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c.
- AMORIN, Silvia; VIEIRA, Roberta. Estudo comparativo da eficiência energética de uma habitação popular em alvenaria e em madeira no município de Ribeirão das Neves – MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- CBCS (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL) (Org.). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas:**

Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável. 2014. Disponível em: <[www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel](http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel)>. Acesso em: 04 dez. 2018.

CMF (CÂMARA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS). **Código de Obras**. Lei complementar nº 060/2000, de 28 de agosto de 2000. Disponível em: <<http://www.cmf.sc.gov.br/legislacao>> Acesso em 05 de outubro de 2015.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Carlos, 2017. doi:10.11606/T.102.2017.tde-04092017-113504. Acesso em: 2018-12-01.

JOLIBOIS, A. (França) (Org.). **Improving assessment of summer thermal comfort in timber-framed buildings**. 2017. Disponível em: <<http://www.cstb.fr/en/news/detail/confort-ete-ossature-bois/>>. Acesso em: 04 dez. 2018.

OLIVER, Chadwick Dearing et al. Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. **Journal Of Sustainable Forestry**, [s.l.], v. 33, n. 3, p.248-275, 28 mar. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10549811.2013.839386>.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. Vila Verde: Gráfica Vilaverdense – Artes Gráficas, Lda, 2010.

ZARA, R. B. SANTOS, V. C. GIGLIO, T. G. F. Análise do nível de eficiência energética de uma habitação em wood frame pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

## Agradecimentos

Ao CNPq pelas bolsas acadêmicas e ao IFSC pelos recursos disponibilizados ao projeto.

## **ECOSpace: proposição de um espaço para estimular a economia circular.**

### ***ECOSpace: Proposition a shared space to stimulate the circular economy.***

ZAMONER, Michele Tais D. C.; MSc; Universidade Federal do Paraná.

[mizamoner@gmail.com](mailto:mizamoner@gmail.com)

BARAUNA, Debora; Dra.; Universidade Federal do Paraná.

[debora.barauna1@gmail.com](mailto:debora.barauna1@gmail.com)

RAZERA, Dalton; Dr.; Universidade Federal do Paraná.

[daltonrazera@ufpr.br](mailto:daltonrazera@ufpr.br)

PELEGRINI, Alexandre V.; PHD; Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

[avpelegrini@googlemail.com](mailto:avpelegrini@googlemail.com)

### **Resumo**

A criatividade e a consciência coletiva são valores da sociedade no Século XXI. Por meio desses, busca-se soluções para o vigente modelo linear de produção e consumo, insustentáveis devido ao uso excessivo dos recursos naturais e ao descarte de resíduos. Associados a isso, novas tecnologia digitais têm proporcionado a criação de ambientes compartilhados, tais como, *makerspaces* e *fab labs*. Com este contexto, o objetivo do presente estudo é propor um espaço compartilhado que visa explorar o potencial da economia circular, diante das novas tecnologias digitais combinadas com ferramentas tradicionais de fabricação. O artigo apoia-se em um levantamento bibliográfico, que identificou uma lacuna teórica entre os espaços compartilhados e as questões ambientais, oferecendo abertura para a proposição do ECOSpace. Sugere-se a aplicação do ECOSpace em ambientes acadêmicos, estimulando o uso da economia circular local na formação de profissionais mais conscientes de um futuro alternativo desejável.

**Palavras-chave:** Design; Ambiente compartilhado; Criatividade; Sustentabilidade.

### **Abstract**

*Creativity and collective consciousness are values of society in the 21st Century. By means of these, solutions are sought for the current linear model of production and consumption, unsustainable due to excessive use of natural resources and waste disposal. Associated with this, new digital technologies have provided the creation of shared environments, such as, makerspaces and fab labs. With this context, the objective of the present study is to propose a shared space that aims to explore the potential of the circular economy in the face of new digital technologies combined with traditional manufacturing tools. The article is based on a bibliographical survey, which identified a theoretical gap between shared spaces and environmental issues, offering an openness to the ECOSpace proposition. We suggest the application of ECOSpace in academic environments, stimulating the use of the local circular economy in the formation of professionals more aware of a desirable future alternative.*

**Keywords:** Design; Shared environment; Creativity; Sustainability.

## 1. Introdução

A produção e o consumo comprometem mais recursos do que a Terra é capaz de repor, e produzem mais emissões do que a geosfera é capaz de absorver (VEZZOLI, 2010). Nesta perspectiva, de degradação ambiental e de mudanças sociais em que a sociedade Pós-Industrial, do Século XXI, está inserida, faz-se o seguinte questionamento: Como o design pode contribuir localmente para fomentar o desenvolvimento sustentável e estimular a criatividade para novas soluções?

As grandes guerras mundiais influenciaram o processo de desenvolvimento industrial da sociedade no Século XX, sobretudo, nas tecnologias e na descoberta de novos materiais, como exemplo, o compensado, os aglomerados, os laminados em madeira, os metais leves e os polímeros (DE MORAES, 1999). Entretanto, o modelo econômico baseado em “extrair, transformar e descartar” está atingindo seus limites, visto que, depende de grandes quantidades de materiais de baixo custo e fácil acesso (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Em substituição a este sistema de produção linear, a Fundação *Cradle to Cradle* (C2C) propõe a introdução do conceito da economia circular, associado ao processo de design, a fim de pensar soluções por dois ciclos, são eles: ciclo técnico (para o processo produtivo) e ciclo biológico (para o meio ambiente) (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2013).

De acordo com relatório da *Ellen MacArthur Foundation* – organização que estuda e estimula a adoção da economia circular, 65 bilhões de toneladas de matéria-prima foram inseridas no sistema produtivo mundial em 2010. Segundo a fundação, a economia circular é uma alternativa atraente e viável que as empresas já começaram a explorar.

Para Vezzoli (2010) foi na década de 1960 que começaram a ser levantadas questões sobre o impacto da produção e do consumo no equilíbrio da biosfera. Segundo o autor, os países industrializados perceberam uma forte aceleração no desenvolvimento dos sistemas de produção e consumo, e que não seria possível obter somente vantagens econômicas, desconsiderando os impactos ambientais e sociais. Os debates e estudos internacionais consideravam a exaustão dos recursos naturais como um efeito colateral do desenvolvimento industrial e tecnológico e do aumento da população mundial (VEZZOLI, 2010).

Adotar estratégias sobre estes fatores pode contribuir para minimizar o problema e produzir soluções inovadoras. É fundamental olhar para a realidade e trabalhar de maneira colaborativa (CAMILIUS, 2008). Neste sentido, De Masi (2015) corrobora quando afirma que é necessário reconhecer a natureza da realidade atual e saber lidar com as situações.

A intelectualização, criatividade e a importância estética são, segundo De Masi (2015), valores emergentes da sociedade Pós-Industrial (Século XXI) e completamente diversos da Era Industrial (Século XX) que valorizava a racionalidade, economia de escala, eficiência e hierarquia piramidal. Somando-se a isso, têm no Século XXI o processo de abertura e colaboração facilitado pelas tecnologias digitais de informação, fabricação e distribuição.

Estas, proporcionam novas formas de projetar, acessar, compartilhar e produzir, favorecendo o surgimento de configurações socioeconômicas inovadoras e potencializando o papel do designer no sistema de produção e consumo (COSTA e PELLEGRINI, 2017).

Com base no entendimento da importância em respeitar o meio ambiente e valorizar as ideias para novas soluções, pretende-se neste artigo propor um espaço colaborativo voltado

para estimular a economia circular local, dando novos significados aos materiais descartados.

Para o desenvolvimento do artigo foi realizado um levantamento bibliográfico, principalmente, em materiais revisados por pares, tais como; artigos em periódicos científicos, livros, teses, dissertações e resumos em congresso. As publicações utilizadas foram tanto encontradas por buscas com palavras-chave como por referências cruzadas entre os autores. O conteúdo investigado permitiu o confronto de ideias, contribuindo para a construção da avaliação e análise dos resultados.

Observou-se uma lacuna teorica sobre espaços voltados para o desenvolvimento e produção de ideias com ênfase na sustentabilidade. Nesse sentido, o presente estudo pretende suprir a lacuna identificada visando a economia circular e propondo o conceito do ECOspace.

## 2. Mudanças sociais e criativas

Foi na Inglaterra, em 2001, com o livro *The Creative Economy: How People Make Money from Ideas* (A economia criativa: como as pessoas podem ganhar dinheiro com ideias), que o britânico John Howkins empregou pela primeira vez o termo economia criativa e explicou suas origens (ENDEAVOR, 2012). Arquitetura, design, artes, moda, cinema, audiovisual, literatura e artes cênicas são os oito pilares de atuação, segundo o conceito original de John Howkins.

Este nicho da economia pode ser definido com uma forma para transformar a criatividade em resultado, e, de pensar as relações em comunidade, também, é uma outra maneira de olhar o empreendedorismo, que tem a economia colaborativa como seu ponto principal (ENDEAVOR, 2012).

Neste sentido, Conklin (2001) afirma que estamos saindo da Era da Ciência onde a unidade social básica era o indivíduo e, estamos em uma transição de uma época para outra. “Quando pensamos nas grandes realizações da ciência, pensamos em uma série de gênios individuais que moldaram nossa compreensão do mundo: Copernicus, Galileo, Newton, Pasteur, Watt, Salk, Edison e Einstein” (CONKLIN, 2001, p.8). Para o autor, essa é uma atividade solitária, em que são dedicadas horas em laboratórios [...] “combinando inteligência brilhante com diligência e rigor incansáveis” (CONKLIN, 2001, p.8).

De acordo com Conklin (2001) o trabalho da humanidade agora está passando da compreensão do nosso mundo para a conscientização sobre a sua criação. Entra-se na Era do Design em que o foco das atividades e da linguagem estão mudando para a criação. A descrição é característico da Era da ciência pois explica “o que é”. Já a Era do design fala sobre sobre a criação, ou seja, “o que pode ser”. O desafio para organizações de conhecimento é aprender e inovar.

Para Verganti (2012) propor algo requer um esforço coletivo de transformar oportunidades, ideias e problemas em algo diferenciado. Segundo o autor inovar pode ser desafiador, além de trazer inúmeros benefícios a quem se dispõe para tal. É das áreas da administração, marketing e pesquisa e desenvolvimento (P&D) que as discussões acerca da importância do papel do design para a inovação estão a surgir (VERGANTI, 2012).

Assim, a Inovação guiada pelo design (*design-driven innovation*) conceito proposto por Verganti (2012), refere-se à inovação radical de significado dos produtos e serviços. Este

termo, segundo o autor, caracteriza a maneira mais marcante para o design ser reconhecido como vetor da inovação.

### 3. Novos espaços produtivos

Ao contrário das limitações tecnológicas construtivas que marcaram a primeira fase do desenvolvimento industrial no século XIX, culto ao funcionalismo e racionalismo produtivo, nesta nova fase da evolução da indústria mundial prevalece a liberdade criativa e experimental em todos os níveis dos setores de produção (DE MORAES, 1999). Segundo o autor, a convalidação dessa nova Era da industrialização deu-se o nome de Pós-Industrial. Inteligência, conhecimento, criatividade, acesso a informação, são recursos disponíveis deste período que se caracteriza também pela produção descentralizada e os laboratórios científicos equipados com instrumentos que permitam a produção feito a máquina comandada (DE MORAES, 1999).

Partindo disso, a difusão das novas tecnologias de fabricação digital, como as impressoras 3D, as máquinas de corte a laser, torno e fresadoras de controle numérico computadorizado (CNC) entre outras, possibilitaram o surgimento de novos espaços produtivos (FRESSOLI E SMITH, 2015). Caracterizados pela acessibilidade, flexibilidade, baixo custo de aquisição, utilização e manutenção estes espaços estão proporcionando uma ampliação de aplicações.

Para Fressoli e Smith (2015) as tecnologias de fabricação digital permitem produzir quase qualquer coisa por esses meios. Os usos atuais incluem a produção de bens materiais como jóias, roupas, móveis, máquinas, alimentos, próteses entre outros. A fabricação digital pode gerar novas oportunidades para o desenvolvimento social e econômico da região, os projetos podem ser adaptados aos clientes e a produção sob demanda garante o baixo custo sem grandes estoques exigidos pela grandes cadeias de distribuição (FRESSOLI E SMITH, 2015).

Estes novos espaços produtivos são implantados em centros comunitários, escolas, Universidades, ambientes privados, entre outros, sendo utilizados por pessoas de variadas faixas etárias e com diferentes níveis de conhecimento (COSTA E PELEGRINI, 2017). A finalidade destas práticas também varia de acordo com o objetivo declarado do grupo que instaura o processo, mas também por meio das demandas dos usuários que surgem durante as práticas (COSTA E PELEGRINI, 2017).

O contexto social, político e econômico em que estes espaços estão inseridos pode variar, entretanto, existem práticas comuns compartilhadas nestas comunidades (COSTA E PELEGRINI, 2017). *Makerspaces*, *fab labs*, *hackerspaces* e laboratórios de fabricação digital, são vários os termos utilizados para descrever estes espaços que abrigam atividades coletivas em busca da construção e da difusão de formas alternativas de cultura material (COSTA E PELEGRINI, 2017).

Os *makerspace* são espaços compartilhados entre *makers* e interessados. Possui diversas ferramentas de prototipagem, fabricação digital, máquinas de costura, ferramentas de marcenaria entre outras. Entretanto, nem todos os *makerspace* têm os mesmos materiais devido ao alto custo delas. Costumam oferecer oficinas de diversos assuntos e alguns lugares cobram pelo uso de equipamentos, além de, possibilitam o desenvolvimento de projetos individuais ou colaborativos para que pessoas com diferentes habilidades e interesses comuns possam colaborar e aprender uns com os outros (COSTA E PELEGRINI, 2017; EYCHENNE e NEVES, 2013).

A seguir, a Figura 1 apresenta as características comuns entre os diferentes modelos de negócios compartilhados, assim como, o perfil dos usuários que procuram estas práticas para a produção.



**Figura 1 – Práticas compartilhadas nos novos espaços produtivos.**

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

*Fab Lab* é um *makerspace*, porém com algumas regras específicas. Todo *Fab lab* precisa ter no mínimo 5 tipos de máquinas: impressora 3D, cortadora a laser, cortadora de vinil, CNC e de precisão, de pequeno e grande porte. É necessário também ter um dia aberto ao público, para o uso das máquinas. A *Fab Foundation* é uma fundação mundial de fab labs que dita as regras da comunidade global de Fab labs (EYCHENNE e NEVES, 2013).

Iniciado por Neil Gershenfeld no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) no centro para Bits e Átomos (CBA), o *fab lab* é uma plataforma técnica de prototipagem para o aprendizado, invenção e inovação, que foi originalmente criada para desenvolver o empreendedorismo local, mas tem sido adotada também como plataforma de aprendizado baseado em projetos (EYCHENNE e NEVES, 2013). Os *fab labs* estão conectados a uma comunidade global de estudantes, educadores, técnicos, pesquisadores e *makers* pelo compartilhamento do conhecimento em rede (COSTA e PELEGRINI, 2017).

Diferenciam-se dos demais espaços *maker* por apresentar requisitos básicos, tais como: abertura do espaço para a comunidade em parte do tempo, participação ativa na rede de *fab labs* e compartilhamento de conhecimento, arquivos e documentação. Para Eychenne e Neves (2013) são três tipos de *fab labs*: hospedados, de base e livres. O primeiro são hospedados em escolas, universidades, centros de inovação, organização de desenvolvimento regional, alojado e ou apoiado pelas autoridades governamentais e associação culturais. O segundo são considerados de base, fundados por indivíduos e grupos independentes os quais buscam suas receitas por meio de subsídios, patrocinadores, taxas de adesão ou venda de serviço. E o terceiro tipo são os laboratórios livres ou abertos ao público apoiado pelas autoridades municipais ou regionais e associações de cultura e arte.

Já os *hackerspaces* são formados por pessoas envolvidas com eletrônica e programação e funcionam como laboratórios comunitários, seguindo a ética *hacker* (COSTA E PELEGRINI, 2017). Por fim, nos Laboratório de fabricação, a expressão é utilizada para designar de forma mais abrangente os espaços instalados em ambientes educacionais formais ou fortemente conectados a eles, geralmente atrelados a um departamento específico dentro das instituições que, visam a pesquisa, o desenvolvimento, o ensino e a produção de

modelos. Estes laboratórios se diferenciam dos *fab labs* por não possuírem vínculo com a *Fab Foundation* e não seguir as regras impostas de abertura para comunidade e participação ativa na rede, porém em algumas instituições de ensino superior (IES) os laboratórios são denominados *fab labs* por pertencerem à rede, como exemplo a *Fab lab* São Paulo da USP (COSTA E PELEGRINI, 2017).

Contudo, Smith e Light (2017) abrem uma discussão sobre a sustentabilidade nos espaços *makers*. Esses autores, em 2015 organizaram uma oficina para 80 pesquisadores e praticantes envolvidos em *makerspace* na europa. O encontro problematizou diversos tipos de sustentabilidade e observou que nem sempre os espaços são desenhados para fins ambientais. Segundo os autores, a oficina revelou a necessidade de estratégias contrárias às estruturas sociais vigentes como uma abordagem simplista de abertura e prescrições técnicas. Neste sentido, uma mudança atraente para os *makers* é a oferta de espaços que permitam experimentar "[...] com design e prototipagem, usando a combinação versátil de tecnologias de fabricação digital, eletrônica e as ferramentas mais convencionais em oferta" (SMITH E LIGHT, 2017, p. 172).

Por fim, os autores apontam exemplos de como os *makerspaces* podem contribuir para a evolução sustentável em diversas formas relacionadas ao estado da tecnologia e da organização social. *Upcycling* (reaproveitamento), uso de materiais em ciclos fechados, protótipo de projetos sustentáveis, conscientização de comunidades em fazer, reparar e reaproveitar, atividades voltadas para inovação social sobre a sustentabilidade local, são algumas das maneiras identificadas por Smith e Light (2017) para fomentar esta mudança.

### 3.1 Repensando o processo

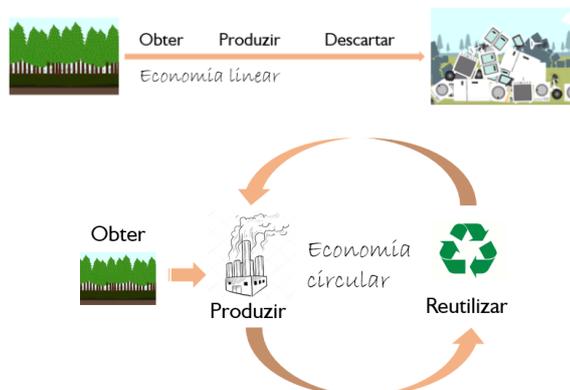
Durante os anos de 1980 a pressão da opinião pública intensificou-se e as instituições assumiram uma conduta pautada por uma série de normas políticas e ecológicas. O Programa Ambiental das Nações Unidas e outras instituições adotaram o lema da produção mais limpa, definida como o contínuo redesign dos processos industriais e dos produtos para evitar a poluição, a geração de resíduos e de riscos para a humanidade e para o meio ambiente (VEZZOLI, 2010).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017) a preocupação com os resíduos vem sendo discutida há algumas décadas nas esferas nacional e internacional, devido à expansão da consciência coletiva com relação ao meio ambiente. Se viabilizados corretamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos, diminuindo o consumo dos recursos naturais, proporcionando a abertura de novos mercados, gerando trabalho e renda, conduzindo a inclusão social e diminuindo os impactos ambientais provocados pela disposição inadequada dos resíduos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

Atualmente, nosso sistema produtivo funciona de forma linear, o que não é sustentável devido ao grande acúmulo de resíduos e exploração excessiva de recursos. A matéria-prima é explorada, processada para produção de bens e depois descartada. Acrescentando a isso, a obsolescência programada gera resíduos que não recebem novos usos e se acumulam exponencialmente (ECYCLE, 2017).

Cada brasileiro produz quase um quilo de lixo por dia, ou seja, 190 mil toneladas diárias (ECYCLE, 2017). Para *Ellen MacArthur Foundation* (2017) o modelo linear está atingindo seus limites. A fundação defende a economia circular como alternativa viável, visto que, é

um sistema regenerativo e restaurativo por princípio (Figura 2). Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo.



**Figura 2 – Conceito de economia linear e economia circular.**

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O conceito de economia circular distingue os ciclos técnicos dos biológicos. A economia circular consiste em um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza riscos sistêmicos, administrando estoques finitos e fluxos renováveis. Esta funciona de forma eficaz em qualquer escala (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

A economia circular segue uma utilização racional dos recursos. Com o uso em cascata dos materiais, os recursos permanecem o maior tempo possível na economia. Após um produto chegar ao fim de seu ciclo por um primeiro consumidor, este pode ser compartilhado e ter a sua utilização ampliada. Posteriormente ao esgotamento de reuso do artefato, esse pode ser material de *upcycling* (reaproveitamento), reformado, remanufaturado e, como última etapa, reciclado.

As alternativas de reciclagem atuais operam sobre bens de consumo que não foram projetados com este cuidado. A economia circular parte da proposta de desconstruir o conceito de resíduo com a evolução de projetos e sistemas que privilegiam materiais naturais que possam ser totalmente recuperados (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Para este sistema funcionar, não depende apenas das empresas, todos os envolvidos no ciclo de vida de um produto devem entender seu papel nesse novo modelo. O consumo deve ser desacelerado e consciente. Vive-se em um mundo com relações de produção e comércio globalizados, por isso há necessidade de disseminar o conceito de economia circular mundialmente (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Estudos recentes da *Ellen Macarthur Foundation*, como o “*The New Plastic Economy: Rethinking the future of plastics*”, de 2017, apresenta como os princípios da economia circular, associados aos fluxos globais de embalagens plásticas, poderiam transformar a economia dos plásticos e reduzir, drasticamente, externalidades negativas como o vazamento de plásticos nos oceanos. Devido à capacidade de variação formal, de acabamento e de cor, a matéria plástica tornou-se, durante o Século XX, um dos mais importantes elementos na confecção de produtos de uso diário. No entanto, este material permitiu a produção de muitos

objetos descartáveis, em detrimento da qualidade e da durabilidade, o que acarretou sérios riscos para o equilíbrio do ecossistema (DE MORAES, 1999).

Estudos recentes da *Ellen Macarthur Foundation*, como o “*The New Plastic Economy: Rethinking the future of plastics*”, de 2017, apresenta como os princípios da economia circular, associados aos fluxos globais de embalagens plásticas, poderiam transformar a economia dos plásticos e reduzir, drasticamente, externalidades negativas como o vazamento de plásticos nos oceanos. Devido à capacidade de variação formal, de acabamento e de cor, a matéria plástica tornou-se, durante o Século XX, um dos mais importantes elementos na confecção de produtos de uso diário. No entanto, este material permitiu a produção de muitos objetos descartáveis, em detrimento da qualidade e da durabilidade, o que acarretou sérios riscos para o equilíbrio do ecossistema (DE MORAES, 1999).

Diversos países sabem da importância destas questões contemporâneas e estão progressivamente implantando novos conceitos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei n. 12.305, Brasil (2010), visa garantir a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, operação reversa e o acordo setorial. Assim, todos os agentes do ciclo produtivo, os consumidores e os serviços públicos devem minimizar o volume de resíduos sólidos e adotar práticas que assegurem que os produtos sejam reintegrados ao ciclo produtivo.

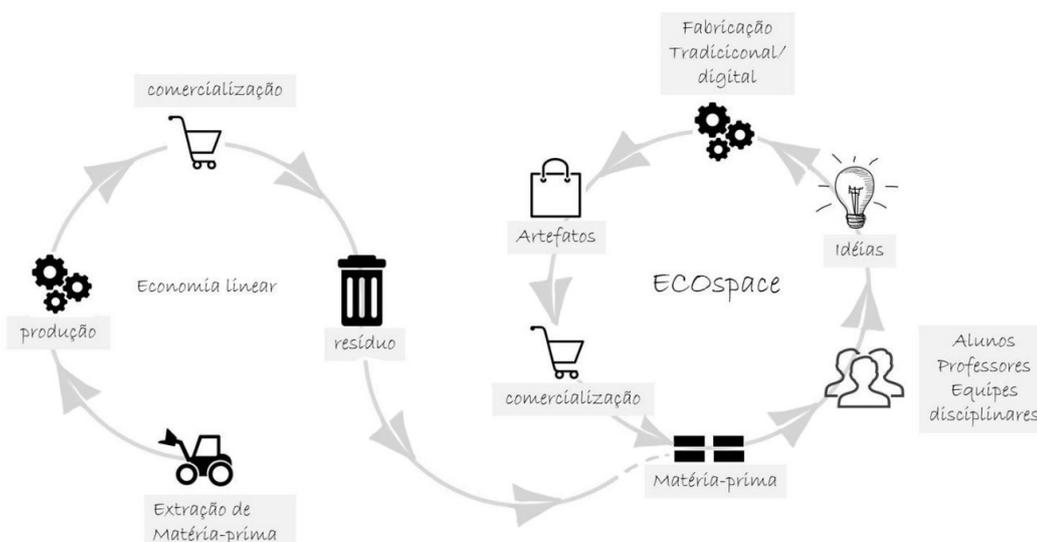
A logística reversa é um dos instrumentos para aplicação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. A PNRS (BRASIL, 2010 *apud* MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017) define a logística reversa como um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

#### **4. Estimulando a economia circular local.**

O Ecospace é uma proposta de espaço criativo e colaborativo que visa estimular a economia circular da região em que está inserido.

Partindo disso, resíduos sólidos descartados por empresas locais e parceiras ao Ecospace devem ser utilizados como única matéria-prima para o desenvolvimento de novos artefatos.

O processo de design, para criação e desenvolvimento de produtos, fomentará a criatividade por meio de metodologias e ferramentas adequadas para tal, produzindo assim, novos sentidos e aplicações aos resíduos que antes eram descartados. A fabricação destes artefatos, será apoiada pelo uso de diversas ferramentas de prototipagem, tais como, as ferramentas tradicionais de marcenaria e, principalmente, das novas tecnologias de fabricação digital, como exemplo: impressora 3D, cortadora a laser, cortadora de vinil, CNC, fresadora, torneadora e as de precisão de pequeno e grande porte (Figura 4).



**Figura 4 – Fluxograma do destino do resíduo sólido saindo do descarte e sendo utilizado como matéria-prima para o ECOspace.**

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Para uma aplicação inicial, a proposta visa um teste piloto em ambiente acadêmico dentro da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Disciplinas do curso de graduação em design poderão utilizar o ECOspace como apoio ao desenvolvimentos de projetos proporcionando aos estudantes exercitarem uma abordagem voltada para o conceito da economia circular.

Partindo disso, foram definidas algumas etapas para alcançar o objetivo, são elas: 1. Captação de fomento financeiro para a viabilidade de implementação do ECOspace. 2. Definição do espaço físico necessário para receber a estrutura. 3. Relocação de equipamento de outros espaços e ou aquisição de novos. 4. Inclusão do ECOspace nos planos de aula das disciplinas do curso de graduação em design. 5. Definição de monitoria e equipe de apoio para trabalhar no Ecospace. 6. Seleção de empresas locais para cadastro de parceiros, de acordo com critérios administrativos e legais da instituição. 7. Escolha de resíduos sólidos como matéria-prima para os projetos.

Pensando em diferentes contextos e necessidades que o ECOspace poderá estar inserido, a proposta aborda ainda três caminhos de atuação, conforme apresenta-se a seguir:

- a) **Consultoria e projeto:** objetiva orientar e desenvolver soluções voltadas à economia circular local. Neste formato, a equipe é composta por estudantes, designers e docentes com conhecimentos e habilidades em projetos e prototipagem de artefatos.
- b) **Pesquisa de materiais:** objetiva identificar resíduos sólidos de empresas locais e indicar suas possíveis aplicações em projetos, diante dos requisitos legais ambientais, conforme classifica a ABNT / NBR 10.004/2004 e define a PNRS (BRASIL, 2010).
- c) **Incubadora:** objetiva elaborar ideias com finalidade sociotécnicas, aproximando universidade, empresas e sociedade, oferecendo suporte para a realização de modelos de negócios, projetos de P&D bem como extensão universitária.

A definição destes três tipos de atuação do Ecospace permite que a proposta seja replicada em outras Instituições de Ensino Superior (IES) e, que os objetivos do mesmo, se adaptem as demandas locais, visto que existem variados polos produtivos com diferentes resíduos sólidos no país.

#### 4.1 Oportunidades

A criação de projetos e a fabricação de artefatos podem oferecer diferentes oportunidades para o desenvolvimentos social e econômico da região. A produção em pequena escala ou sob demanda permite um baixo custo de manutenção.

O ambiente do ECOspace tem como intenção o livre acesso da comunidade acadêmica em que está inserida. Desta maneira, a interdisciplinaridade presente entre os usuários também pode contribuir para um processo de conscientização ambiental dos indivíduos, por meio do conhecimento compartilhado e da inclusão social. Permite ainda, que os usuários se conectem com outras pessoas por meio do trabalho colaborativo. A combinação versátil de tecnologias de fabricação digital e ferramentas tradicionais de produção são adequadas para explorar novas práticas de recuperação de resíduos, transformando materias que seriam descartados em produtos úteis.

Alguns **princípios gerais** foram definidos para a proposta do **ECOspace**, são eles:

- Estimular a economia circular, oferecendo um centro criativo para a revalorização de materiais em ciclos fechados;
- Resíduos sólidos descartados são matérias-primas para o ECOspace;
- Contribuir para a cadeia de logística reversa local;
- Desenvolver protótipos de projetos sustentáveis;
- Comercializar artefatos, diante da adoção de uma empresa padrinho, considerando atendimento aos requisitos legais de propriedade intelectual e transferência de tecnologia das organizações (IES e empresas);
- Os artefatos desenvolvidos não podem concorrer com a empresa fornecedora do resíduo;
- Gerar inclusão social;
- Gerar novas oportunidades de negócio;
- Respeitar o tripé da sustentabilidade (econômico, social e ambiental);
- Fomentar a criatividade, agregando valor pelo design;
- Aplicar modelos de gestão compartilhados;
- Criar consciência ambiental e de soluções sociotécnicas;
- Explorar oportunidades para futuros alternativos;
- Construir uma comunidade interessada em fazer, reparar e reaproveitar (*Upcycling*);
- Organizar oficinas para a inovação social e sustentabilidade local;
- Executar atividades de divulgação que conectem outros grupos de desenvolvimento sustentável;
- Mobilizar novos pensamentos e ações sobre sustentabilidade tecnologias e pessoas.

Enfim, com a proposição do ECOspace, novos pensamentos pós-industriais podem ser estimulados, contribuindo para a formação de profissionais mais capacitados para lidarem com a mudanças contemporâneas complexas, relacionadas à Era do Design e à economia criativa.

## 5. Conclusão

O pensamento sistêmico é um componente do paradigma emergente da Era Pós-Industrial em busca da redução do impacto ambiental no planeta. Nesse sentido, olhar para os indivíduos e o contexto de suas relações, é uma abordagem que deve ser considerada. Evoluir de um modelo de pensamento linear para sistêmico é fundamental para inovarmos rumo a padrões de produção e consumo regenerativos.

A economia circular é um conceito baseado na inteligência da natureza, ou seja, em seu conceito de ecossistema, de interações contínuas e autossuficientes. São processos cíclicos de nascimento, crescimento, morte, degradação e nutrição. Nesta perspectiva, a abordagem circular deve ser incluída na economia da sociedade, onde os resíduos sólidos podem ser insumos para produção de novos produtos, de modo contínuo.

Neste processo, o design posiciona-se como o guia para estimular a criatividade e a inovação. Além disso, a questão emergente (e urgente) da sustentabilidade pode encontrar na inovação, novos significados aos materiais, um caminho viável para a implementação da mudança, por meio da transformação social.

A proposta do espaço apresentada neste estudo, tem a intenção de projetar possibilidades fundadas nos valores econômicos (gerando riqueza), sociais (gerando inclusão) e ambientais (diminuindo os impactos negativos sobre a natureza).

As práticas propostas para serem compartilhadas no espaço vão além da aprendizagem material, com o manuseio de ferramentas e fabricação de novos artefatos. A inclusão social e a colaboração entre os usuários são relações intagíveis que provocam o conhecimento e o desenvolvimento de habilidades e competências mais integradas com as reais necessidades do mercado.

Concluindo, o ECOspace é uma proposição para conscientizar a sociedade, transformando problemas ambientais em soluções sustentáveis para a comunidade e o meio ambiente, gerando riqueza, trabalho e renda, além de inclusão social.

O ECOspace promove-se como uma alternativa de resposta aos desafios ambientais, culturais, econômicos, sociais e tecnológicos que a sociedade contemporânea enfrenta, com o projeto de um futuro alternativo e mais desejável.

## Referências

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH W. Cradle to Cradle: Criar e reciclar ilimitadamente. 1ª ed., Editora G. Gili, São Paulo, 2013.

BRASIL. [Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010]. Política nacional de resíduos sólidos [recurso eletrônico]. – 2. ed. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, Série legislação, n. 81, 2012.

COSTA, C. M. O. N. G.; PELEGRINI, A. V.. O Design dos Makerspaces e dos Fablabs no Brasil: um mapeamento preliminar. Revista Design & Tecnologia. PGDESIGN. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, n. 13, 2017.

CONKLIN, J. Age of Design. Cognexus Institute. 2001. Disponível em: <<http://www.cognexus.org/ageofdesign.pdf>>. Acesso em: 14 de novembro, 2017.

C2C PLATFORM. Cradle to Cradle. Disponível em: <<http://www.c2cplatform.tw/en/c2c.php?Key=1>>. Acesso em: set. 2017.

DE MASI, D. A opinião de Domenico de Masi sobre modelo brasileiro da sociedade pósindustrial. Roal filmes. Rima, 2009. disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=l8cx43axjqg>>. Acesso Em: 14 de novembro, 2017.

DE MORAES, D. Limites do design. São Paulo : Studio Nobel, 1999.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Economia circular. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito>>. Acesso em 15 de dezembro, 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The New Plastics Economy. Relatório 2017. Disponível em: < <https://newplasticseconomy.org/> . Acesso em março de 2018.

ENDEAVOR. Empreendedorismo. Você já ouviu falar em economica colaborativa?. Publicado em 28, Novembro de 2012. Disponível em: < <https://endeavor.org.br/voce-ja-ouviu-falar-emeconomia-criativa/>>. Acesso em: 28 de novembro, 2017.

EYCHENNE, F. e NEVES, H.. Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2013.

ECYCLE. Sua pegada mais leve. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br>>. Acesso em 01 de dezembro, 2017.

FRESSOLI, M.; SMITH, A. Fabricación Digital. ¿Una Nueva Revolución Tecnológica? Integración & Comércio, #39, 2015. Disponível em : <[https://www.researchgate.net/publication/282870488\\_FABRICACION\\_DIGITAL\\_UNA\\_NUEVA\\_REVOLUCION\\_TECNOLOGICA](https://www.researchgate.net/publication/282870488_FABRICACION_DIGITAL_UNA_NUEVA_REVOLUCION_TECNOLOGICA)>. Acessado em 07 de novembro, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resíduos sólidos. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br>>. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017) Acessado em 28 de novembro, 2017.

SMITH, A. LIGHT, A. Cultivating sustainable developments with makerspaces. Cultivando desenvolvimento sustentável com espaços maker. Liinc em Revista, Rio de Janeiro, v.13, n.1, p. 162-174, mai, 2017. Disponível em: <http://www.ibict.br/liinc>. <http://dx.doi.org/10.18617/liinc.v13i1.3900>.

VEZZOLI, Carlo. Design de sistemas para a sustentabilidade. 1ª Ed. Salvador: EDUFBA, 2010.

VERGANTI, Roberto. Design-driven innovation: mudando as regras da competição: a inovação radical do significado de produtos. São Paulo: Canal Certo, 2012.

## **Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos: Proposição de um Modelo de Gerenciamento para Empresa com Operação Portuária**

### ***Environmental Management of Solid Waste: Proposal of a Management Model for a Company with Port Operation***

**Juvanilde Sousa de E. S. Cordeiro, Tecnóloga em Saneamento Ambiental, Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Belém.**

E-mail: juvanildy@gmail.com

**Naiana Silva de Lima, Engenheira Ambiental, Universidade Federal do Pará - UFPA.**

E-mail: engnaiana@hotmail.com

#### **Resumo**

O crescimento econômico e a expansão do comércio colocam os portos em uma função estratégica no transporte de passageiros e mercadorias. A diversificação e o crescimento de atividades envolvidas no sistema portuário determinam o aumento da geração de resíduos nestes ambientes. As possibilidades de estes resíduos apresentarem riscos à saúde pública e ao equilíbrio do ecossistema local justificam a necessidade de um manejo diferenciado. Todas essas particularidades fazem do gerenciamento dos resíduos em empresas portuárias um assunto de interesse público. Este trabalho tem por objetivo apresentar um diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos em um empreendimento portuários considerando a atual legislação ambiental adotada nas etapas do gerenciamento. Como metodologia o trabalho teve duas etapas: primeira à pesquisa bibliográfica e segunda visita in loco no empreendimento. Como resultados são apresentados às atividades envolvidas na geração de resíduos sólidos, os tipos de resíduos gerados e os procedimentos adotados no manejo destes resíduos.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos; Gerenciamento; Qualidade ambiental.

#### **Abstract**

*Economic growth and trade expansion place ports in a strategic role in passenger and freight transport. The diversification and growth of activities involved in the port system determine the increase of waste generation in these environments. The possibilities of these residues present risks to the public health and balance of the local ecosystem justify the need for a different management. All these particularities make the management of waste in port companies a matter of public interest. This paper aims to present a diagnosis of solid waste management in a port development considering the current environmental legislation adopted in the management stages. As a methodology the work had two stages: first the bibliographical research and the second visit in loco in the enterprise. As results are presented to the activities involved in solid waste generation, the types of waste generated and the procedures adopted in the management of this waste.*

**Keywords:** Solid wastes; Business Management; Environmental Quality.

## 1. Introdução

Resíduos Sólidos são gerados por praticamente todas as atividades humanas na sociedade, originados tanto em residências, escolas, comércio, escritórios, como nas indústrias e na prestação de serviços, etc. Compõem-se basicamente de restos de alimentos, papéis, papelões, plásticos, tecidos, couros, madeira, vidro, metais (latas e sucatas em geral), entre outros.

De acordo com LIMA (2006), o lixo pode ser classificado quanto à sua natureza, da seguinte forma: sólido, líquido, gasoso e pastoso.

Considerando-se o critério origem e produção de LIMA (2006) o lixo se divide como: residencial, comercial, industrial, hospitalar, especial e outros.

- **Lixo Residencial:** Conhecido também como lixo domiciliar ou doméstico; são constituídos geralmente por restos de alimentos, embalagens, papéis, papelões, plásticos, vidros, etc.
- **Lixo Comercial:** Gerado por estabelecimentos comerciais como lojas, lanchonetes, restaurantes, escritórios, hotéis, bancos, etc.; é composto principalmente por papéis, papelões, plásticos, restos de alimentos, madeira, resíduos de lavagens, sabões, etc.
- **Lixo Industrial:** É caracterizado como todo e qualquer resíduo resultante das atividades industriais, incluindo-se neste grupo o lixo proveniente das construções civis e portos. No geral, este grupo de resíduos é responsável, quando disposto de maneira inadequada, por grande parte da contaminação do solo, ar, águas superficiais e subterrâneas.

O presente Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS é baseado na Legislação vigente (LEI N° 12.305/2010), que estabelece os princípios básicos da minimização da geração de resíduos, identificando e descrevendo as ações relativas ao seu manejo adequado, levando em consideração os aspectos referentes a todas as etapas, compreendidas pela geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte interno, tratamento externo e disposição final devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.

Portanto o objetivo deste trabalho é descrever os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados de resíduo que são gerados em empresas no ramo Portuários.

## 2. Metodologia

A pesquisa teve duas etapas, no qual: a primeira foi em pesquisa bibliográfica acerca do plano de gerenciamento sobre resíduos sólidos de LEI N° 12.305/2010 e a segunda etapa em visita *in loco* para que fosse feito levantamentos de dados nas dependências do empreendimento e foram consideradas todas as atividades realizadas dentro da empresa.

## 2.1. Local da pesquisa

O trabalho foi desenvolvido em uma Empresa Brasileira de Navegação (EBN) armadora, operadora de empurradores e balsas, com 22 anos de atuação na Região Norte do Brasil, especializada no transporte roll-on/roll-off, operando linhas fluviais regulares nas rotas Belém/Macapá/Belém e Belém/Santarém/Belém com frota própria de empurradores e balsas de 2.800 toneladas, operando também rotas distintas (comboios dedicados) em base “spot” de/para qualquer localidade na região Amazônica, com carga geral e granéis sólidos e etc.

A empresa tem como infraestrutura áreas bem distinta, é definidas e completamente integradas, a saber.

- Portaria;
- Estacionamento;
- Setor de logística;
- Casa do carreteiro;
- Banheiros com vestiários;
- Setor Administrativo;
- Restaurante;
- Posto de abastecimento;
- Rampa de embarcações;

## 3. Resultados e Discursões

Para a elaboração do PGRS numa empresa é fundamental todas as informações referentes ao manejo atual que a empresa dispõe sobre os seus resíduos sólidos gerados, no qual essas informações levantadas buscam conhecer e compreender a atual dinâmica de gerenciamento da empresa sobre cada uma das etapas representadas da figura 1.



**Figura 1: Fluxograma das etapas do Gerenciamento. Fonte: Elaborado pelos Autores**

### 3.1. Fontes Geradoras de Resíduos

A visita *in loco* fez o levantamento dos pontos e tipos de resíduos que são gerados diariamente por setor na empresa, assim descritos na tabela 1.

**Tabela 1: Geração de Resíduos Sólidos**

PONTOS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS	CLASSE	TIPOS DE RESÍDUOS
Portaria	II-A	<i>Papel</i>
		<i>Copos plásticos</i>
		<i>Sacos plásticos</i>
Setor de Logística	II-A	<i>Papel</i>
		<i>Copos plásticos</i>
		<i>Sacos plásticos</i>
Casa do carreteiro	II-A	<i>Restos alimentares</i>
		<i>Toalhas de papel</i>
		<i>Copos plásticos</i>
		<i>Cigarro</i>
		<i>Latinha</i>
Setor administrativo	II-A	<i>Papel</i>
		<i>Copos plásticos</i>
		<i>Sacos plásticos</i>
Refeitório	II-A	<i>Restos alimentares</i>
		<i>Resíduos de papel</i>
		<i>Copos plásticos</i>
Banheiros	II-A	<i>Papéis higiênicos</i>
		<i>Absorventes</i>
		<i>Toalhas de papel</i>
Posto de Abastecimento (PA)	I	<i>Resíduos oleosos</i> <i>Garração 5L e 20L</i>
Rampa de Embarcação	II-A e II-B	<i>Madeira</i>
		<i>Plástico</i>

Os resíduos encontrados em áreas portuárias são sucatas, entulhos, madeiras, material orgânico, material plástico, acúmulo dos resíduos das cargas, além dos contaminados como o óleo, resultado das operações de manutenção das embarcações.

Esses resíduos oleosos são gerados principalmente no posto de abastecimento, uma vez que resulta da troca de óleo e no abastecimento das embarcações e dos veículos (vê figura 2).



**Figura 2: Posto de abastecimento. Fonte: Elaborado pelos Autores.**

É importante que seja construída uma caixa separadora no posto de abastecimento para que seja feita a separação da água do óleo a caixa deve possuir base e lateral toda de cimento, assim, impermeável para proteção contra vazamentos dos líquidos, líquido esse proveniente do abastecimento de veículos, da troca de óleo e/ou quando há área de lavagem que devem ser direcionados pelas canaletas principalmente em dias de chuvas até a caixa de separação, assim permanece o resíduo oleoso até que seja feito esse processo de separação.

A estimativa de volumes gerados de resíduos de classe I (perigosos) e Classe II-A, no empreendimento, estão quantificados na tabela 2 abaixo:

**Tabela 2: Volume dos resíduos gerados Classe I e Classe II A**

TIPO DE RESÍDUO	QUANTIDADE
Óleo	1.650 l
Entulho/Sucata	500 kg
Plástico duro	230 kg
Plástico f. baladeira	217 kg
Papelão	1.461 kg
Plástico	71 kg
Lona preta	414,5 kg

Quanto a Coleta Seletiva, a empresa faz a coleta dos resíduos gerados em toda sua extensão, utilizando a mesma em 02 (dois) dos principais pontos da empresa, como na Portaria/Entrada e Administração que fica na Ala central do empreendimento. (Como mostra figura 3A e B)



**Figura 3: Pontos de coleta seletiva. Fonte: Elaborado pelos Autores.**

A empresa tem essa responsabilidade pela coleta, acondicionamento prévio dos resíduos gerados e pela disposição dos recipientes em pontos estratégicos até que seja remanejado por funcionários responsáveis em fazer a coleta interna.

### **3.2. Coleta**

Os resíduos sólidos do empreendimento os quais são provenientes dos setores administrativos, logística, restaurante, posto de abastecimento de combustível, os mesmos são coletados manualmente nos pontos de geração.

Estes são recolhimento por um funcionário de serviço geral, ou do setor operacional com EPI's apropriados.

### **3.3. Armazenamento temporário**

Após a coleta interna dos resíduos, são armazenados temporariamente até que seja retirada por empresa terceirizada contratada a dá a destinação final. Onde:

#### **a) Classe I**

Os resíduos perigosos são acondicionados em recipientes de plástico do tipo Polietileno de Alta Densidade o PEAD (como mostra figura 5).



**Figura 4: Armazenamento dos resíduos perigosos. Fonte: Elaborado pelos Autores.**

## b) Classe II-A

Estes resíduos proveniente da cozinha e banheiros nos quais não são passíveis de reaproveitamento nem da reciclagem são acondicionados em sacos plásticos dentro de tambores como mostra figura 5, ate que seja retirado pela coleta publica.



**Figura 5: Armazenamento dos resíduos comuns. Fonte: Elaborado pelos Autores**

Já os resíduos recicláveis são armazenados temporariamente na área externa dos setores. Este espaço é coberto e impermeabilizado, como mostra figura 6 A B e C.



**Figura 6: Armazenamento temporário dos resíduos recicláveis. Fonte: Elaborado pelos Autores.**

### 3.4. Transporte

Os resíduos são recolhidos semanalmente ou conforme demanda de cada tipo gerado onde;

Os resíduos orgânicos constituídos de restos e sobras de alimentos, bem como os utensílios e lancheiras são transportados pela coleta publica da cidade a cada 3X semanalmente.

Os plásticos, papel e papelão são transportados a cargo de uma empresa terceirizada que faz a retirada desses resíduos e promover o beneficiamento de reciclagem, essa retirada é feita conforme demanda.

Os resíduos constituídos por óleo usado, passíveis de serem recuperados, como lubrificante ou hidráulico, são de responsabilidade de uma empresa terceirizada responsável pela coleta de resíduos perigosos, a empresa é licenciada pelos órgãos de controle ambiental. A empresa retira o resíduo oleoso a cada uma vez ao mês ou

conforme demanda.

Os resíduos provenientes da limpeza das fossas sépticas e águas de efluentes deverão ser retirados por meio de caminhões do tipo “vácuo” e encaminhados diretamente para a Estação de Tratamento de Efluentes, no qual esse procedimento é realizado por uma empresa terceirizada conforme demanda da empresa.

Assim os resíduos são armazenados temporariamente até alcançar uma quantidade que seja economicamente viável a sua destinação final, o qual é encaminhado a empresas terceirizadas em veículos apropriados e com licenças exigidas pelos órgãos ambientais competentes.

### **3.5. Destinação Final**

As empresas terceirizadas que são contratadas ficam a cargo de dar a destinação correta de acordo com as normas cabíveis, como segue:

- Os resíduos perigosos só devem ser destinados para os sistemas licenciados pelos órgãos de controle ambiental para aquela tipologia de material.
- Nenhum resíduo perigoso poderá ser encaminhado para aterros sanitários de resíduos urbanos.
- Todas as alternativas de recuperação e reciclagem devem ser consideradas.
- A empresa que foi desenvolvida a pesquisa garante, mediante o manifesto, que os resíduos sob a sua responsabilidade estão sendo encaminhada para os receptores previamente definidos e através dos certificados de coleta a empresa comprova a destinação correta gerada nas dependências da empresa.

## **4. Conclusão**

Um dos objetivos do PGRS é minimizar a geração de resíduos, e esta ação está fundamentada na adoção de técnicas que possibilitem a redução do volume ou toxicidade apresentada pelos resíduos, nos procedimentos que viabilizem sua recuperação ou reciclagem, como também, na utilização de alternativas que não levem em conta as técnicas de disposição no solo, principalmente daqueles resíduos considerados perigosos.

Portanto a importância que há que cada empresa busque adequar suas atividades numa gestão de plano de gerenciamento. Assim a empresa em questão mostrou seu compromisso com o meio ambiente e atua sempre garantido a segurança e obediência às políticas ambientais.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. 2004.

BRASIL, Lei 12.305, de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[Http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20072010/.../lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/.../lei/112305.htm)>. Acesso em: 10 ago. 2018.

LIMA, N.S., Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Aeroporto Internacional de Belém – V Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Curitiba – PR, 2006.

## **Estudo de viabilidade de usina solar fotovoltaica em posto de combustível na cidade de Ipumirim**

### *Feasibility study of solar photovoltaic plant at a fuel station in the city of Ipumirim*

**Eduarda Biffi, Graduada em Engenharia Civil pela UnC**

eduarda.biffi@hotmail.com

**Mari Aurora Favero Reis, Doutorada em Ensino de Ciências e Matemática**

mariaaurorafavero@gmail.com

#### **Resumo**

Crescente uso de energia elétrica e escassez dos recursos contribuíram ao aumento nas faturas de eletricidade. O aumento no custo final de energia elétrica impulsionou o uso de fontes renováveis. No Brasil a tecnologia fotovoltaica se destaca devido aos índices elevados de radiação. Com objetivo de realizar estudo de viabilidade técnica e econômica para a instalação de painéis solares fotovoltaicos para posto de combustível em Ipumirim SC. Para efeito de cálculo, foram considerados valores orçamentários, obtidos junto aos fornecedores, associados ao consumo de eletricidade na edificação e condições físicas das instalações, como possível posição e disposição dos painéis na cobertura. Os valores de investimentos iniciais apresentados por fornecedores da tecnologia equacionaram resultados semelhantes para retorno financeiro após seis anos de instalação. O projeto proporcionou concluir que empreendimentos com consumos elevados de energia elétrica e grandes áreas de cobertura, são considerados viáveis para uso dessa tecnologia.

**Palavras-chave:** Energia solar; Tecnologia fotovoltaica; Estudo de Viabilidade.

#### **Abstract**

*Increased use of electricity and scarce resources contributed to the increase in electricity bills. The increase in the final cost of electric power boosted the use of renewable sources. In Brazil photovoltaic technology stands out due to the high radiation rates. With the objective of carrying out a technical and economic feasibility study for the installation of photovoltaic solar panels for the fuel station in Ipumirim SC. For calculation purposes, budget values obtained from suppliers, associated with the consumption of electricity in the building and the physical conditions of the facilities, were considered as possible position and layout of the panels in the cover. The initial investment amounts presented by technology vendors equated similar results for financial return after six years of installation. The project concluded that projects with high consumption of electric energy and large areas of coverage are considered viable for use of this technology.*

**Keywords:** Solar energy; Photovoltaic technology; Viability study.

## 1. Introdução

O aumento acelerado na demanda de energia elétrica em todo mundo e a necessidade de diminuir a produção de energia de origem nos combustíveis fósseis, têm levado à busca de novas fontes de geração de eletricidade de forma limpa e sustentável. Por conta disso, a ONUBR (2015), nos objetivos de desenvolvimento sustentável, propõem para “até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global” (ODS 7).

Considerando que o consumo da energia elétrica tem uma demanda crescente, ocasionada tanto pela expansão de empresas quanto devido ao aumento no uso residencial (REIS JUNIOR et al., 2017), que busca conforto e melhoria na qualidade de vida. Nesse contexto refletir sobre fontes de produção de energia elétrica renováveis tornou-se uma prioridade na sustentabilidade e nas engenharias. O crescimento econômico e populacional impõe uma demanda crescente no consumo de energia, proporcionado melhor qualidade de vida e acesso à infraestrutura nas edificações, tanto nas moradias como transporte e saneamento (PEREIRA et al., 2017).

Atualmente, segundo dados da ANEEL (2012), a principal fonte de energia elétrica brasileira provém das usinas hidrelétricas é de aproximadamente 60%, como também tem demonstrado as pesquisas realizadas a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016). A energia de origem hidrelétrica também é considerada fonte de energia renovável, mas sua implantação causa impactos no meio ambiente pelo fato de necessitar de alagamento de grandes áreas produtivas.

Nesse cenário, expansão na demanda de energia elétrica e preocupações com o meio ambiente, a energia que mais tem conquistado espaço dentro da matriz energética é a energia fotovoltaica, como excelente opção para a diversificação e aumento de oferta de energia elétrica. A tecnologia fotovoltaica, responsável por transformar diretamente a energia solar em energia elétrica, é hoje uma fonte promissora e representativa na matriz energética global (AMPESE; REIS; SERRANO, 2018). O princípio de funcionamento da tecnologia fundamenta-se no efeito fotovoltaico, conhecido como fotocondutividade, por intermédio da transformação da energia luminosa em eletricidade em semicondutores de silício

Dentro das fontes de energia limpa, a energia solar fotovoltaica destaca-se por ser autônoma, oferecendo grande confiabilidade e redução de custos de consumo a longo prazo (DUTRA et al., 2013). A resolução normativa nº 482 (ANEEL, 2012) possibilita ao consumidor gerar energia elétrica a partir da energia solar incidente na edificação. A resolução apresenta as condições gerais para a microgeração e minigeração integrada nos sistemas de distribuição de energia elétrica, com sistema de compensação de energia com a rede de abastecimento local. No sistema fotovoltaico *on grid* um gerador de eletricidade tem a produção ligada à rede de distribuição energia elétrica, proporcionando que a energia gerada excedente seja injetado à rede pública (PAINES; VIGNOCHI; POSSAMAI, 2018).

Para o uso da tecnologia fotovoltaica existe a necessidade de avaliação, quanto a viabilidade na instalação do sistema. Especialmente na Engenharia Civil e na Arquitetura, características na estrutura física da edificação passa a ser um critério importante para o uso da tecnologia. Neste intuito, o objetivo deste estudo é analisar a viabilidade técnica e econômica para implantação de uma usina de geração de energia elétrica solar fotovoltaica em um posto de combustível localizado na cidade de Ipumirim, Santa Catarina.

Especialmente para esse projeto, o elevado consumo de energia na edificação justifica o uso da tecnologia fotovoltaica, uma vez que torna o consumidor um investidor potencial para a implantação do sistema. Considerando que a projeção dos custos nas tarifas da concessionária tende a um aumento gradativo, buscou-se desenvolver o estudo a fim de avaliar a possibilidade na instalação de uma usina fotovoltaica, com foco na sustentabilidade do empreendimento (posto de combustível).

A exploração de energia solar fotovoltaica, neste tipo de edificação, poderá contribuir como a energia para o ramo automotivo, uma vez que incentivos à produção de carros movidos por energia elétrica já são realidades e o uso de motores elétricos no sistema automotivo está diretamente associado ao consumo de eletricidade. A efetivação desse cenário requer expansão nos métodos de produção de energia, sendo que a energia solar fotovoltaica promissora ao suprir a demanda.

Tendo como foco na sustentabilidade do empreendimento, a pesquisa buscou responder: Qual a viabilidade técnica e econômica na instalação de usina solar fotovoltaica em posto de combustível na cidade de Ipumirim/SC?

## **2. Material e métodos**

Os dados qualitativos e quantitativos coletados junto ao cliente e fornecedores da tecnologia possibilitaram a construção deste trabalho. A metodologia utilizada foi estudo de caso e os procedimentos metodológicos para realização da pesquisa foram:

2.1 Pesquisa documental e levantamento de dados junto a fornecedores, com a finalidade de analisar o uso da tecnologia fotovoltaica em edificações, bem como informações orçamentárias para a futura instalação junto a fornecedores da tecnologia;

2.2 Junto ao cliente foi realizada a avaliação da edificação, quanto às condições meteorológicas (como a incidência solar e latitude), a fim de avaliar o ângulo de inclinação dos painéis;

2.3 No cliente (empreendedor) também foram levantados dados de custos e consumo de energia elétrica do estabelecimento (posto);

2.4 Com os dados nos itens anteriores, foi realizado o dimensionamento do sistema com propósito de atender a demanda do cliente;

2.5 Com uso da ferramenta de cálculo Microsoft Excel, onde foi construída uma planilha eletrônica pré-programada, foi realizado o estudo de viabilidade econômica para o projeto, sendo que estes serão confrontados com os dados coletados na pesquisa.

## **3. Resultados e discussões**

### **3.1 Perfil do empreendimento**

O empreendimento em estudo é um posto de combustível localizado em Ipumirim, no interior do estado de Santa Catarina. Em termos de localização geográfica, o

empreendimento apresenta as seguintes coordenadas: 27°04'56"S 52°07'59"W. O Portal Auto Posto foi fundado em 1999 e desde então vem expandindo seus serviços conforme suas necessidades e crescimento da cidade. O município situado no Meio Oeste, a 525 km da capital, tem uma média de insolação de aproximadamente 5 horas por dia, conforme dados do atlas *solarimétrico* (PEREIRA et al., 2017).

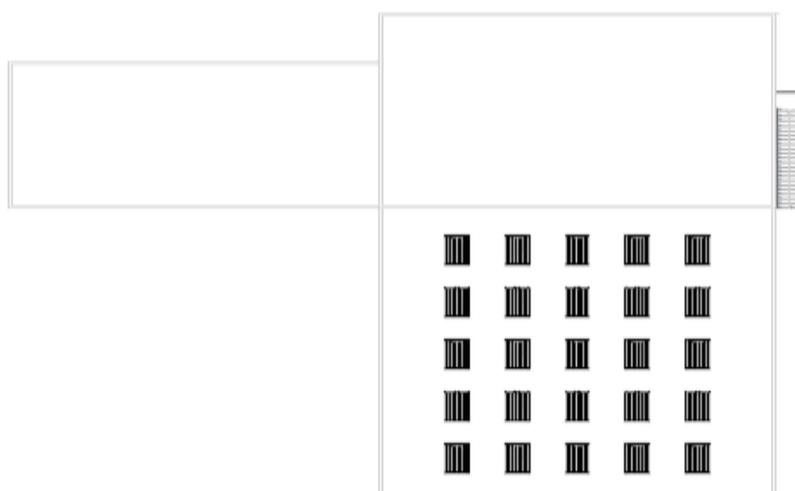


Figura 1 – Localização geográfica do posto. Fonte: Google Maps. Adaptado pelos autores.

### 3.2 Análise dos aspectos técnicos para a instalação da tecnologia

A localização do posto demonstra ser favorável para as instalações dos módulos fotovoltaicos. A justificativa dá-se devido aos fatores: não existem edificações próximas que possam proporcionar perdas na incidência solar; possui uma área ampla de cobertura com aproximadamente de 736 m<sup>2</sup> em estrutura plana; possibilita a instalação dos módulos conforme o ângulo desejado para obter-se melhor aproveitamento na incidência solar. A partir dessa análise, verificou-se em qual direção encontrava-se o norte verdadeiro, também chamado de norte geográfico. Essa atividade foi realizada com o auxílio da ferramenta de aplicativo móvel (*Sky Map*) para a melhor localização da instalação dos painéis fotovoltaicos na cobertura, como mostra a figura 2.

O dimensionamento desse sistema fotovoltaico deve levar em consideração as facilidades de instalação e manutenção, onde devem ser previstas áreas livres para circulação entre os módulos e, conseqüentemente, prevenir que os mesmos não projetem sombra nos módulos das fileiras adjacentes. A figura 2 mostra a cobertura do posto de combustível com a localização dos módulos fotovoltaicos na devida inclinação e espaçamento entre os painéis.



**Figura 2 – Planta baixa da cobertura do posto com a localização dos módulos fotovoltaicos. Fonte: elaborado pelos autores.**

### 3.3 Análise do consumo de energia elétrica na edificação

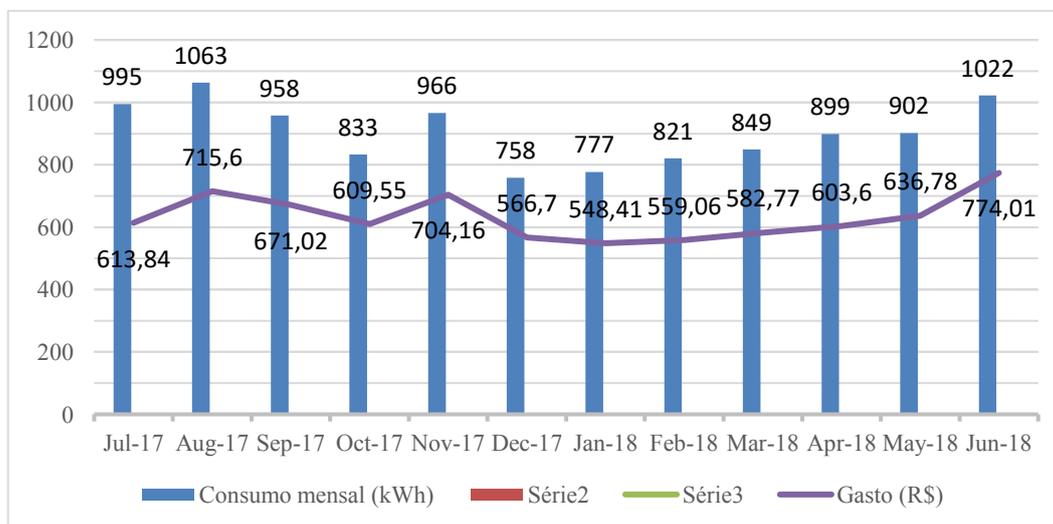
Conforme mencionado, o objeto de estudo se trata de um posto de combustível que, além da função de abastecimento de veículos automotivos, também destina sua edificação à estadia de caminhoneiros. Na edificação, a energia elétrica fornecida pela concessionária CELESC é consumida pelo empreendimento para alimentar o funcionamento das bombas de combustível, iluminação, chuveiros elétricos e outros serviços ofertados no estabelecimento. A fim de projetar a implantação da tecnologia, foi necessário identificar dados do consumidor apresentados nas faturas mensais de energia elétrica, a fim de obter-se o consumo anual e o valor total gasto pela edificação no período de um ano (Tabela 1).

Mês	Consumo mensal (kWh)	Gasto (R\$)	Tarifa (R\$)
jul/17	995	R\$ 613,84	R\$ 0,62
ago/17	1063	R\$ 715,60	R\$ 0,67
set/17	958	R\$ 671,02	R\$ 0,70
out/17	833	R\$ 609,55	R\$ 0,73
nov/17	966	R\$ 704,16	R\$ 0,73
dez/17	758	R\$ 566,70	R\$ 0,75
jan/18	777	R\$ 548,41	R\$ 0,71
fev/18	821	R\$ 559,06	R\$ 0,68
mar/18	849	R\$ 582,77	R\$ 0,69
abr/18	899	R\$ 603,60	R\$ 0,67
mai/18	902	R\$ 636,78	R\$ 0,71
jun/18	1022	R\$ 774,01	R\$ 0,76
<b>TOTAL</b>	<b>10843</b>	<b>R\$ 7.585,50</b>	<b>R\$ 0,70</b>

**Tabela 1 – Dados do consumo e custo com a energia elétrica. Fonte: elaborado pelos autores.**

Na análise das faturas utilizamos o período de julho de 2017 a junho de 2018, totalizando 12 meses. Os dados coletados demonstraram que o posto de combustível teve um consumo total de 10.843 kWh para o período analisado, com um custo anual de R\$ 7.585,50, como mostra o gráfico a seguir (Gráfico 1). Os dados mostram tendência de certa estabilidade no

consumo de energia elétrica no período analisado. Observou-se maior consumo nos meses de julho/2017, agosto/2017 e também junho/2018, meses de inverno.



**Gráfico 1 – Dados do consumo e custo com a energia elétrica**

A justificativa do cliente é que grande parte da população utiliza, com maior frequência, seus carros para locomoção devido às condições climáticas, aumentando o uso das bombas de abastecimento. Entre os muitos fatores, salienta-se a utilização de água quente para os chuveiros elétricos e fornecimento de água quente para chimarrão para os motoristas que utilizam o pátio de estacionamento do posto. Tais serviços são fornecidos no posto e demandam de alto consumo de energia durante os meses mais frios. Quanto ao pico de consumo observado no mês de novembro de 2017, conforme relato do empreendedor, foi o mês com maior venda de combustível. Esse dado está em conformidade com a informação anterior, ou seja, maior tempo de uso das bombas de combustível esteve diretamente associado a demanda de energia elétrica no estabelecimento.

### 3.4 Dimensionamento das características principais do sistema

O sistema de energia fotovoltaica, recomendado a seguir, foi dimensionado para proporcionar um equilíbrio anual entre o consumo e a energia gerada, com base na resolução da ANEEL 482/2012.

Os resultados obtidos no dimensionamento das características fundamentais para o projeto de implantação do sistema solar fotovoltaico na edificação em estudo, apresentados a seguir, foi concedido através da planilha eletrônica disponível na rede mundial de computadores, produzido por um fornecedor da tecnologia. O software *SunData*, disponibilizado pelo site da CRESESB, nos proporcionou os índices de insolação para o município de Ipumirim.

PASSO 1 RESUMO 1 ANO FATURAÇÃO	
PERIODO	CONSUMO MENSAL (kWh/mês)
Jan	995
fev	1063
Mar	958
Abr	833
Mai	966
Jun	758
Jul	777
Ago	821
Set	849
Out	899
Nov	902
Dez	1022
<b>MEDIA MENSAL ANUAL</b>	<b>904</b>
<b>MÉDIA DIÁRIA</b>	<b>30</b>

PASSO 2 ENCONTRAR VALOR DE HSP	
<a href="http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata">http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata</a>	
Exemplo cidade de Fortaleza	HSP
Jan	6,05
Fev	5,49
Mar	5,02
Abr	4,05
Mai	3,11
Jun	2,66
Jul	2,93
Ago	3,82
Set	4,01
Out	5
Nov	6,08
Dez	6,32
<b>Média</b>	<b>4,545</b>

PASSO 3 Considerar perdas	
Perda	
Sujeira	2%
Diff entre módulos	2%
Temperatura	12%
Efeito Jaule	1%
Eficiencia inversor	4%
MPPT	1%
<b>Eficiencia Total</b>	<b>80%</b>

PASSO 4 Calcular Potência	
$P = \frac{\text{Consumo}(kWh)}{\text{HSP} * \text{Eficiencia}}$	
Potencia (kW) = 8,29	

PASSO 5 Calcular quantidade de placas	
Potência da Placas Escolhida	<b>320</b>
Qde de Placas:	25 OU 26

PASSO 6 Escolher Inversor	
Potencia do inversor deve ser entre +- 20% potencia de placas	
Quantidade de Placas	<b>25</b>
Potencia do inversor (kw) Entre	6,40 e 9,60

**Tabela 2 – Dimensionamento das características principais do sistema. Fonte: Fotaic.**

Para fins de cálculos, com base nos dados de consumo e insolação, foram mensuradas as possíveis perdas de cargas que podem influenciar no desempenho final do sistema, para o dimensionamento do mesmo, para a determinação da potência necessária a ser gerada nas placas solares e a potência do inversor para o sistema.

Em concordância da tabela anterior (Tabela 2), observamos que para a eficácia do sistema são necessários aproximadamente a instalação de 25 placas fotovoltaicas para a potência nominal de 320Wp e 1 inversor com potência de aproximadamente 6 kW, utilizando em média, uma área de aproximadamente 157,63 m<sup>2</sup> (considerando as seguintes dimensões 1,0 m x 1,80 m).

### 3.5 Estudo da viabilidade econômica

Para a realização deste estudo, solicitaram-se, em três diferentes empresas fornecedoras da tecnologia, orçamentos que atendessem à demanda de energia do empreendimento, sendo necessário também a análise dos reajustes de custos anuais com energia elétrica de 5,04% a.a. (conforme projeção feita de reajustes de tarifa entre os anos de 2015 a 2018, encontrados

no site da CELESC). Também foi considerada a TMA (6% a.a.), com base em aplicações bancárias.

A tabela 3, apresenta os valores de investimentos iniciais propostos por cada empresa, sendo que estes levam em consideração também valores de projeto, materiais, instalação e transporte.

INVESTIMENTOS				
Empresa	Modelo	Descrição	Potência	Custo
1		Sistema	8,25 kW	-
	Não especificado	Painéis Fotovoltaicos	330 Wp	-
	Não especificado	Inversor	6 kW	-
	<b>Investimento</b>			
Empresa	Modelo	Descrição	Potência	Custo
2		Sistema	7,59 kW	-
	Canadian CS6U	Painéis Fotovoltaicos	330 Wp	-
	FRONIUS PRIMO	Inversor	6 kW	-
	<b>Investimento</b>			
Empresa	Modelo	Descrição	Potência	Custo
3		Sistema	6,60 kW	-
	Canadian	Painéis Fotovoltaicos	330 Wp	-
	Não especificado	Inversor	6 kW	-
	<b>Investimento</b>			

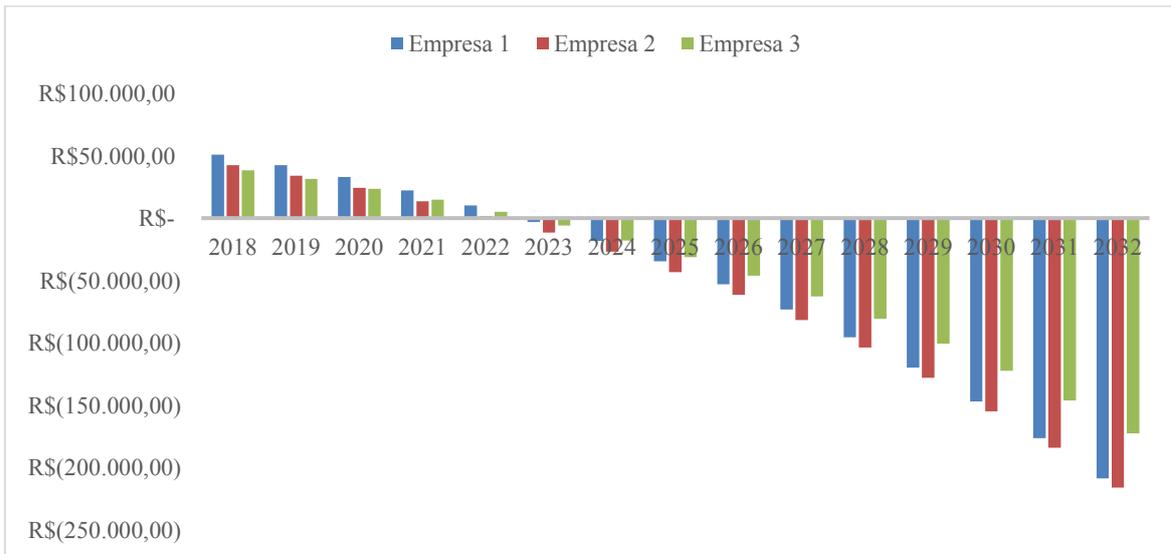
Tabela 3 – Investimentos iniciais das empresas 1, 2 e 3. Fonte: elaborado pelos autores.

Para a análise de *payback* descontado foi necessário a elaboração de uma planilha eletrônica, apresentada a seguir (Tabela 4), que mostrará o fluxo de caixa do período em que o projeto estará em atividade, levando em consideração o tempo de vida útil do inversor, ou seja, 15 anos.

Ano	Investimento		
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
2018	R\$ 50.973,60	R\$ 42.504,00	R\$ 38.337,67
2019	R\$ 42.502,48	R\$ 33.943,96	R\$ 31.414,30
2020	R\$ 32.946,61	R\$ 24.314,80	R\$ 23.614,35
2021	R\$ 22.212,09	R\$ 13.524,61	R\$ 14.862,16
2022	R\$ 10.197,93	R\$ 1.474,55	R\$ 5.076,38
2023	-R\$ 3.204,42	-R\$ 11.491,60	-R\$ 5.830,42
2024	-R\$ 18.111,63	-R\$ 26.837,94	-R\$ 17.952,19
2025	-R\$ 34.649,01	-R\$ 43.337,05	-R\$ 31.389,87
2026	-R\$ 52.951,17	-R\$ 61.570,55	-R\$ 46.251,83
2027	-R\$ 73.162,63	-R\$ 81.679,73	-R\$ 62.654,45
2028	-R\$ 95.438,49	-R\$ 103.816,20	-R\$ 80.722,59
2029	-R\$ 119.945,20	-R\$ 128.142,65	-R\$ 100.590,27
2030	-R\$ 146.861,34	-R\$ 154.833,56	-R\$ 122.401,22
2031	-R\$ 176.378,42	-R\$ 184.076,04	-R\$ 146.309,61
2032	-R\$ 208.701,79	-R\$ 216.070,69	-R\$ 172.480,72

Tabela 4 – Fluxo de caixa e *payback* descontado. Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme dados do gráfico 2, verifica-se que o *payback* do projeto de instalação, para a empresa 1, 2 e 3, onde para qualquer um dos investimentos apresentados, o retorno dos investimentos ocorre no 6º ano, considerando a produção de energia. Em resumo, o projeto é considerado atrativo e financeiramente viável, pois o tempo de retorno não ultrapassa a vida útil do projeto.



**Gráfico 2 – Fluxo de caixa. Fonte: elaborado pelos autores.**

Outra análise para provar a viabilidade deste projeto é a comparação do custo-benefício, para os diferentes valores iniciais e produção dos sistemas, conforme informações apresentadas por empresa. Conforme a tabela 5, é possível constatar que a empresa 2 é a mais viável economicamente, com relação as demais, pois a relação custo do sistema e potência gerada demonstrou custo-benefício de R\$ 5.600,00, que foi o melhor caso analisado.

Custo-Benefício			
presa	Valor inicial (R\$)	Produção do sistema (kW/h)	Relação (R\$/kW)
Empresa 1	R\$ 50.973,60	8,25	R\$ 6.178,62
Empresa 2	R\$ 42.504,00	7,59	R\$ 5.600,00
Empresa 3	R\$ 38.337,67	6,6	R\$ 5.808,74

**Tabela 5 – Custo investimento (R\$) x Produção do sistema (kW/h). Fonte: elaborado pelos autores.**

Portanto, comparando-se a empresa 1 com a empresa 2, precisa-se investir 20% a mais no valor inicial sendo que a diferença de produção de energia é somente 9%, o que torna a proposta da empresa 1 inviável. Já, comparando a empresa 2 com a empresa 3, a diferença de investimento inicial é de 11% sendo que a diferença de produção de energia é de 15%.

Assim, comprova-se que a proposta da empresa 2 foi a mais viável em todos os métodos analisados.

Em todos os estudos apresentados anteriormente foram desconsiderados os descontos de taxa mínima de fatura e aluguel da rede. Com base nesse dado, realizou-se um novo cálculo com auxílio de uma planilha eletrônica pré-programa com uma calculadora online disponibilizada por uma empresa fornecedora da tecnologia e a mesma encontra-se na web.

Sistema Indicado	
Tamanho do Sistema (kWp)	Número de Módulos
6,57	24
Produção Anual Estimada (KWh)	Estimativa de Investimento (R\$)
9788	R\$ 39.391,66

**Tabela 6 - Sistema indicado na calculadora on-line. Fonte: elaborado pelas autoras.**

De acordo com os dados explicitados na tabela 7, nota-se que o investimento nesta tecnologia ainda é viável, pois o tempo de retorno do investimento em todos os casos calculados não ultrapassa 7 anos, ou seja, não ultrapassa o tempo de vida útil dos equipamentos.

Ano	Energia Gerada (kWh)	Valor Energia FV (R\$)	Economia Anual (R\$)	Retorno (R\$)	Tempo
2017				R\$ 39.391,66	0
2018	9788	R\$ 0,4787	R\$ 4.685,52	R\$ 34.706,14	1
2019	9719,48	R\$ 0,5026	R\$ 4.885,35	R\$ 29.820,79	2
2020	9651,45	R\$ 0,5278	R\$ 5.093,71	R\$ 24.727,08	3
2021	9583,89	R\$ 0,5542	R\$ 5.310,96	R\$ 19.416,12	4
2022	9516,8	R\$ 0,5819	R\$ 5.537,47	R\$ 13.878,65	5
2023	9450,18	R\$ 0,6110	R\$ 5.773,65	R\$ 8.105,00	6
2024	9384,03	R\$ 0,6415	R\$ 6.019,89	R\$ 2.085,11	7
2025	9318,34	R\$ 0,6736	R\$ 6.276,64	-R\$ 4.191,53	8
2026	9253,11	R\$ 0,7073	R\$ 6.544,34	-R\$ 10.735,90	9
2027	9188,34	R\$ 0,7426	R\$ 6.823,45	-R\$ 17.559,30	10
2028	9124,02	R\$ 0,7798	R\$ 7.114,48	-R\$ 24.673,80	11
2029	9060,16	R\$ 0,8187	R\$ 7.417,91	-R\$ 32.091,70	12
2030	8996,74	R\$ 0,8597	R\$ 7.734,28	-R\$ 39.826,00	13
2031	8933,76	R\$ 0,9027	R\$ 8.064,15	-R\$ 47.890,10	14
2032	8871,22	R\$ 0,9478	R\$ 8.408,08	-R\$ 56.298,20	15
2033	8809,12	R\$ 0,9952	R\$ 8.766,69	-R\$ 65.064,90	16

**Tabela 7 – Análise de investimento. Fonte: elaborado pelos autores.**

#### 4. Considerações finais

Ambientes como postos de combustíveis, supermercados, shoppings e estacionamentos geralmente são edificações que possuem grandes áreas de cobertura e alto consumo de energia elétrica. Essas condições permitem acreditar que os mesmos podem ser grandes geradores de energia renováveis além de contribuir com a sustentabilidade ambiental, atualmente um quesito de preferência dos estabelecimentos. Como ocorreu no estudo que objetivou analisar a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica como alternativa de redução de custos com as faturas de energia elétrica em um posto de combustível localizado na cidade de Ipumirim, Santa Catarina.

Uma pesquisa bibliográfica realizada no início do estudo demonstrou que para a utilização do carro elétrico, que começam a ser inseridos no mercado, há necessidade de avanços e união de diferentes ramos da tecnologia. Nesse sentido, a pesquisa (BIFI, 2018) surge com a opção no uso da energia elétrica sendo produzida através de fontes renováveis, contribuindo para a sustentabilidade energética, econômica e ambiental.

Quanto ao estudo de caso no empreendimento contemplado na pesquisa, a análise de viabilidade econômica demonstrou ser viável a implantação da tecnologia. Os resultados demonstraram que a instalação do sistema proposto por intermédio da empresa 2 foi a mais viável das propostas. No entanto, para todos os cenários analisados, o tempo de retorno dos investimentos iniciais é inferior a sete anos, considerando somente o custo da energia.

Quanto ao uso do sistema solar fotovoltaico ser integrado à rede, edificações urbanas proporciona a instalação elétrica predial passa a ser a interface do gerador fotovoltaico com a rede elétrica convencional (RÜTHER, 2004). Como o autor relata, “para o sistema elétrico nacional, instalações deste tipo também apresentam vantagens econômicas diretas e indiretas, relacionadas ao custo evitado” (p. 79). Outro fato de grande importância a ser destacado, além dos fatores já mencionados para garantir a viabilidade do projeto, a RES 482/2012 da ANEEL permite a transformação da energia excedente produzida pelo sistema solar fotovoltaico gerar créditos que poderão ser aplicados nos meses em que o sistema tenha menor potencial de geração de energia do que a necessidade de consumo da edificação.

Por fim, conclui-se que a escolha da energia solar como fonte de energia elétrica pode diminuir os custos com o consumo de energia elétrica junto à concessionária e aumentar a sustentabilidade para o empreendimento. Por conta disso tem se tornado uma das mais importantes e promissoras fontes de energia renováveis, com atrativos e benefícios para o meio ambiente, à edificação e à sustentabilidade energética.

#### Referências

- AMPESE, E. S.; REIS, M. A. F.; SERRANO, A. **Uso de painéis fotovoltaicos como fonte de energia no aproveitamento de água da chuva para uso residencial.** (ULBRA, Ed.) 3º Encontro de Ciências em Educação para a Sustentabilidade. **Anais...Canoas (RS): PPGECIM,** 2018 Disponível em: <<http://www.conferencias.ulbra.br/index.php/ceds/3eces/paper/view/10802>>
- ANEEL. Resolução normativa nº 482. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, p. 12, 2012.

BIFFI, E. **Estudo de viabilidade de usina solar fotovoltaica em posto de combustível na cidade de Ipumirim**. Concórdia SC: Universidade do Contestado, 2018.

DUTRA, J. C. DO N. et al. Uma análise do panorama das Regiões Missões e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul sob o prisma da energia eólica e solar fotovoltaica como fontes alternativas de energia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, v. 34, p. 225–243, 2013.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016. **Empresa de Pesquisa Energética**, p. 232, 2016.

ONU. **Energia Limpa e acessível**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

PAINES, P. DE A.; VIGNOCHI, L.; POSSAMAI, O. Simulação de sistema fotovoltaico para o setor comercial. **Exacta**, v. 16, n. 3, p. 17–30, 2018.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. p. 64, 2017.

REIS JUNIOR, P. et al. **Mudanças na matriz energética hídrica no Brasil: estudo estatístico a partir de regressão multivariada**. (ULBRA, Ed.) VII Congresso Internacional de Ensino da Matemática (VII CIEM). **Anais...** Canoas RS: PPGEICM, 2017

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis - SC: Editora UFSC / LABSOLAR, 2004.

ANEEL. Resolução normativa nº 482. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, p. 12, 2012.

BIFFI, E. **Estudo de viabilidade de usina solar fotovoltaica em posto de combustível na cidade de Ipumirim**. Concórdia SC: Universidade do Contestado, 2018.

DUTRA, J. C. DO N. et al. Uma análise do panorama das Regiões Missões e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul sob o prisma da energia eólica e solar fotovoltaica como fontes alternativas de energia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, v. 34, p. 225–243, 2013.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016. **Empresa de Pesquisa Energética**, p. 232, 2016.

ONU. **Energia Limpa e acessível**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

PAINES, P. DE A.; VIGNOCHI, L.; POSSAMAI, O. Simulação de sistema fotovoltaico para o setor comercial. **Exacta**, v. 16, n. 3, p. 17–30, 2018.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. p. 64, 2017.

REIS JUNIOR, P. et al. **Mudanças na matriz energética hídrica no Brasil: estudo estatístico a partir de regressão multivariada**. (ULBRA, Ed.). VII Congresso Internacional de Ensino da Matemática (VII CIEM). **Anais...** Canoas RS: PPGEICM, 2017

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis - SC: Editora UFSC / LABSOLAR, 2004.

**Uma Abordagem Conceitual Quanto às Tecnologias Sustentáveis  
Concernentes aos Sistemas de Abastecimento de Água, Sistemas de  
Esgotamento Sanitário e Manejo de Águas Pluviais: Estudo de Caso  
“Cidade de Maria-MT”**

*A Conceptual Approach To Sustainable Technologies Concerning Water  
Supply Systems, Sanitary Sewage Systems And Rainwater Management:  
Case Study "City Of Maria-MT"*

**Thamires Silva Martins, Mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental,  
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.**

thamiresmartinsms@outlook.com

**Analia Araujo Macedo, Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.**

analia.macedoo@gmail.com

**Sabrina Eduarda Tonioli, Mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental,  
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.**

eng\_sabrina@hotmail.com

**Henrique Cereta Lopes, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho,  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI.**

henriquecl.eng@yahoo.com.br

## **Resumo**

A utilização de tecnologias sustentáveis que contemplem todos patamares do saneamento básico tem como desafio redirecionar as concepções atualmente existentes em novas formas de pensar e agir, com responsabilidade ao meio em que vivemos e as consequências das ações tomadas e não em seu devido tempo, adaptando as tecnologias existentes e as futuras para que sempre possa de alguma forma coexistir o crescimento populacional e o nosso ecossistema. Nesse viés, o presente estudo buscou abordar de forma conceitual tecnologias sustentáveis que abranjam de forma significativa questões que envolvam os sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgotamento sanitário e manejo de águas pluviais. Técnicas como bacias de retenção e detenção, valas, trincheiras e poços de infiltração, pavimentos porosos, tanque de evapotranspiração, *wetlands*, bem como um panorama

da situação hídrica caracterizada pela região que contempla a Cidade de Maria serão abordados neste estudo.

**Palavras-chave:** Tecnologias sustentáveis; Cidade de Maria; Saneamento.

### ***Abstract***

*The use of sustainable technologies that contemplate all levels of basic sanitation has the challenge of redirecting current conceptions into new ways of thinking and acting, with responsibility to the environment in which we live and the consequences of actions taken and not in due time, adapting the existing technologies and future ones so that population growth and our ecosystem can always coexist in some way. In this bias, this paper sought to approach in a conceptual way sustainable technologies that significantly cover issues involving water supply systems, sewage systems and rainwater management. Techniques such as retention basins and trenches, ditches, trenches and infiltration wells, porous pavements, evapotranspiration tank, wetlands, as well as a panorama of the water situation characterized by the region that contemplates the City of Maria will be approached in this study.*

**Keywords:** Sustainable technologies; City of Mary; Sanitation.

## 1. Introdução

O crescente processo de urbanização tem sido um grande desafio para as cidades e seus administradores. Conforme Martins *et al* (2012) o planejamento dos espaços faz com que um empreendimento bem-sucedido traga benefícios à comunidade, proporcionando ambiente com qualidade de vida, inserção social e minimização de impactos negativos e com isso a preservação do meio ambiente.

Nesse sentido, um empreendimento voltado à sustentabilidade deve possuir condições suficientes para atender às demandas de sua população, seja no âmbito social, cultural e político, além das cada vez mais constantes ações e preocupações voltadas à questão do meio ambiente, como um meio primordial para manter a saúde e as condições adequadas do local. Entre os fatores a serem considerados nesse cenário, se tem a questão a respeito da conservação e uso consciente da água e o saneamento básico, que são itens essenciais em qualquer meio de convívio coletivo.

O presente estudo apresenta como objetivo geral elencar alternativas sustentáveis que visem a satisfazer as necessidades quanto ao abastecimento de água, sistemas de esgotamento sanitário, infraestrutura e manejo das águas pluviais concernentes à Cidade de Maria, localizada no município de Nossa Senhora do Livramento-MT. A iniciativa do estudo parte da necessidade de se propor novas técnicas para tratar de tais assuntos tendo em vista a concepção de um novo projeto de cidade sustentável que pretende se estabelecer no local.

## 2. Revisão

### 2.1 Área de Estudo

A Cidade de Maria, conforme visto na Figura 1, está localizada às margens da BR-070 entre o chamado “Trevo do Lagarto” e o trevo para o município de Nossa Senhora do Livramento-MT, a cerca de 25 quilômetros da capital Cuiabá.



Figura 1: Localização da Cidade de Maria. Fonte: Google Earth.

No local da atual sede da Cidade de Maria são realizadas celebrações religiosas e encontros que envolvem toda a comunidade de seu entorno e municípios vizinhos. O objetivo de seus administradores é tornar o local um empreendimento constituído na base da economia da partilha e da religiosidade. Com essa iniciativa buscar-se-á integrar as zonas residenciais, comerciais, industriais e recreativas, aproximando as comunidades próximas ao promover condições para aprimorar o seu sustento e o desenvolvimento.

## **2.2 Drenagem**

### **2.2.1 Controle e drenagem urbana sustentável**

Conforme Tucci (2003), as medidas de controle podem ser: Na fonte - qual envolve o controle em nível de lote ou qualquer área primária de desenvolvimento; Microdrenagem - medidas adotadas em nível de loteamento; Macro-drenagem - soluções de controle nos principais rios urbanos. As principais medidas sustentáveis na fonte tem sido: a detenção de lote (pequeno reservatório), que controla apenas a vazão máxima, o uso de áreas de infiltração para receber a água de áreas impermeáveis e recuperar a capacidade de infiltração da bacia, e os pavimentos porosos.

Já medidas de micro e macrodrenagem são as detenções e retenções. As detenções são reservatório urbanos mantidos secos, com uso e espaço integrado à paisagem urbana, enquanto que as retenções são reservatórios com lâmina de água utilizados tanto para controle de pico e volume de escoamento quanto para a qualidade da água.

### **2.2.2 Bacias De Detenção**

Para Mota ([20--]), os reservatórios de detenção caracterizam-se por estruturas de acumulação temporária de água de chuva, contribuindo para a redução das inundações urbanas. Muito embora estas estruturas apresentem como função principal função o amortecimento das cheias e inundações urbanas, elas podem também captar sedimentos e detritos, e contribuir para a recuperação da qualidade das águas dos córregos e rios urbanos. Apresentam como vantagens e precauções:

**Vantagens:** Caráter multifuncional agregando áreas verdes e de lazer, compondo o espaço urbano com a valorização da presença da água; Depois de construídas, não causam interferência na funcionalidade da cidade; Reduzem os custos de canalizações à jusante, pois armazenam grandes volumes de água pluvial; Facilitam a limpeza e diminuem seu custo, já que os sedimentos e lixo concentram-se em um único ponto.

**Desvantagens:** A construção de uma medida estruturante deste porte, sem a integração com a cidade (quadra de esportes e espaços de lazer), pode conduzir à não aceitação pela população; A falta de manutenção e limpeza pode acarretar proliferação de animais vetores de doenças e vegetação, bem como no uso do local para lançamento ilegal de lixo e entulho; Podem requerer desapropriações para sua construção.

### 2.2.3 Bacias De Retenção

Conforme Lima, Silva e Raminhos (2006), as bacias de retenção têm sido muito utilizadas em zonas rurais, como meio de armazenamento de água para fins agropecuárias e em projetos de drenagem, a fim de reduzir o pico de escoamento para um nível compatível com a capacidade do meio receptor. Apresenta como vantagens, além do seu uso já citado:

Evita perturbações à jusante; Reduz a carga de contaminante do escoamento; Controla a erosão; Melhora a paisagem; Cria espaço recreativo e de lazer; Recarrega os aquíferos.

### 2.2.4 Trincheiras De Infiltração

A definição comum e usual da trincheira de infiltração é que a mesma consiste em uma vala rasa escavada e enchida com pedra britada, com fins de drenagem do escoamento superficial (TOMAZ, 2016).

Conforme Caputo (2012), o equacionamento do funcionamento hidráulico da trincheira pode ser correlacionado com um modelo de reservatório. Assim, o armazenamento da trincheira, é dado pela variação da lâmina da água, sendo igual a água que entra no sistema, excluindo-se a porção que é perdida para o solo por infiltração, e eventualmente o extravassamento. A Equação 1 a seguir busca ilustrar este modelo:

$$\frac{dH}{dt} = qe - qinf - qs \quad \text{Eq (1)}$$

Sendo: H - lâmina de água da trincheira;  $qe$  - vazão de entrada por unidade de área de infiltração;  $qs$  - vazão de saída (extravassada) por unidade de área de infiltração;  $qinf$  - velocidade de Darcy, taxa de infiltração por unidade de área da superfície (m/s), pode ser visualizada como taxa de declínio da superfície da água na trincheira; Lf: profundidade da frente de molhamento.

### 2.2.5 Poços De Infiltração

Poços de infiltração são dispositivos pontuais e verticais, que visam favorecer a infiltração do escoamento superficial diretamente para o subsolo. Devem ser utilizados em locais com solos permeáveis, com camada superior pouco permeável e camadas mais permeáveis abaixo. Uma de suas notórias vantagens é a pequena área em superfície ocupada por ela, facilitando sua integração com o ambiente (FUZYI *et al*, 2012).

Os mesmos autores anteriores relatam que a implantação deste dispositivo é simples, podendo ser escavados mecânica ou manualmente. Solicita-se a análise do solo para se evitar desmoronamentos, além de que devem ser feitas medições da capacidade de infiltração por ensaios a fim de garantir a real eficiência do conjunto. Além das alternativas convencionais de materiais para a construção dos mesmos, podem ser utilizados materiais alternativos como pneus usados. O dimensionamento dos poços é feito através do balanceamento da água que entra e da água que é infiltrada. A equação (2) de balanceamento da água a seguir elucida esta questão.

$$Q = qas \cdot Ainf \quad \text{Eq (2)}$$

Sendo: Q - é a vazão que é infiltrada no solo; qas - capacidade de infiltração por unidade de superfície; Ainf - superfície permeável do solo.

### 2.2.6 Valas De Infiltração

Conforme Fuzyi et al. (2012), as valas de infiltração são técnicas antigas e simples, constituídas por depressões no terreno, com revestimento em vegetação ou pedras granulares, que visam recolher águas pluviais, promover seu armazenamento e permitir a infiltração. Devido a sua simplicidade, este dispositivo apresenta baixo custo de implantação e manutenção. O dimensionamento das valas em seu comprimento pode ser feito pela fórmula da equação(3) a seguir:

$$L = \frac{Ku \cdot (K \cdot \frac{Qe \cdot 5}{8} \cdot \frac{S1 \cdot 3}{16})}{n^3/8f} \quad \text{Eq (3)}$$

Sendo: L - comprimento da vala de infiltração; Ku - 77,3; K - trata-se da inclinação do talude; Qe - vazão de entrada na vala; S1 - declividade horizontal da vala; n - Coeficiente de Manning das paredes da vala; f - taxa de infiltração do solo saturado.

### 2.2.7 Pavimentos Porosos Ou Permeáveis

Os pavimentos porosos ou permeáveis, por definição são os que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água pode escoar, infiltrando no solo, ou sendo transportada por sistemas auxiliares de drenagem. Esse sistema busca reduzir o volume de água referente ao escoamento superficial e, por conseguinte, reduzir a solicitação do sistema de drenagem urbana (GONÇALVES, OLIVEIRA, 2014).

Ainda de acordo com os autores acima citados, em uma estrutura de pavimento poroso genérica, quanto ao funcionamento: o escoamento infiltra de maneira rápida na camada de revestimento (espessura: 5 a 10 cm), atravessa um filtro de agregados de 1,25 cm de diâmetro e espessura de 2,5 cm e segue para uma câmara ou reservatório de pedras com agregados de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. A partir de então o escoamento pode ser infiltrado para o subsolo ou coletado por tubos de drenagem e conduzido até uma saída. Assim a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela profundidade desse reservatório e pelo escoamento perdido por infiltração para o subsolo.

## 2.3 Esgotamento Sanitário

### 2.3.1 Técnicas Sustentáveis para o Tratamento de Esgoto

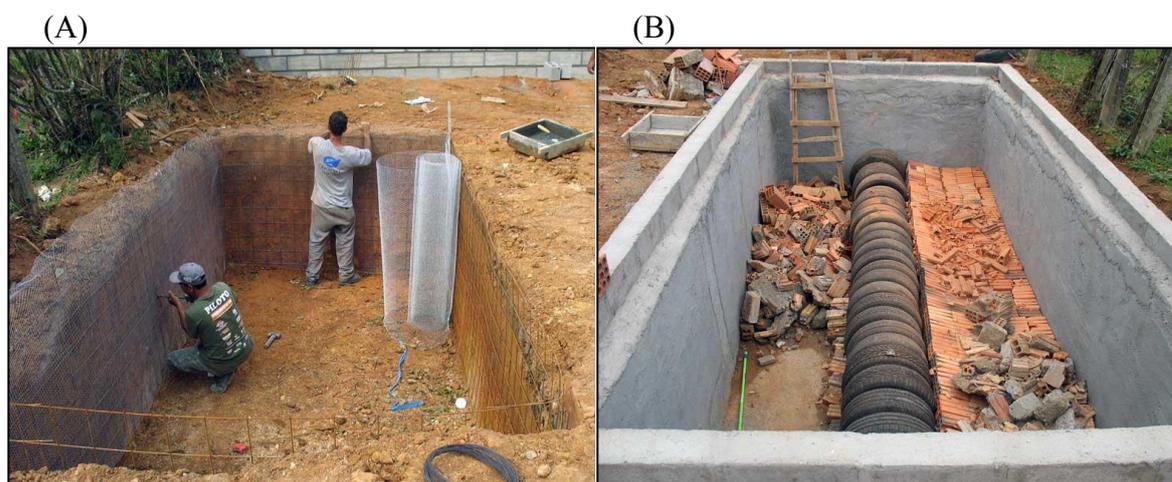
Diversos trabalhos, como os realizados por Galbianti (2009) e Poças (2015), têm trazido alternativas às técnicas usuais do tratamento do esgoto proveniente de água negras e água cinzas e que têm como propostas reduzir os impactos ambientais que esses tipos de resíduo causam. Mesmo que sejam aplicadas de forma pontual, consideram-se que sejam ações

válidas e que contribuem de forma significativa na preservação ambiental e no reaproveitamento do esgoto, considerando-o como um insumo e não somente como um rejeito.

### 2.3.2 Tanques de Evapotranspiração

De acordo com Galbianti (2009), o tanque de evapotranspiração (TEvap) consiste em um sistema que visa o tratamento de águas negras através da utilização de plantas, elucidando ser uma alternativa aos sistemas de tratamento convencionais. A estrutura do TEvap compreende um tanque retangular impermeabilizado, dimensionado para uma unidade familiar, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies vegetais de rápido crescimento e de alta demanda por água. Um pré-requisito para a utilização do TEvap é a separação da água servida na casa. Apenas aquele efluente oriundo dos sanitários deve ir para o Tanque. Os demais efluentes, provenientes de pias e chuveiros, devem ir para outro sistema de tratamento, conforme recomendação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Por conseguinte, o efluente do vaso sanitário adentra o sistema através da câmara de recepção, situada na parte interna do tanque, permeando, em seguida, as camadas constituídas de cerâmica e pedras. Esta região inferior do tanque é o local onde ocorre a digestão anaeróbica do efluente. À medida que aumenta o volume de esgoto no interior do tanque, este conteúdo preenche também as camadas superiores, contempladas com brita e areia, até chegar na camada de solo acima, através da qual se move por ascensão capilar até atingir a superfície. Por intermédio da evapotranspiração, a água é eliminada do sistema, ao passo que os nutrientes existentes são removidos por meio da sua incorporação à biomassa das plantas (PAULO; BERNARDES, 2009). Abaixo ilustração (Figura 3):



**Figura 3: Algumas etapas da construção do TEvap (A) Tanque já escavado com início da impermeabilização de ferro-cimento (B) Visão geral da câmara de pneus, com início da colocação do entulho cerâmico. Fonte: Galbiati, 2009.**

### 2.3.3 Jardins Filtrantes (*Wetlands*)

De acordo com Poças (2015), encontra-se um ecossistema equilibrado, com degradação da matéria, reciclagem de nutrientes e, por conseguinte melhora a qualidade da água.

As *wetlands* usualmente construídas possuem uma camada impermeável de argila ou membrana sintética, e estruturas para controlar a direção do fluxo, tempo de detenção hidráulica e nível de água. De acordo com a concepção do sistema, a construção pode conter um meio poroso inerte (pedras, cascalho ou areia). Uma das características que diferenciam as *wetlands* construídas das *wetlands* naturais é a intervenção humana (aterros, drenagem, alteração de fluxo e das propriedades físicas). Dessa forma, não se recomenda a utilização direta de *wetlands* naturais para o tratamento de esgoto tendo em vista o impacto provocado (MOTA; VON SPERLING, 2009).

De acordo com Mota e Von Sperling (2009), existem os seguintes tipos de *wetlands* construídas: as de fluxo horizontal superficial; as de fluxo horizontal subsuperficial (leitões submersos vegetados de fluxo subsuperficial) e as de fluxo vertical. As primeiras são adequadas para receber efluentes de lagoas de estabilização; as segundas são indicadas para receber efluentes de tanques sépticos e reatores anaeróbios, já o terceiro tipo diferencia-se dos sistemas convencionais de *wetlands* uma vez que se assemelha a rotina de um filtro intermitente, com ciclos de dosagem na superfície e drenagem realizada pelo fundo.

Conforme apontado por Valentim (2003), menores custo de implantação e operação, além de menor demanda de manutenção e fácil operação constituem vantagens na implantação desses sistemas. As *wetlands* construídas, dessa forma, são indicadas principalmente para comunidades isoladas, pequenas e com poucas condições financeiras e tecnológicas.

## **2.4 Sistema de Abastecimento de Água**

### **2.4.1 Escolha do Local de Captação**

No estudo de um manancial para fornecer água potável a uma cidade impõe-se o local de captação, justamente aquele que proporciona a solução mais conveniente. Essa tarefa é relativamente fácil, em alguns casos e em outros é trabalhosa. A verdade é que, nos casos mais complexos, fazem-se dispensáveis, para os prováveis locais de aproveitamento dos mananciais, análise de água, medições de descarga, dados pluviométricos, pesquisas geológicas, levantamentos topográficos, entre outros procedimentos.

As análises físicas, químicas e bacteriológicas, em complementação às investigações de campo, recomendam-se para possibilitar um julgamento sobre a necessidade ou não de tratamento, e se for o caso, a modalidade deste.

Nas linhas que seguem, serão feitas algumas apreciações visando a facilitar a escolha do local de captação das águas de mananciais subterrâneos e superficiais.

### **2.4.2 Águas Subterrâneas**

Captações de águas subterrâneas são caracterizadas pelo intenso estudo e conhecimento acerca do processo. A variabilidade da condição geológica e da ocorrência da

água subterrânea eleva-se a tal ponto de fazer com que cada operação de perfuração se constitua empreendimento de exploração. Desta forma, a perícia de um sondador de poços que o habilite a uma decisão segura ante situações imprevistas é fundamental para um bem-sucedido desenvolvimento da água subterrânea (UOP JOHNSON DIVISION, 1978).

As fontes, minas e nascentes, são formas de surgência natural da água subterrânea na superfície do terreno. Os poços raros ou profundos, tubulares ou escavados, os drenos e galerias filtrantes são obras destinadas a permitir a retirada artificial da água subterrânea das camadas em que se escoam (VILELA, 2003).

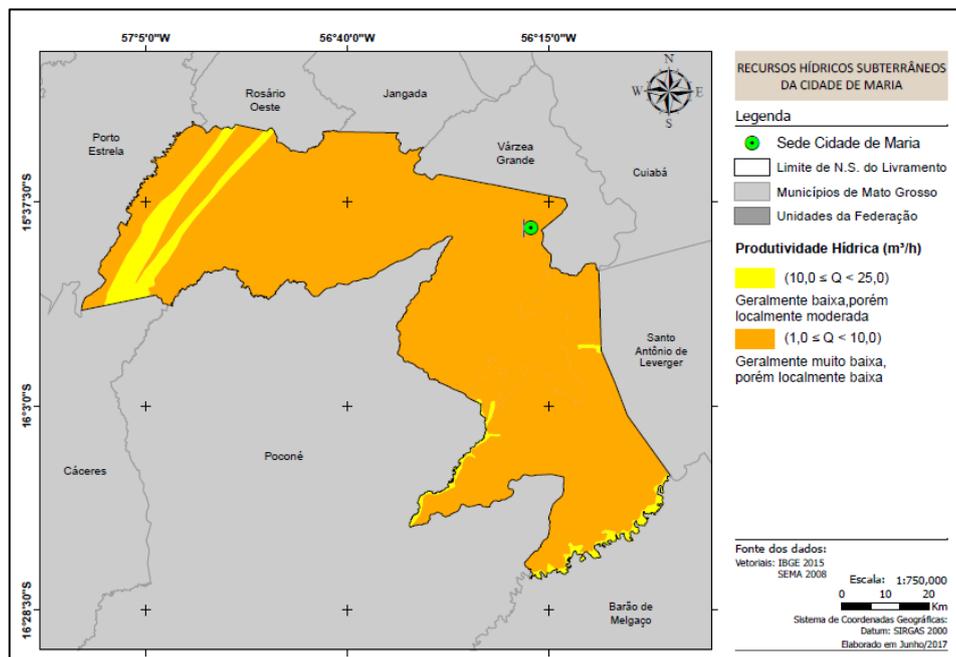
Por questões sanitárias, os poços deverão ficar afastados convenientemente de instalações, estruturas, e condutos que contenham ou veiculem líquidos contaminantes. É recomendável a distância mínima: De privadas secas, fossas negras, redes de irrigação superficial de esgotos, lagoas de oxidação (30 metros); de fossas sépticas, canalizações de esgoto, esterqueiras, depósitos e despejos de águas servidas (15 metros); de galerias pluviais, escavações e edifícios de modo geral (5 metros); se a perfuração atravessar rochas consolidadas contendo fendilhamentos, devem ser mantidas distâncias maiores do que as mínimas acima citadas (VILELA, 2003).

A escolha de um determinado tipo de obra de captação de água depende de alguns fatores como: características hidrogeológicas da região, a demanda necessária e disponibilidade tecnológica. Para abertura e construção de poços, utilizam-se em geral uns dos seguintes métodos: escavação direta; jato hidráulico; cravação, hidráulico-rotativo; percussão. Os três primeiros métodos são aplicados na captação de lençóis freáticos situados a pequena profundidade (poços rasos). São utilizados ferramentas e dispositivos de pequeno porte e fácil manuseio (VILELA, 2003).

Para facilitar a localização da água subterrânea, seguem as seguintes recomendações:

As condições superficiais do solo podem sugerir locais com maior possibilidade para o encontro do lençol freático, o que raramente ocorre com o lençol artesianos; A grande maioria dos vales possui águas subterrâneas; Quanto mais baixo for o ponto escolhido para abertura de um poço, maiores serão as possibilidades de ser encontrada água subterrânea; Em determinada bacia, geralmente todos os poços artesianos, que venham a ser perfurados, encontrarão o mesmo número de lençóis, situados a profundidades praticamente iguais em todos os poços; No aproveitamento de um lençol freático, a vazão de que é capaz um poço é tanto maior quanto mais próximo o seu fundo estiver da camada impermeável; No caso em que numa mesma bacia sejam invariáveis a permeabilidade e a espessura dos lençóis, os poços perfurados nos pontos baixos do terreno dão maior vazão que os perfurados nos pontos altos.

Constata-se que a Cidade de Maria está posicionada sob uma região de produtividade hídrica geralmente muito baixa, porém localmente baixa, com vazões variando entre 1 e 10 m<sup>3</sup>/h, como pode ser observado na Figura 4 . Recomenda-se estudos hidrogeológicos a fim de que se possa determinar, com mais precisão, a disponibilidade hídrica local no ponto de interesse, tendo em vista que a base de dados existente para o levantamento da produtividade hídrica subterrânea não alcança profundidades elevadas.



**Figura 4:** Mapa de *Lay out* da produtividade hídrica dos mananciais subterrâneos no município de Nossa Senhora do Livramento, com destaque para a Cidade de Maria. Fonte: Os Autores.

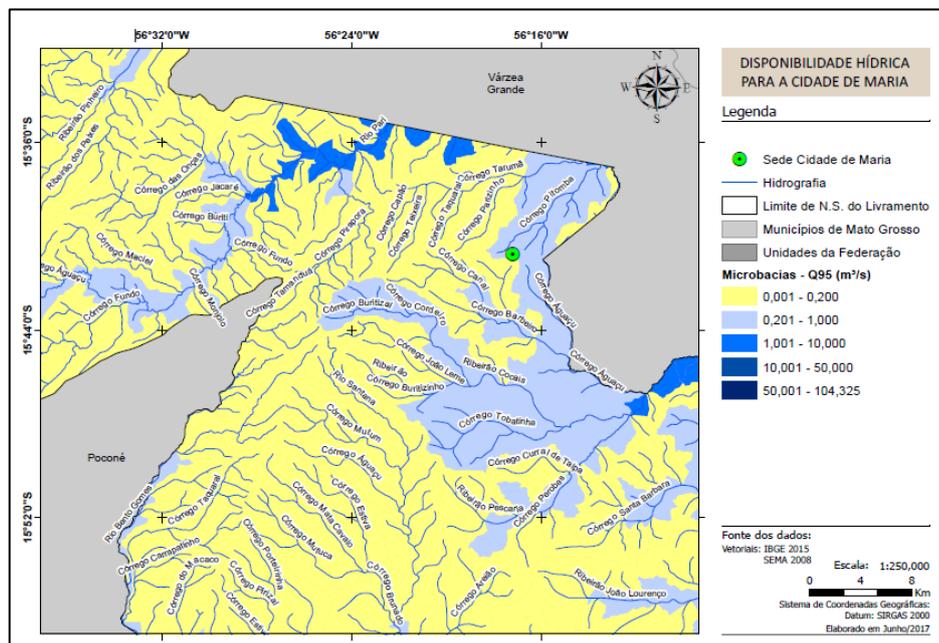
### 2.4.3 Águas Superficiais

Entre os fatores que se destacam para a seleção do manancial, elencam-se: Garantia de fornecimento da água em quantidade e qualidade desejadas. Deve ser feita retirada de amostras para exame físico, químico e bacteriológico; Proximidade do consumo; Locais favoráveis à construção da captação; Transporte de sedimentos pelo curso de água (TSUTIYA, 2004).

A vazão a ser considerada para fins de escolha de mananciais abastecedores deve ser a correspondente ao dia de demanda máxima prevista para o alcance do plano. Quando a diferença entre a vazão disponível estimada para o manancial e a vazão requerida não ultrapassar 10% da vazão necessária, além do manancial estudado para abastecer o sistema, deve ser prevista a complementação da vazão em condições técnicas e econômicas aceitáveis (TSUTIYA, 2004).

A seleção deve ser feita mediante o estudo técnico, econômico e ambiental, comparando-se às diversas alternativas viáveis. Nem sempre o manancial mais próximo da cidade será a melhor solução.

A figura 5 a seguir elucida o panorama da disponibilidade hídrica superficial que margeia a Cidade de Maria.



**Figura 5: Mapa de disponibilidade hídrica superficial no município de Nossa Senhora do Livramento, com destaque para a Cidade de Maria. Fonte: Os Autores.**

Na Figura 5 vê-se que a Cidade de Maria se encontra margeada por corpos hídricos de baixa vazão, variando entre 0,001 a 1,0 m<sup>3</sup>/s. Ressalta-se que essa é uma característica da região, assim como elucidada o mapa referenciado. Por isso, é de suma importância a realização de estudos aprofundados que promovam o conhecimento afinado acerca das condições hídricas de onde se almeja abastecer.

### 3. Considerações Finais

Com referência ao estudo de caso da Cidade de Maria no estado de Mato Grosso, chegou-se a definição de alguns sistemas sob a ótica da sustentabilidade aplicáveis ao local.

Quanto ao manejo de águas pluviais, medidas como trincheiras de infiltração, recolhimento de águas pluviais e pavimentos porosos, vem a diminuir consideravelmente a demanda por sistemas de infraestrutura de drenagem urbana. O recolhimento da água da chuva, oferece à mesma a otimização de seu uso, em vista de este ser um recurso finito em nosso planeta. Tais práticas são simples e econômicas, oferecendo benefícios à sociedade, compondo alguns dos pilares da sustentabilidade.

Com o esgotamento sanitário, o uso de wetlands apresenta-se como uma opção viável a ser aplicada. Facilidade de construção e manutenção, são algumas das características favoráveis à sua aplicação.

Já a captação de água no local é algo crítico e que exige mais estudos. Foram demonstrados os panoramas de captação de água, tanto subterrânea quanto superficial, ambas apresentam baixo potencial. Sugere-se então, estudos geológicos mais aprofundados na área de estudo, para que a opção mais viável seja identificada.

## Referências

- CAPUTO, U. K. Avaliação do Potencial de Utilização de Trincheiras de Infiltração em Espaços com Urbanização Consolidada. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – 2012. 142p.
- FUZYI, *et al.* Águas em Ambientes Urbanos – Facilitadores de Infiltração e Qualidade das Águas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – 2014. 14p.
- GALBIATI, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração / Adriana Farina Galbiati. -- Campo Grande, MS, 2009.
- GONÇALVES, A. B; OLIVEIRA, R.H. Água em Ambientes Urbanos. Pavimentos Permeáveis e sua Influência sobre a Drenagem. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – 2014. 12p.
- LIMA, H. M; SILVA, E.S; RAMINHOS C. Bacias de Retenção para Gestão do Escoamento: Métodos de Dimensionamento e Instalação. Ver. Esc. Minas. Vol 59 nº1. Jan/Mar de 2006.
- MOTA, E. Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção. ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland – Soluções para as Cidades. [20--]. 13p.
- MOTA, S. B; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitários: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009
- POÇAS, C. D. Utilização da tecnologia wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015
- TOMAZ, P. Curso de Manejo de Águas Pluviais – Trincheira de Infiltração. 24 de Abril de 2016. 11p.
- TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana Sustentável no Brasil. Relatório do WorkShop em Goiânia – GO. 07 de Maio de 2003. 24p.
- UOP – JOHNSON DIVION. Água subterrânea e poços tubulares. Saint Paul, Minnesota. 3 ed. rev. São Paulo, CETESB, 1978.
- VALENTIM, M. A. A. Desempenho de leitos cultivados ("ConstructedWetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. 2003. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- VILELA, S. S. Monitoramento da Qualidade da Água dos Poços Freáticos da Bacia do Córrego Bandeira – Campo Grande – MS. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2003. 74 p. (Monografia, Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Perícia Ambiental).

## **Uso do lodo descartado em estação de tratamento de água como agregado miúdo do concreto**

### *Use of discarded sludge in a water treatment plant as a small aggregate of concrete*

**Rafael Jonathas Vieira Sideri, Engenheiro Civil, Faculdades Integradas Maria Imaculada.**

rafaelsideri\_2014@yahoo.com.br

**Alexandre Lopes Ribeiro, Engenheiro Civil, Faculdades Integradas Maria Imaculada.**

alexandre-lo-es@hotmail.com

**Mariane Alves de Godoy Leme, Mestre em Engenharia Civil, Faculdades Integradas Maria Imaculada.**

professora.mariane@hotmail.com

#### **Resumo**

Com as novas tecnologias, as Estações de Tratamento de Água (ETA) desenvolveram técnicas eficientes para o fornecimento de água potável, no entanto os processos de tratamento geram resíduos denominados lodos, os quais devem ser tratados e dispostos em locais sanitariamente adequados. Para esse lodo, existem várias possibilidades de utilização na Construção Civil, com ênfase para blocos de concreto. O objetivo do trabalho foi analisar a viabilidade da utilização do lodo descartado pelas ETAs, como agregado miúdo do concreto. O material foi retirado de uma ETA, o qual, posteriormente, passou por processos de secagem e se utilizou como porcentagens parciais do agregado miúdo do concreto em ensaios de compressão. Os resultados foram significativos apresentando valores condizentes com os estabelecidos pelas normas, concluindo que o material em pequenas porcentagens é viável e pode ser utilizado como substituto parcial do agregado miúdo no concreto em utilizações específicas na construção civil.

**Palavras-chave:** Estação de tratamento de água; Lodo; Agregado miúdo; Concreto; Engenharia Civil.

#### **Abstract**

*With new technologies, Water Treatment Plants (WTP) have developed efficient techniques for the supply drinking water, however the treatment processes generate waste called sludge, which must be treated and disposed on sanitary places. For this sludge, there are several possibilities of use in Construction, with emphasis on concrete blocks. The objective of this work was to analyze the use of the sludge discarded by the WTPs, as a small aggregate of the concrete. The material was removed from an WTP, which subsequently underwent drying and was used as partial percentages of small aggregate of the concrete in compression tests. The results were significant presenting*

*consistent values with those established by the standards, concluding that the material in small percentages can be used as a partial substitute of the small aggregate in the concrete in specific uses in the civil construction.*

**Keywords:** *Water treatment plant; Sludge; Small aggregate; Concrete; Civil Engineering.*

## 1. Introdução

Com o passar dos anos a água passou de produto de risco para o consumo humano, como nas épocas medievais devido à ausência de qualquer tipo de tratamento, para o bem mais precioso e indispensável, através de tratamento específico que reduz consideravelmente riscos ao consumidor final. Segundo a Lei Federal 11.445/2007, a qual estabelece diretrizes nacionais para o saneamento, todos brasileiros possuem direito à educação, saúde, além de uma infraestrutura mínima em termos de saneamento básico, compreendendo sistemas de drenagem de águas pluviais, sistemas de esgotamento sanitário, sistemas de coleta e tratamento de resíduos sólidos e dos sistemas de abastecimento de água (COSTA, 2011).

Segundo Gomes (2004) apud Costa et al. (2011), o sistema de abastecimento de água define-se como um conjunto de equipamentos, obras e serviços direcionados para suprir água às comunidades, para o uso doméstico, industrial e comercial. As tecnologias de tratamento de água apresentaram uma evolução considerável nos últimos anos, tendo resultados mais significativos em relação à água de consumo entregue aos usuários. Ressalta-se que a qualidade da água e a geração de resíduos oriundos do tratamento (levando em conta sua composição) irão depender diretamente da qualidade da água bruta que é captada (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Quando as águas brutas são provenientes de recursos hídricos superficiais, elas contêm diversos materiais dispersos como sólidos, metais pesados, agrotóxicos, resíduos domésticos e industriais (MESSIAS, 2013).

Nos processos de tratamento de água, a etapa que compreende a decantação é a responsável pela geração significativa do lodo de ETA, resíduo este que deve ser removido e disposto adequadamente em local sanitário. Na decantação, os flocos se sedimentam, conforme a água vai passando pelo decantador lentamente e as impurezas que se depositam no fundo formam o lodo (material de interesse neste trabalho) (SIDERI, 2015). Segundo descrito em Florençano (2011), no processo de decantação, a água é conduzida a grandes tanques denominados decantadores, numa velocidade muito lenta. Com a diminuição da velocidade de escoamento horizontal da água, reduzem-se os efeitos da turbulência, provocando a deposição das partículas maiores, suspensas nas correntes líquidas.

A sedimentação de partículas floculentas, usualmente chamada de decantação consiste na remoção da areia (para evitar depósitos e entupimentos em bombas e instalações mecânicas); na separação das partículas finas – sem coagulação (para águas de rios com grande transporte de sólidos); e na retenção dos flocos produzidos após a coagulação (para remoção de matéria coloidal, cor e turbidez). Em todos os casos, essas partículas em suspensão na água, sendo mais pesadas, tendem a se depositar no fundo do tanque decantador com certa velocidade (de sedimentação) (FLORENÇANO, 2011).

O número de decantadores em uma Estação de Tratamento de Água deve ser de, no mínimo, duas unidades, sempre providos de dispositivos de descarga do lodo, para propiciar melhores condições para as operações de limpeza e reparos, sem interrupção do tratamento. Nos sistemas em que a limpeza não é mecanizada ou automática, deverão ser introduzidas facilidades para limpeza: declividade do fundo, canaleta, espaço para o lodo, entre outros. Depois de esvaziado o decantador, remove-se o resíduo (lodo) com jato de água sob pressão. Os resíduos que são gerados nos decantadores podem ficar armazenados durante vários dias, onde em seguida são retirados mecanicamente (COSTA, 2011; FLORENÇANO, 2011).

Segundo dados da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, s/d) existem no Brasil cerca de 7.500 ETAs de ciclo completo (ou convencionais) (ANDREOLI et. al., 2001), isto é, ETAs com tratamento que compreende dois tipos de resíduos: o lodo retirado na lavagem dos filtros e os da limpeza dos decantadores (MACHADO e ARAÚJO, 2014). Segundo Machado e Araújo (2014), a grande maioria das ETAs brasileiras utiliza o sistema de tratamento do tipo convencional completo (aproximadamente 93%).

O lodo gerado nos decantadores das ETAs possui características variadas, dependendo da água bruta coletada, produtos químicos que são utilizados no tratamento, modo de limpeza dos decantadores, entre outros, sendo que dificilmente terá alguma ETA com a mesma caracterização final que outra (COSTA, 2011). O lodo é classificado pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), como resíduos sólidos, sendo assim não permitido por lei que esse material seja lançado in natura em leitos de águas superficiais (cursos d'água superficiais) (ANDREOLI et. al., 2001).

O lodo que é gerado nas estações de tratamento de água representa de 0,3 a 1,0% do volume da água que é tratada. Na composição do lodo são encontrados diversos componentes como materiais inertes, material orgânico, produtos químicos, compostos principalmente de alumínio e ferro em grande quantidade, sendo isso atribuído ao tratamento utilizado na ETA (TAKADA et al, 2013).

Segundo Takada et al. (2013), dependendo do local onde será disposto o lodo, é necessário que haja uma prévia caracterização físico-química específica deste material a fim de não causar incompatibilidades e danos ambientais. Em determinados casos de utilização do lodo, deve-se seguir alguns parâmetros necessários, dependendo do processo de caracterização.

Todas as estações de tratamento são orientadas a fazer o descarte do lodo em locais adequados e sanitariamente seguros, segundo leis de descarte de resíduos e de proteção ambiental (MESSIAS, 2013). No Brasil, ainda há poucos estudos sobre maneiras adequadas de descarte e/ou reutilização do Lodo da Estação de Tratamento de Água (LETA), sendo que esses lodos acabam sendo indevidamente descartados em cursos d'água localizados próximos às estações de tratamento de água, no mar, lagoas, aterros sanitários, aplicação direta nos solos, em incineradores comuns, provocando grandes alterações no meio ambiente (ANDREOLI et. al., 2001; MESSIAS, 2013).

De acordo com MEGDA et al (2005), várias são as possibilidades de aproveitamento dos lodos gerados em ETA, merecendo destaque a sua incorporação no processo de fabricação de cimento Portland, fabricação de tijolos, cultivo comercial de grama, compostagem, produção de solos comerciais, plantação de cítricos, melhoria na sedimentabilidade de águas com baixa turbidez, construção civil e incorporação em argamassas e concretos (COSTA, 2011, p. 38).

Estudos também apontam a utilização do lodo no reaterro de valas, além da utilização na recuperação de áreas degradadas. Análises revelam que no ponto de vista nutricional, o uso do lodo em áreas degradadas tiveram valores significativos, fazendo com que áreas antes sem vegetação pudessem ter parâmetros nutricionais em locais mais profundos, possibilitando desenvolvimento de vegetação no local analisado (COSTA 2011).

Na construção civil, utiliza-se muito agregado, que pode ser definido como um material granular que não possui forma ou volume definido, com atividade química normalmente nula (AMBROZEWICZ, 2012). Os agregados que são utilizados na construção civil são considerados os insumos de origem mineral mais consumidos no mundo (VALVERDE, 2001). Esses agregados se classificam, sobretudo, quanto à origem e as suas dimensões. Quanto à origem, são Naturais (aqueles encontrados na natureza e normalmente necessitam de um processo simples de lavagem ou seleção – areia e cascalho) e Artificiais (aqueles que tem composição particulada obtida através de processos industriais – argila expandida, escória de alto-forno e cinza volante) (AMBROZEWICZ, 2012; BAUER, 2000). Segundo as dimensões, os agregados são divididos em Miúdos e Graúdos, sendo os miúdos as areias de origem natural ou material derivado do britamento de rochas e também a mistura das duas e os graúdos os pedregulhos ou as britas provenientes de rochas e também a mistura das duas (AMBROZEWICZ, 2012).

Analisando a importância da reutilização, não somente do lodo, mas de todo material possível de causar danos em um determinado ambiente, observa-se inúmeras vantagens, tais como redução de custos e impactos ambientais, geração de empregos, além de trazer de certa forma reconhecimento pelo trabalho realizado, visto que a disposição final do lodo de ETAs é um desafio em todos os países, e no Brasil esse assunto está apenas no início. A iniciativa de implementação desses métodos de tratamento por reutilização é o primeiro passo para que possamos avançar nesse sentido.

Logo, frente a essas questões, o presente trabalho teve como objetivo um estudo para analisar a viabilidade da utilização do lodo descartado pela Estação de Tratamento de Água (ETA) de uma cidade do interior do Estado de São Paulo, como agregado miúdo do concreto, para uso na Construção Civil.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Caracterização Físico-Química e Biológica da Água Bruta**

Os dados de caracterização físico-química e biológica da água bruta foram realizados em laboratório da própria Estação de Tratamento de Água, sendo realizados os ensaios pelos funcionários do laboratório da ETA, visto que em nossa Instituição não há laboratório confeccionado para esse propósito. Os dados de caracterização físico-química e biológica da água bruta são os mais próximos à caracterização físico-química e biológica do lodo que conseguimos para este trabalho.

## 2.2 Coleta da Amostra de Lodo

A amostra do lodo utilizado nos estudos, análises e ensaios deste trabalho foi coletada de uma Estação de Tratamento do interior de São Paulo, a qual nos disponibilizou a coleta, mas não permitiu sua identificação para ser descrita no trabalho.

As amostras foram coletadas no dia 23 de Julho de 2016, conforme o cronograma de lavagem e descarte do lodo da ETA, em tanque de decantação. O decantador (tanque de decantação) onde se retirou a amostra, inicialmente passou pelo processo de esvaziamento (Figura 1A) e logo após foi realizada a lavagem do mesmo (Figura 1B). Depois de algum tempo, com o nível da água bem mais baixo, foi possível visualizar o resíduo sólido (lodo), que se sedimentou no fundo do decantador, onde foi possível fazer a coleta do material (Figura 1C).



**Figura 1:** Esvaziamento do decantador (A); o Processo de lavagem do decantador (B); e o Lodo contido no fundo do decantador para retirada da amostra (C). Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

## 2.3 Secagem da Amostra de Lodo

Após a coleta da amostra de lodo, essa passou pela etapa de secagem (remoção de umidade). No caso, o processo de secagem do material poderia ser feito de duas maneiras, natural ou secagem utilizando equipamento estufa. Inicialmente, foi utilizado o processo de secagem pela estufa, mas o processo apresentou-se muito lento frente ao cronograma do trabalho e pela quantidade de lodo coletada iria levar muito tempo para secagem total. Assim, acabou-se optando pela secagem natural, onde o material foi colocado em uma piscina de lona (Figura 2), expondo o lodo totalmente ao sol, durante duas semanas.



**Figura 2:** Processo de preparação do lodo para secagem. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

Na Figura 3A é demonstrado o resultado da secagem após o período de 7 dias e na Figura 3B tem-se o resultado final da secagem no total de 14 dias, compreendendo um total de 8 kg.



**Figura 3:** Secagem do lodo após 7 dias ao sol (A); Secagem do lodo após 14 dias ao sol (B). Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

## 2.4 Moagem, Ensaios de Análise Granulométrica e Teor de Umidade do Lodo

No processo de moagem do lodo foi utilizado um triturador mecânico (Figura 4A), onde se pôde obter uma granulometria aproximada ao do agregado miúdo utilizado no concreto convencional (Figura 4B).



**Figura 4:** Processo de moagem do lodo. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

Logo após o processo de moagem do lodo, foi realizada a análise granulométrica do material, além da análise de determinação do teor de umidade após secagem de 14 dias ao sol e após moagem. Ambos processos e ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Civil das Faculdades Integradas Maria Imaculada. O ensaio de análise granulométrica foi realizado por ensaio de peneiramento conforme os procedimentos contidos na NBR 7181 (ABNT, 1984). Já a determinação de teor de umidade [%] foi realizado pelo método da Estufa NBR 6457 (ABNT, 1986).

## 2.5 Ensaio de Compressão do Lodo

O ensaio de compressão foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da própria instituição (Faculdades Integradas Maria Imaculada), utilizando uma prensa hidráulica para determinar a resistência dos corpos de prova utilizando o lodo da ETA.

Para o ensaio, foram confeccionados quatro corpos de prova para cada porcentagem de lodo moído (5%, 10%, 35% e 50%) (Figura 5/A/B/C/D) e quatro corpos de prova controle (sem adição de lodo), onde foram rompidos respectivamente um corpo de prova de cada porcentagem e um controle com 7 dias, um corpo de prova para cada porcentagem e um controle com 14 dias, e dois corpos de prova para cada porcentagem e dois controles com 28 dias. Ressalta-se que não foi realizado o ensaio em triplicata para os corpos de prova, pois a quantidade de lodo não era suficiente para isso.

Os ensaios foram realizados conforme os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2007) para Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.



**Figura 5: Detalhe dos corpos de prova na prensa hidráulica e suas respectivas porcentagens de lodo moído utilizadas no estudo. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.**

O slump (mm) utilizado foi de  $80 \pm 10$ , com resistência de 20 MPa. O traço utilizado nos corpos de prova foi o 1:3:3:0,5 (Cimento 2,55 kg, Areia 7,9 kg, Pedra 7,9 kg e Água 1,65 L). Basicamente não se tem diferença entre o concreto confeccionado na concreteira e o realizado pelo pedreiro e auxiliar de pedreiro, o que vai diferenciar é a mistura homogênea e também as medidas corretas do traço que são assegurados pela concreteira.

Para os traços feitos na obra deve-se ter uma fiscalização maior em relação não só a mistura do concreto quanto também à porção de cada material utilizado, pois isso pode causar grandes diferenças no produto final.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Análises Físico-Químicas e Biológicas da Água Bruta**

Inicialmente por meio de dados obtidos pela ETA analisada, percebeu-se que não foi constatada a presença de nenhuma substância em valores que de alguma forma impossibilite a utilização da fonte de água bruta para abastecimento urbano e consequentemente utilização como agregado miúdo no concreto.

Os dados seguem conforme Tabela 1, abaixo.

PARÂMETROS	CAS*	UNIDADE	LQ FAIXA**	Água Bruta Entrada da ETA
Decreto 8468/76 – Artigo 11 e CONAMA 375 Artigo 15 – Padrão para Água classe 2				
Alcalinidade Total (CaCO <sub>3</sub> )	-	mg/L	2	19
Acidez (CO <sub>2</sub> )	-	mg/L	2	2,2
Arsênio	7440-38-2	mg/L	0,01	< 0,01
Cádmio	7440-43-9	mg/L	0,001	< 0,001
Chumbo	7439-92-1	mg/L	0,001	< 0,01
Cloreto	16887-00-6	mg/L	2	4,96
Cianeto	57-12-5	mg/L	0,005	< 0,005
Coliformes totais	-	N MP/100ml	10	857
Escherichiacoli (Fecais)	-	N MP/100ml	10	148
Condutividade	-	µS/cm	0,1	62
Cor aparente	-	mg/L Pt	5	173
Cromo Total	7440-47-3	mg/L	0,01	< 0,01
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	-	mg/L	5	19
Ferro Total	7482-41-4	mg/L	0,01	1,81
Fluoreto	7782-41-4	mg/L	01	< 0,1
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,0001	0,0381
Nitrato	14797-55-8	mg/L	0,1	0,9
Nitrito	14797-65-0	mg/L	0,01	0,02
Nitrogênio Armonical (Com o N)	7664-41-7	mg/L	0,005	0,24
Ph (25°)	-	-	2 a 13	6,07
Sódio	7440-23	mg/L	0,5	4,5
Turbidez	-	NTU	0,1	22,9

\*CAS: Numero com registro único no banco de dados (Chemical Abstracts Service).

\*\*LQ Faixa: Limite de Quantificação (Corresponde ao Padrão de Calibração de Menor Concentração).

**Tabela 1: Análises físico-química e biológica da água bruta captada pela ETA. Fonte: Adaptado de ETA – Interior do Estado de São Paulo, 2016.**

### 3.2 Ensaios de Análise Granulométrica e Teor de Umidade do Lodo

Os ensaios realizados de granulometria e determinação de teor de umidade do lodo obtiveram valores que atendem às normas referentes ao uso de materiais na composição de concretos. Os valores são expressos nas Tabelas 2, 3 e 4. A utilização do lodo no concreto, se deu por meio da substituição parcial da areia pelo lodo, seguindo as porcentagens pré-definidas (5%, 10%, 35% e 50%).

Granulometria da Areia Grossa					
Massa da amostra total seca = 3982,5 g					
Peneiras		Material			
ASTM	ABNT (mm)	Inicial (g)	Retida (%)	Acumulado (%)	Passado (%)
3/8"	9,5	43,0	1,08	1,08	98,92
1/4"	6,3	-	-	-	-
Nº 4	4,76	91,0	2,28	3,36	96,64
Nº 8	2,4	202,0	5,07	8,44	91,56
Nº 10	2,0	81,0	2,03	10,47	89,53
Nº 16	1,2	0,0	0,0	10,47	89,53
Nº 30	0,6	1578,0	39,64	50,11	49,89
Nº 40	0,42	327,5	8,22	58,33	41,67
Nº 50	0,30	490,0	12,30	70,63	29,37
Nº 80	0,175	891,0	22,37	93,01	6,99
Nº 100	0,150	218,5	5,49	98,49	1,51
Nº 200	0,075	22,9	0,58	99,07	0,93

Diâmetro máximo = 9,5      Material Pulverulento: 0,93 %

**Tabela 2: Granulometria da Areia Grossa. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.**

#### Granulometria do Lodo

Massa da amostra total seca = 800 g

Peneiras		Material			
ASTM	ABNT (mm)	Inicial (g)	Retida (%)	Acumulado (%)	Passado (%)
3/8"	0,0	0,0	0,0	0,0	100
1/4"	6,3	-	-	-	-
Nº 4	4,76	0,0	0,0	0,0	100
Nº 8	2,4	54,5	6,8	6,81	93,19
Nº 10	2,0	42,5	5,31	12,13	87,88
Nº 16	1,2	0,0	0,0	12,13	87,88
Nº 30	0,6	421,0	52,63	64,75	35,25
Nº 40	0,42	51	6,38	71,13	28,88
Nº 50	0,30	55,0	6,88	78,00	22,00
Nº 80	0,175	0,0	0,0	78,00	22,22
Nº 100	0,150	98,5	12,31	909,31	9,69
Nº 200	0,075	45,0	5,63	95,94	4,06

Diâmetro máximo = 2,4

Material Pulverulento: 4,06 %

**Tabela 3: Granulometria do Lodo. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.**

Umidade do Lodo			
Cápsula (nº)	Massa Úmida (g)	Massa Seca (g)	Resultado em (%)
2	10,84	10,03	7,47
3	10,53	9,98	5,22
30	10,80	10,20	5,55

**Tabela 4: Umidade do Lodo utilizado para preparo do Concreto. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.**

No ensaio de granulometria, os resultados obtidos foram satisfatórios, conforme os descritos pela norma NBR 7217 (ABNT, 1987) para Agregados – Determinação da composição granulométrica, em que a dimensão máxima característica está dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma, que deve ser igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (Tabelas 2 e 3).

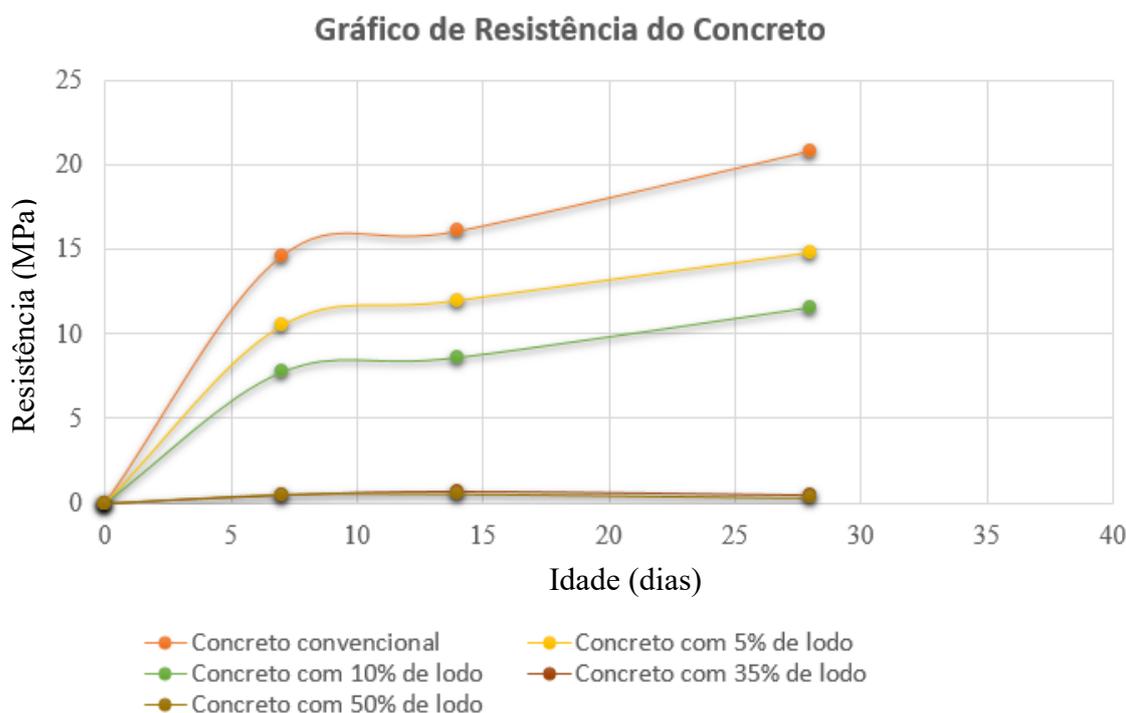
Dos resultados obtidos em teores de umidade do lodo utilizado para preparo do concreto, constatou-se que após realizado secagem natural, o material apresentava-se com baixa umidade, podendo ser caracterizado com uma média relativa de teor de umidade no lodo de 6,08% (Tabela 4), o que se adéqua aos valores de agregado miúdo usado em concreto.

### 3.3 Compressão dos Corpos de Prova

Nos ensaios de compressão, onde se utilizou porcentagens de lodo como substituição ao agregado miúdo (5%, 10%, 35%, 50%), sendo rompidos com 7, 14 e 28 dias respectivamente, todos imersos em água, os resultados foram satisfatórios quanto a pequenas dosagens de lodo como agregado miúdo.

Os corpos de prova com 5% de lodo apresentaram valores já esperados, conforme estudado na literatura. Notou-se que neste corpo de prova houve uma semelhança de comportamento referente ao aumento da curva de resistência comparado ao corpo de prova sem lodo (controle), porém o lodo mesmo em pequena quantidade já causa mudanças quanto a resistência do concreto, isso ocorre devido à absorção de água, ou seja, quanto mais lodo acrescentado, maior é a absorção de água. Essa relação água-cimento faz com que a resistência venha a cair drasticamente dependendo da situação, como podemos observar conforme aumentamos a porcentagem do lodo nos dados seguintes (Figura 6).

Os corpos de prova com 10% de lodo tiveram um decréscimo acentuado da resistência nos primeiros 7 dias, se comparado com o corpo de prova de 5%. No entanto, apesar do ocorrido, pode-se notar que não houve mudanças drásticas de valores, acompanhando a mesma curvatura de crescimento dos valores da curva dos corpos de prova controle e de 5% de lodo (Figura 6). A partir de 35% de lodo os valores de resistência caem drasticamente, como pode-se observar na curva da Figura 6, onde não ocorre aumento de resistência nos primeiros dias, ou seja, alcançou sua pouca resistência máxima já nos primeiros dias.



**Figura 6: Resistência do concreto à diferentes porcentagens do lodo. Fonte: Autores, 2016.**

Ressalta-se que devido à diferença de granulometria entre o lodo e o agregado miúdo convencional (areia) do concreto, a resistência diminui consideravelmente para os corpos de prova moldados com lodo. No entanto, como se trata de uma pesquisa ainda em desenvolvimento, essa constatação é válida para compor trabalhos futuros.

#### 4. Conclusão

A destinação final correta do lodo de ETA tem sido um grande desafio para as empresas de saneamento. Apesar das dificuldades, tais empresas estão em busca de alternativas econômicas, técnicas e viáveis para serem utilizadas e poder gerar algum lucro, além da redução de impactos ambientais que são tão associados a esse resíduo.

Assim, a utilização de lodo de ETA como agregado miúdo do concreto apresenta-se como uma proposta sustentável de disposição final desse material. Considerando que a área da construção civil é uma das que mais poluem o ambiente e que mais extraem recursos naturais do seu meio, o trabalho teve como intuito não somente analisar a viabilidade de utilização, mas também a possibilidade de reutilização de tal material agregando valores econômicos e ambientais ao resíduo.

Com esse estudo e seus resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os traços acima de 5% de lodo restringem a sua aplicação como agregado miúdo, pelo fato de não apresentar propriedades mecânicas para possíveis utilizações, sendo os valores inferiores a 15 MPa.
- Os traços com até 5% de lodo podem ser utilizados em determinadas obras que não solicite grandes esforços, como calçadas, blocos cerâmicos, certas fundações, lajes, dependendo das características e finalidade do projeto. Ressalta-se que as dosagens utilizadas devem ser refeitas e estudadas caso a caso, para cada aplicação prevista.
- A utilização do lodo como agregado parcial do concreto reduz o consumo de matérias primas naturais. Diminui de certa forma o lançamento desse material in natura nos rios ou aterros, diminuindo assim impactos ambientais.
- Não houve variações muito drásticas nos gráficos de resistência para corpos de prova com 5% e 10% de lodo, indicando que o lodo não apresenta matérias que reagem com o cimento.

O tempo limitado impossibilitou a análise mais detalhada em laboratórios especializados, o que poderia trazer informações mais precisas, ajudando assim a propor maneiras de melhoramento da resistência do concreto, assim como verificar se tal material reage com a ferragem do concreto armado, o que traria mais possibilidades na utilização do lodo. Deixa-se então essas possibilidades e estudos como sugestões futuras de estudo. Logo, o estudo realizado mostra-se ter um futuro altamente promissor no ramo da Construção Civil, necessitando, é claro, de estudos mais aprofundados no tema.

## Referências

- AMBROZEWICZ, P. H. L. Materiais de Construção. 1. ed. São Paulo: Pini, 2012.
- ANDREOLI, C, V. et al. Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgoto Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólido Urbano. 2001. PROSAB, Curitiba-PR, 200q.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de Solos: Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – Concreto: Ensaio de Compressão de corpos-de-prova Cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 5. ed. Uberlândia-MG: LTC, 2000. 471 p.
- BRASIL. Decreto N° 8468 de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do

meio ambiente. 1976. Disponível em:

<<https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf> > Acesso em: 28 Nov. 2018.

BRASIL. Lei Federal N° 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. 2007 Disponível em: <<http://www.leidireto.com.br/lei-11445.html/>. > Acesso em: 15 Abr. 2016.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N° 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf> > Acesso em: 15 Dez. 2018.

COSTA, Á. J. C. Análise de viabilidade da utilização do lodo de ETA coagulado com cloreto Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas- Estudo de caso na ETA do município de Mirassol- SP. 2011. 152 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2 ed. São Paulo: RiMa, 2005.

FLORENÇANO, J. C. S. Saneamento Básico. Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água. Eng° Civil e Sanitarista José Carlos S. Florençano. Professor Assistente Doutor. Material Didático. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Civil, Ambiental e Sanitária. 2011.

GOMES, H. P. Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento economic e operação de redes e elevatórias. João Pessoa – PB. 2ª Edição. 242 p. Editora Universitária, UFPB. 2004.

MACHADO, A, O.; ARAÚJO, J, A.; Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostospor Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil. SEGeT 2014 (XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia.2014.

MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. (2005) Proposta de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. In: 23° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SÁNITARIA E AMBIENTAL. Anais... Campo Grande-MS.

MESSIAS, T. G. Avaliação ecotoxicológica de lodo gerado por estações de tratamento de água. 2013. Tese (Doutora em Programação de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SIDERI, R. J. V. Relatório de Estagio Curricular. Faculdades Integradas Maria Imaculada. Curso de Engenharia Civil, Mogi Guaçu, 2015.

TAKADA, C. R. S. et al. Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água no Município de Palmas- TO. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 2, p. 157 – 165, dec. mar/abr. 2013.

VALVERDE, F. M. Agregados para Construção Civil. Balanço Mineral Brasileiro. São Paulo, p. 15, de c. 2001.

## **Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos**

### **Generation of Energy from Urban Solid Waste**

**Anny Key de Souza Mendonça, Doutora em Engenharia de Produção, PPGEP/UFSC**

anny.mendonca@posgrad.ufsc.br

**Antonio Cezar Bornia, Doutor em Engenharia de Produção, PPGEP/UFSC**

cezar.bornia@gmail.com

#### **Resumo**

A geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos recebeu um impulso com a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei nº 12.305/2010, que permite o uso de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos. Questões ambientais devem ser consideradas no planejamento do sistema de coleta dos resíduos sólidos urbanos, pois encontrar soluções ambientalmente seguras, socialmente adequadas e economicamente viável e eficientes é um desafio. A geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos já é uma realidade no Brasil, embora ainda pouco representativa. Esta pesquisa tem como objetivo levantar o potencial das usinas de geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos, e das políticas públicas voltadas ao desenvolvimento da geração de energia elétrica com resíduos. Espera-se que esta pesquisa incentive a iniciativa privada a investir em projetos para tratar os resíduos sólidos urbanos e transformá-los em recursos energéticos.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Urbanos; Geração de Energia elétrica; Políticas Públicas

#### **Abstract**

*The generation of energy from municipal solid waste was boosted by the implementation of the National Solid Waste Policy, through Law 12305/2010, which allows the use of technologies to recover energy from waste. Environmental issues should be considered in planning the solid waste collection system, as finding environmentally safe, socially adequate and economically viable and efficient solutions is a challenge. The generation of energy from municipal solid waste is already a reality in Brazil, although still not very representative. This research aims to raise the potential of electric power generation plants with urban solid waste, and public policies aimed at the development of electric power generation with waste. It is hoped that this research will encourage private initiative to invest in projects to treat solid urban waste and turn them into energy resources.*

**Keywords:** *Urban Solid Waste; Electricity Generation; Public Policies*

## 1. Introdução

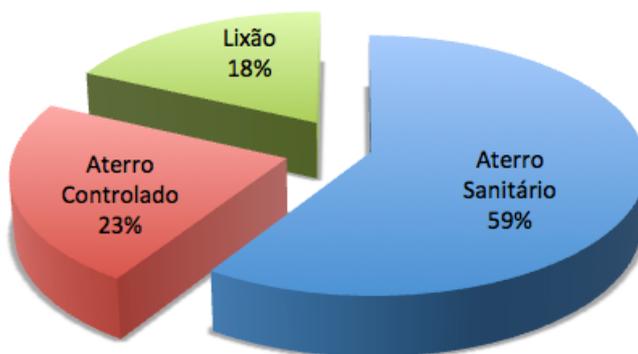
Nas últimas décadas verificou-se um aumento acentuado da população mundial, com um processo rápido de urbanização das cidades. De acordo com a FAO (2018), a população mundial em 1980 era de 4,4 bilhões de habitantes, já em 2017 a população representava o montante de 7,4 bilhões, com previsão de alcançar a marca de 9,3 bilhões de habitantes em 2050.

No Brasil, o aumento da população também foi fortemente observado. De acordo com o IBGE (2018), a população brasileira era de 119 milhões de habitantes na década de 1980, e em 2017 alcançou o montante de 207 milhões.

Com um crescimento populacional em torno de 0,75% entre 2016 e 2017 (ABRELPE, 2018), somados ao aumento nos padrões de consumo ocorridos nos últimos anos, verificou-se um aumento de consumo de bens e conseqüentemente a um aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Todo resíduo sólido produzido, precisa ser gerenciado de forma adequada para não causar poluição ambiental e danos à saúde da população.

Em 2017, o país produziu aproximadamente 214.9 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, o equivalente a 377, 77 kg por habitante ano, representando um aumento de 1% em relação a 2016. Deste total, 59% de resíduos sólidos urbanos foram encaminhados para aterros sanitários, sendo que mais de 40% foram destinados a locais inapropriados como lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2018).

No Brasil a legislação que trata dos RSU é a Lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS no seu artigo 9º estabelece que na gestão e gerenciamentos de resíduos sólidos, devem ser observadas as seguintes exigências: não geração de resíduos, sua redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e a disposição final dos rejeitos em locais ambientalmente adequados e no mesmo artigo, inciso § 1º, é previsto a utilização de tecnologias visando a recuperação energética dos resíduos (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que a disposição final dos resíduos sólidos é estabelecida por lei e que deveriam estar implantados em todas as cidades no território nacional no final de 2014, sob pena de aplicação da Lei 9.605/98 de Crimes Ambientais, regulamentada pelo Decreto nº 6.514/08. No entanto, tendo em vista o grande percentual de inadequação de resíduos sólidos em lixões e aterro controlado como mostra a Figura 1, o Brasil tem ainda um grande desafio a superar.



**Figura 1. Panorama da disposição final dos resíduos sólidos por tipo de destinação em tonelada por ano. Fonte: (ABRALPE, 2018).**

A geração de resíduos sólidos e sua destinação são intrínsecos ao crescimento populacional, produzem emissões de gases que provocam o efeito estufa, e agravam as mudanças climáticas. De acordo com Brasil (2010), Resíduos sólidos urbanos são classificados como resíduos domésticos gerados em áreas urbanas.

Com o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, a vida útil dos aterros sanitários, tem diminuído e provocado maiores impactos ambientais (Rocha, 2012).

Os resíduos sólidos urbanos são ricos em matéria orgânica, e de acordo com Murara (2016), cerca de 50 à 60% destes resíduos ofereceriam oportunidades na geração de energia elétrica por meio da bioenergia e ou compostagem, em vez da solução normalmente verificada, que é a disposição em aterros sanitários. Porque, não aproveitar os resíduos sólidos urbanos para gerar energia elétrica?

Nesse contexto, esta pesquisa busca investigar as políticas públicas para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e levantar o potencial energético a partir destes resíduos já em desenvolvimento no Brasil.

## 2. Metodologia

Esta pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa bibliográfica e documental, porque as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa são provenientes da literatura científica e técnica disponíveis em materiais públicos como artigos, manuais, livros, na Constituição Federal e legislação complementar. Também pode ser considerado como experimental, pois consiste em determinar um objeto de estudo, que segundo Gil (2002), visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito. Esta pesquisa envolveu análise de dados secundários. A partir do levantamento de dados do potencial energético brasileiro de resíduos sólidos urbanos coletados no Banco de informações de geração – BIG<sup>1</sup> da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e de políticas públicas de resíduos sólidos para o aproveitamento energético disponíveis em relatório governamentais e materiais constitucionais e legais, analisa-se a evolução da geração de energia a partir de resíduos sólidos, e adota como critério de análise o método qualitativo. Inicialmente foram definidas as palavras chaves a ser utilizada na busca na base de dados, sendo eles: Resíduos Sólidos Urbanos, Geração de Energia elétrica, Políticas Públicas. Foi utilizado o portal de periódicos da Capes, a *Web of Science*, por ser uma base de dados multidisciplinar e indexar os periódicos mais citados em suas respectivas áreas, bem como a plataforma Google, e o site da Agência Nacional de Energia Elétrica, e do Ministério do Meio Ambiente.

## 3. Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos são definidos com material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, nos estados sólido ou semissólido, (BRASIL, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da Norma Brasileira n. 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são definidos como aqueles nos

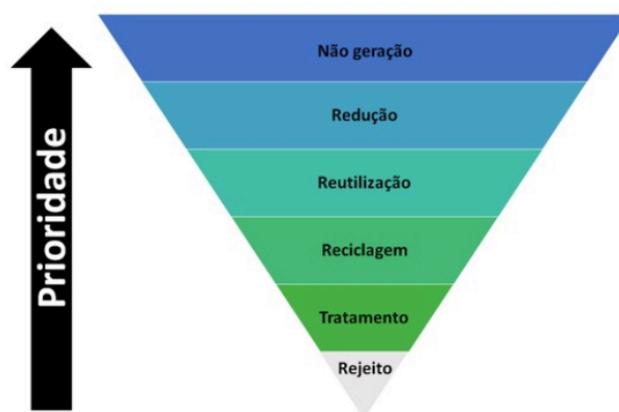
---

<sup>1</sup> BIG - Banco de Informações de Geração  
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

estados sólido e semissólido, resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. De acordo com a NBR 10.004, os resíduos sólidos dividem-se em três grupos, descritos a seguir:

- Resíduos Classe I (Perigosos): são aqueles resíduos ou mistura que apresentam risco à saúde pública e ou, ao meio ambiente, possuindo características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, ou patogenicidade.
- Resíduos Classe II A (Não perigosos e não inertes) – são resíduos que não apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, entretanto, podem apresentar propriedade de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, existindo a possibilidade de haver reação com o meio ambiente, e possíveis riscos de poluição.
- Resíduos Classe II B (Não perigoso e inerte) – são resíduos que não tem constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água.

Seguindo um conceito definido na década de 1990 pelo programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA<sup>2</sup>), que consiste na aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada para processos, produtos e serviços para aumentar sua eficiência, principalmente em relação a geração de resíduos, um dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos consiste em incentivar a gestão de resíduos sólidos, observada a seguinte priorização:



**Figura 2. Prioridades na gestão de resíduos sólidos. Fonte: (FGV, 2015).**

- Não geração: realizar a atividade produtiva sem que ocorram perdas ao longo do processo e demais atividades que o suportam.
- Reduzir: buscar a otimização e maximização da eficiência de processo quanto ao uso de maquinário, matérias primas, desenvolvimento de novas tecnologias, de forma a gerar a menor quantidade possível de resíduos.
- Reutilizar: identificar e buscar alternativas para viabilizar técnica e economicamente o uso de refugos e perdas no próprio processo ou em outro, tanto do ponto de vista mássico quanto energético.

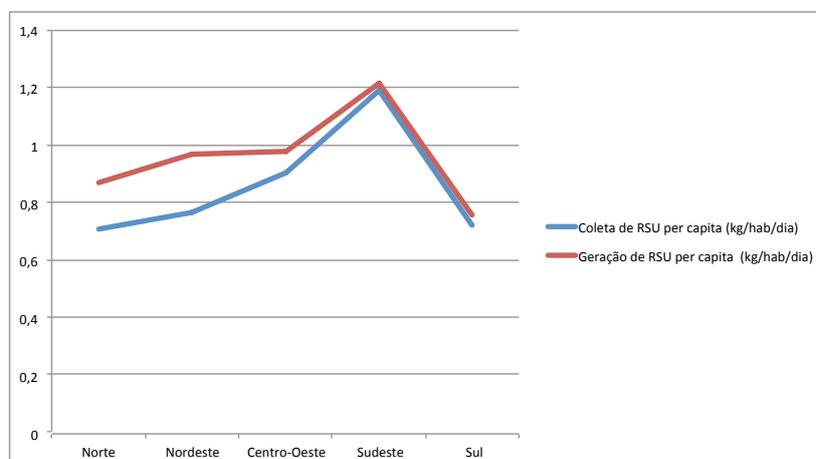
<sup>2</sup> Programa das Nações Unidas voltado à proteção do meio ambiente e à promoção do desenvolvimento sustentável

- **Reciclar:** identificar, buscar alternativas para viabilizar técnica e economicamente o tratamento de refugos, perdas em processos, embalagens, transformando-os em insumos ou novos produtos.
- **Outros tratamentos:** aplicação de técnicas, tais como: compostagem, recuperação, aproveitamento energético, entre outras admitidas pelos órgãos competentes.
- **Disposição final ambientalmente adequada:** destinação de rejeitos em aterro, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Embora o Brasil tenha vários marcos legais para incentivar a disposição final de resíduos sólidos em locais adequados, segundo a ABRELPE (2018) 29,6 % dos resíduos sólidos produzidos no Brasil não foram coletados em 2018. Os resíduos não coletados, certamente tiveram uma destinação final inadequada, como por exemplo, serem queimados, encaminhados a aterros controlados, lixões ou encaminhados à terrenos baldios. Entretanto, os 70,4 % dos municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil, não se pode dizer que os resíduos coletados tiveram uma destinação adequada, pois 40,9 % desses resíduos ainda tem uma destinação inadequada (lixões e aterros controlados).

Os lixões são a maneira mais inadequada de todos os meios possíveis para disposição final de resíduos sólidos, e infelizmente, muito comum. Esses espaços funcionam como depósitos de resíduos sólidos, sem que seja feita coleta seletiva ou um preparo adequado, os resíduos são simplesmente jogados em grandes terrenos a céu aberto. Outras formas de descarte de resíduos sólidos autorizados pelo governo, são os aterros sanitários, aterros controlados e a incineração. Os aterros controlados podem ser classificados como uma categoria intermediária entre lixões e aterros sanitários, apresentando uma qualidade inferior ao aterro sanitário, podendo contaminar o meio ambiente. A incineração, é o processo de queima de resíduos sólidos em usinas, pode representar uma solução para diminuir o volume de lixo, mas há o enorme risco de poluição do ar com a emissão de gases tóxicos. Nos aterros sanitários, a princípio, há normas a serem seguidas para que haja menos danos ao meio ambiente. Geralmente, são construídos em locais mais afastados das cidades, para que haja maior cuidado com os riscos de poluição.

Estes cenários trazem consequências ambientais como a poluição do ar, do solo e dos recursos hídricos, afetando a saúde da população. A Figura 3 apresenta o volume de geração e coleta dos resíduos sólidos por região do país.

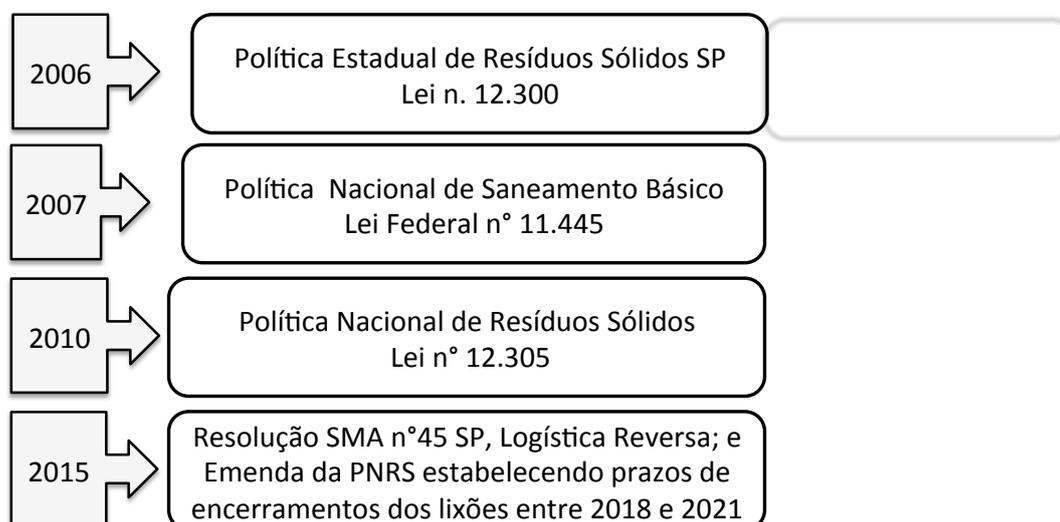


**Figura 3. Volume da geração e coleta dos resíduos sólidos por região no país. Fonte: Adaptado de (ABRALPE, 2018).**

A geração per capita de resíduos sólidos, esta associado a quantidade de resíduos gerado por habitante (quilogramas por habitante por dia). Observa-se que a geração é mais representativa que a coleta dos resíduos. Somente nas regiões Sudeste e Sul do país, a geração e a coleta de resíduos são próximos.

#### 4. Política Nacional de Resíduos Sólidos

Os aspectos relacionados a estrutura, que reúne um conjunto significativos de marcos legais - normas, leis, práticas e iniciativas locais de limpeza urbana, principalmente da gestão dos resíduos sólidos no Brasil, são definidos na Política Nacional de Saneamento Básico, e na Lei nº 11.445, de 2007, onde os resíduos sólidos devem integrar os planos municipais de saneamento (PNSB), na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Lei nº 12.305, de 2010. Os principais marcos legais para gestão de resíduos sólidos são apresentados na Figura 4.



**Figura 4. Marcos legais para a gestão de RSU. Fonte: Elaborado pelos autores**

A principal lei é a Lei n. 12.305/2010, que estabelece uma série de instrumentos voltados à obtenção dos objetivos nela determinados, dentre os quais Édís Milaré (2011) destaca os Planos de Resíduos Sólidos, conforme apresentado no Tabela 1:

**Tabela 1 – Planos de resíduos sólidos urbanos.**

PLANOS	CARACTERÍSTICAS
Plano Nacional de Resíduos Sólidos;	- elaborado pela União sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente; - vigência: prazo indeterminado; - atualização: a cada 4 (quatro) anos.
Planos Estaduais de Resíduos Sólidos	- gestão no espaço territorial de cada Estado; - vigência: prazo indeterminado; - atualização: a cada 4 (quatro) anos.
Planos Microrregionais de Resíduos Sólidos e os Planos de Resíduos Sólidos de	- elaboração e implementação pelos Estados com a participação obrigatória dos Municípios; - estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e a

Regiões Metropolitanas ou Aglomerações Urbanas	reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos.
Planos Intermunicipais de Resíduos Sólidos	- consórcio entre municípios para gestão dos resíduos sólidos;
Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	- atualização: concomitante com a elaboração dos planos plurianuais municipais; - pode ser inserido no plano de saneamento básico; - condição necessária para o Distrito Federal e os municípios terem acesso aos recursos da União;
Planos de gerenciamento de resíduos sólidos	- ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada.

**Fonte: Adaptado de MILARÉ (2011).**

## 5. Resultados e Discussões

A disposição final dos resíduos sólidos no mundo, tem se apresentado de forma diferenciada. Nos países mais desenvolvidos como Estados Unidos, Japão e grande parte da União Europeia, o gerenciamento dos resíduos sólidos estão muito à frente, quando comparados com países em desenvolvimento.

De acordo com Abralpe (2011, p.16), nestes países a gestão dos resíduos sólidos envolvem três fases como apresentado a seguir:

- Na primeira fase, ocorreu na década de 60 onde os lixões existentes foram transformados em aterros sanitários e uma grande parte dos resíduos passou a ser incinerados. No entanto, como não existia política para restringir à geração de resíduos, ocorreu um crescimento expressivo no seu volume.
- Na segunda fase em meados de 1970, foram criadas metas prioritárias para a reutilização e reciclagem dos matérias. Com a exploração da reciclagem, o consumo dos recursos naturais e o volume dos resíduos a serem dispostos, apresentou um crescimento mais lento. Já no final da década de 80, novas prioridades em relação à gestão de resíduos sólidos foram estabelecidas, e surgiu a classificação dos três R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar), que vigora hoje no Brasil.
- Na terceira fase, os países mais desenvolvidos buscam a redução do volume de resíduos no início do processo produtivo, até mesmo nos projetos de bens de forma a simplificar a reutilização e a reciclagem. As principais diretrizes a seguir são: evitar ou, nos casos em que não for possível, diminuir a geração de resíduos; reutilizar ou, quando não for possível, reciclar resíduos; utilizar a energia contida nos resíduos; e tornar inertes os resíduos antes da disposição final.

Na Tabela 2 e na Figura 5, são apresentados os principais equipamentos utilizados em uma usina de recuperação energética instalada na União Europeia, bem como o diagrama esquemático dos fornecedores de resíduos sólidos para fornecedores de energia.

**Tabela 2. Principais equipamentos de uma usina de recuperação energética instalada na Europa.**

Equipamentos		Equipamentos	
1	Local de Recebimento de RSU	16	Transportador de Cinzas de Caldeira
2	Poço de Armazenamento de RSU	17	Reator de Tratamento de Gases de Combustão
3	Ponte Rolante de RSU	18	Transportador de Resíduos do Tratamento de Gases de Combustão
4	Moega de Alimentação	19	Silo de Cinzas de Caldeira e Resíduos do Tratamento de Gases de Combustão
5	Alimentador da Grelha	20	Estação de Carregamento de Cinzas e Resíduos
6	Grelha de Incineração	21	Ensacamento de Cinzas e Resíduos
7	Fornalha	22	Lavador de Gases
8	Transportador / Peneira de Cinzas	23	Filtro de Mangas
9	Extrator de Cinzas de Fundo	24	Ventilador de Tiragem Induzida
10	Peneira Vibratória	25	Chaminé
11	Talha de Cinzas de Fundo	26	Aerocondensador
12	Poço de Armazenamento Auxiliar	27	Tanque de Água de Alimentação
13	Ar de Combustão Primário	28	Planta de Tratamento de Água (Desmineralização)
14	Ar de Combustão Secundário + Sistema de Abatimento de NOx	29	Turbina / Gerador
15	Caldeira de Recuperação de Calor	30	Sala de Controle

Fonte: (ABRALPE, 2011, p.15).



**Figura 5. Diagrama esquemático de uma usina de recuperação energética Europeia. Fonte: (ABRALPE, 2011, p.15).**

Nos países em desenvolvimento, como por exemplo os da América Latina, a gestão de resíduos sólidos encontram-se em posições intermediárias, entre a primeira e a segunda fase dos verificados nos países mais desenvolvidos. Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/10, o Brasil está enfrentado um desafio quando nos referimos a adequada destinação final dos resíduos sólidos, de forma a seguir a tendência mundial.

O Brasil possui 7.142 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, totalizando 168.764.760 kW de capacidade instalada. Sendo que a geração de energia elétrica por meio da bioenergia representa 8.695 KW de capacidade instalada (ANEEL, 2018). A bioenergia para geração de energia elétrica, pode ser utilizada de diferentes maneiras. Hoogwijk et al., (2003), classificam bioenergia em resíduos:

- primários - aqueles produzidos na agricultura e silvicultura;
- secundários - os resíduos gerados durante o processo produtivo, indústrias de alimentos, bebidas, papéis e etc.;
- terciários – por meio de resíduos resultantes dos pós-uso dos resíduos secundários e correspondem a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

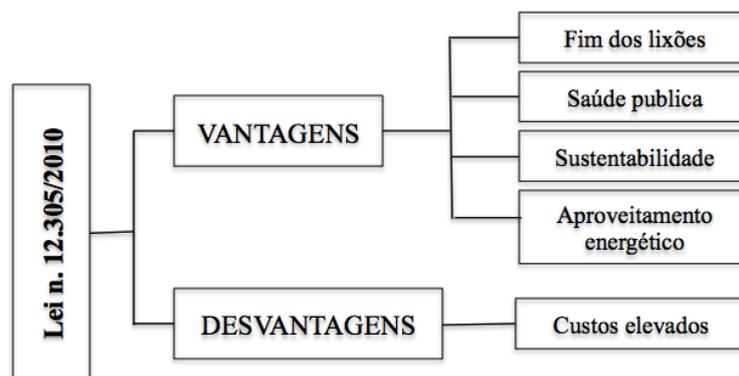
Os resíduos sólidos urbanos representam na matriz energética brasileira 133.397 KW de potência total provenientes de 20 usinas. A Tabela 3, apresenta as usinas de geração de energia com resíduos sólidos urbanos em operação no Brasil.

**Tabela 3. Usinas de geração de energia em operação com resíduos sólidos urbanos no Brasil.**

Usina	Data operação	Potência total (KW)	Proprietário	Município/UF
Energ-Biog	18-12-2002	0.30	Biomass Users Network do Brasil	Barueri –SP
São João Biogás	27-03-2008	21.560	São João Energia Ambiental S.A	São Paulo – SP
Asja BH	01-08-2008	1.424	Raízen Energia S.A	Mirandópolis-SP
Arrudas	16-12-2009	2.400	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	Belo Horizonte - MG
Salvador	22-12-2010	19.730	Termoverde Salvador S.A	Salvador - BA
Ambient	14-03-2011	1.500	Ambient Serviços Ambientais de Ribeirão Preto S.A	Ribeirão Preto - SP
Uberlândia	01-12-2011	2.852	Energas Geração de Energia Ltda	Uberlândia-MG
Itajaí Biogás	01-02-2013	1.065	Itajaí Biogás e Energia S.A.	Itajaí –SC
Centro Tec. Usinaverde	06-05-2013	0.440	Usinaverde S.A.	Rio de Janeiro - RJ
CTR Juiz de Fora	01-08-2013	4.278	Valorgas - Energia e Biogas LTDA	Juiz de Fora - MG
Guatapar	29-08-2014	5.704	Guatapar Energia S.A.	Guatapar – SP
Bandeirantes	03-11-2014	4.624	Biogas Energia Ambiental S.A	São Paulo – SP
Biotérmica Recreio	24-06-2015	8.556	Biotérmica Energia S.A	Minas do Leão - RS
Tecipar	30-10-2015	4.278	Tecipar Engenharia e Meio Ambiente LTDA	Santana de Parnaíba - SP
Curitiba Energia	11-01-2016	8.556	Curitiba Energia Spe Ltda	Fazenda Rio Grande - PR
Termoverde Caieiras	15-07-2016	29.547	Termoverde Caieiras Ltda	Caieiras - SP
Asja Sabará	30-06-2017	5.704	ASJA Sabara Serviços Para O Meio Ambiente S/A	Sabará - MG
Tremembé	15-05-2018	4.278	SPE Tremembe Energia Ltda	Tremembé - SP
PCT Barueri Biogás	-	2.601	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo	Carapicuíba - SP
Novagerar	-	4.000	Novagerar Eco-Energia Ltda	Nova Iguaçu - RJ
<b>Total</b>		<b>133.397</b>		

**Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018).**

A Lei nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, procura organizar a forma com que o país lida com o lixo e exige dos setores públicos e privados transparência no gerenciamento de seus resíduos. Alguns dos objetivos da PNRS é o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluindo a recuperação e o aproveitamento energético. A Figura 6, apresenta algumas considerações em relação a implementação da PNRS.



**Figura 6. Lei 12.350/2010 – Considerações sobre a implantação da PNRS. Fonte: Elaborado pelos autores**

O PNRS, tem informações importantes para permitir o avanço necessário no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, possui instruções para estimular na população consumidora, bem como nas empresas, uma diminuição do consumo de matérias-primas e uma consciência mais sustentável. Verificou-se também, medidas seguras e padronizadas dentro do processo de recolhimento e reciclagem de lixo, não havendo necessidade da presença de pessoas nos lixões, reduzindo o risco de contaminações.

Estimulados pelo PNRS, alguns estados brasileiros criaram suas políticas independentes. Os respectivos plano estadual de resíduos sólidos e as datas da publicação são apresentados no Tabela 4.

**Tabela 4 - Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos.**

Região	Estado	Plano Estadual de Resíduos Sólidos	ANO
Região Norte	ACRE	PEGIRS/AC	2012
Região Nordeste	Rio Grande do Norte	PEGIRS/RN	2012
	Pernambuco	PERS/PE	2012
	Maranhão	PEGRS/MA	2012
Região Sudeste	Rio de Janeiro	PERS/RJ	2013
	São Paulo	PERS/SP	2014
Região Centro Oeste	Goiás	PERS/GO	2017
Região Sul	Santa Catarina	PERS/SC	2014
	Rio Grande do Sul	PERS/RS	2014
	Paraná	PEGIRSU/PR	2013

**Fonte: Elaborado pelos autores.**

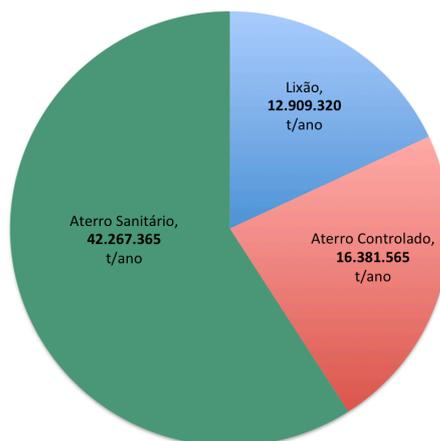
Os estados que não estão classificados na Tabela 4, não possuem política estadual de resíduos sólidos. A Política Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo - PERS/SP, é anterior à PNRS nacional, tendo sido instituída pela Lei Estadual n. 12.300, de 16 de março de 2006, e regulamentada pelo Decreto Estadual n. 54.645 de 5 agosto de 2009, a partir de um processo que se iniciou em 1998. O processo de validação do documento pela sociedade foi feito por consultas e audiências públicas em 2014 (PERS/SP, 2014). Na Tabela 5, é apresentada a quantidade de municípios por estados brasileiros com algum tipo de disposição final de resíduos sólidos adotada.

**Tabela 5. Panorama da quantidade de municípios por tipo de disposição final de resíduos sólidos.**

Disposição Final	Total Brasil 2017	Regiões Brasileiras				
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Aterro Sanitário	2.218	90	449	159	817	703
Aterro Controlado	1.742	108	484	159	634	357
Lixão	1.610	252	861	149	217	131
Brasil	5.570	450	1.794	467	1.668	1.191

Fonte: Adaptado da (ABRELPE, 2018).

Observa-se na Tabela 5, que o Nordeste é a região com maior número de municípios com disposição final de resíduos sólidos, seguido pela região Sudeste com 1.668 municípios e pelo Sul com 1.191. No entanto, note que no Nordeste, em 861 municípios o destino dos resíduos são os lixões (destinos inadequados), já no Sudeste e Sul do país, 817 e 703 municípios respectivamente o destino dos resíduos são os Aterros Sanitários. A disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é apresentada na Figura 7.



**Figura 7. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.**

Fonte: (ABRELPE, 2018)

Note que mais de 29 mil toneladas por ano de resíduos sólidos tem como disposição final lixões e aterros controlados, representando destino final inadequado.

Um importante instrumento que poderia diminuir os resíduos depositados em locais inadequados é o Sistema Integrado de Bolsa de Resíduos (SIBR). O SIBR é a união de

diversas bolsas de resíduos existentes no Brasil em um único sistema virtual. O Sistema Integrado é patrocinado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) que tem como meta a viabilidade do instrumento em escala regional e a sua expansão para outros estados do país. A bolsa de resíduos, tem como objetivo a negociação de resíduos entre indústrias, por meio de compra, venda, troca ou doação, visando agregar valores aos resíduos transformando-os em matéria-prima ou insumo na fabricação de produtos. Empresas instaladas no país ou de outros países, podem participar do programa bolsa de resíduos, desde que possua representante autorizado (BOLSA DE RESÍDUOS, 2012). No Tabela 6 é apresentado algumas bolsas de resíduos em funcionamento no Brasil.

**Tabela 6. Bolsas de Resíduos.**

Bolsa de Resíduos	Empresas cadastradas	Início de funcionamento	Estado	Endereço eletrônico
SIBR - Sistema Integrado de Bolsa de Resíduos	7.234	-	Confederação Nacional da Indústria (CNI) e das Federações das Indústrias da Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco e Sergipe.	<a href="http://www.sibr.com.br/sibr/index_bolsa.jsp">http://www.sibr.com.br/sibr/index_bolsa.jsp</a>
BRFIESC - Bolsa de Resíduos do Sistema FIESC	2.107	2004	Bolsa de Resíduos do Sistema FIESC, Santa Catarina	<a href="http://brfiesc.com.br/bolsa-de-residuos/o-que-e-a-brfiesc">http://brfiesc.com.br/bolsa-de-residuos/o-que-e-a-brfiesc</a>
FIRJAN – Bolsa de Resíduos	-	-	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	<a href="https://bolsaderesiduos.firjan.com.br">https://bolsaderesiduos.firjan.com.br</a>
FIESP - Bolsa de Resíduos, Negócio e Meio Ambiente	-	2002	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, São Paulo	<a href="https://apps.fiesp.com.br/bolsa/index2.asp">https://apps.fiesp.com.br/bolsa/index2.asp</a>
FIEMS – Bolsa de Resíduos	-	-	Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul	<a href="http://www2.fiems.com.br/bolsaderesiduos">http://www2.fiems.com.br/bolsaderesiduos</a>
FIERGS - Bolsa de Resíduos	-	2017	Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul	<a href="https://www.fiergs.org.br/pt-br/tags/bolsa-de-recicláveis">https://www.fiergs.org.br/pt-br/tags/bolsa-de-recicláveis</a>
FIEC – Bolsa de Resíduos e Negócios	-	2001	Mantido pelo Instituto Euvaldo Lodi - Ceará (IEL/CE)	<a href="http://www.sfiec.org.br/bolsaresiduos">http://www.sfiec.org.br/bolsaresiduos</a>

**Fonte: Elaborado pelos autores.**

## 6. Considerações Finais

A geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos vem desempenhando-se como uma alternativa viável, ao desenvolvimento sustentável por meio de iniciativas tecnológicas de alguns estados brasileiros. Com uma prática adequada, todos os estados poderiam aproveitar este recurso em abundância para gerar eletricidade. A implantação de aterros sanitários adequados, estações de triagem, coleta seletiva, incineradores, e incentivos governamentais, incentivariam a iniciativa pública e privada a investir em projetos para o desenvolvimento dessa fonte. O desenvolvimento energético dos resíduos sólidos urbanos podem trazer inúmeros benefícios aos estados e a população em geral como, geração de emprego, substituição de combustíveis fósseis, mitigação de gases que provocam as mudanças climáticas, adequado sistema sanitário e o uso de transferência de tecnologia.

## Referências

- ABRELPE. Recuperação energética – Transformando lixo em energia. ABRELPE e PLASTIVIDA – Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos, São Paulo, 2011, p. 15.
- ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. ABRELPE, São Paulo, 2018.
- ANEEL. Capacidade de Geração do Brasil. Technical report, Aneel, Brasil, 2018. Disponível: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>
- BRASIL. Lei No 12.305, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial** da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2010.
- BRFIESC. Bolsa de Resíduos da FIESC. Disponível em: < BRFIESC - Bolsa de Resíduos do Sistema FIESC>. Acesso em julho de 2018.
- FAO. Annual population. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>>. Acesso em julho de 2018.
- FGV. Política Nacional e Gestão Municipal de Resíduos Sólidos. 2015. Disponível em:< [https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/miolo\\_residuos\\_solidos\\_site.pdf](https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/miolo_residuos_solidos_site.pdf)>. Acesso em Julho de 2018.
- FIEC. Bolsa de Resíduos e Negócio. Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC. Disponível em < <http://www.sfiec.org.br/bolsaresiduos> >. Acesso em julho de 2018.
- FIEMS. Bolsa de Resíduos. Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso do Sul. Disponível em: < <http://www2.fiems.com.br/bolsaderesiduos>>. Acesso em julho de 2018.
- FIERGS. Bolsas de Resíduos abrangem federações. Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul. Disponível em: < <https://www.fiergs.org.br/pt-br/tags/bolsa-de-recicláveis>>. Acesso em Julho de 2018.
- FIRJAN. Bolsa de Resíduos – Bons Negócios para a Industria. Disponível em: <<https://bolsaderesiduos.firjan.com.br>>. Acesso em julho de 2018.
- FIESP. Bolsa de Resíduos, Negócios e Meio Ambiente. Disponível em: <<https://apps.fiesp.com.br/bolsa/index2.asp>>. Acesso em julho de 2018.
- Gil, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- HOOGWIJK, M.; FAAIJ, A. VAN DEN BROEK, R.; BERNDES, G. Exploration of the ranges of the global potencial of biomass for energy. Biomass and Bioenergy, v. 25, p. 119- 133, 2003.
- IBGE. População. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. < <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=população&searchphrase=all>>. Acesso em julho de 2018.
- International Energy Agency (IEA). Key World Energy Statistics 2016. Paris, France: IEA PUBLICATIONS, 2016. Disponível em: < <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>>. Acesso acessado em outubro de 2018.
- MURARA. Biomassa contida nos resíduos sólidos urbanos. MURARA, Assessorial Industrial e Florestal, 2016.
- PERS/SP. Plano de resíduos sólidos do Estado de São Paulo. Secretária de Estado do Meio Ambiente. 1 edição, São Paulo, 2014. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Regionalizacao/Est\\_Regionalizacao%20SP%202014out\\_parte\\_001.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Regionalizacao/Est_Regionalizacao%20SP%202014out_parte_001.pdf)
- Rocha, D. L. Uma análise da coleta seletiva em Teixeira de Freitas - Bahia. Revista Caminhos de Geografia, 2012, p. 140-155.
- SIBR. Sistema Integrado de Bolsa de Resíduos. Disponível em: < [http://www.sibr.com.br/sibr/index\\_cni.jsp](http://www.sibr.com.br/sibr/index_cni.jsp)>. Acesso em julho

## **Uma comparação entre bioconstrução e construção tradicional: análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental**

### ***A comparison between bioconstruction and traditional construction: analysis of technical, economic and environmental feasibility***

**Jamyly Ludimily Amorim Mello, Engenheira Civil e Engenheira de Avaliações e Perícias Judiciais.**

jamyly.ludimily@gmail.com

**Larissa Moraes Vieira, titulação, Engenheira Civil.**

englarissavieira@gmail.com

**Paula Fernanda Scovino de C. R. Gitahy, MSc., PPGEM.**

scovino2002@yahoo.com

#### **Resumo**

Os princípios da sustentabilidade estão cada vez mais presentes na sociedade. Na construção civil torna-se comum a busca de edificações sustentáveis que relacionam o equilíbrio entre as atividades humanas, a economia e o meio ambiente. A eficiência energética nesse setor necessita ser notada, desde a etapa de planejamento até a de construção e também garantir que, durante a vida útil dessa edificação, ela tenha um consumo eficiente. Nas últimas décadas, estudos e desenvolvimento de novos processos construtivos e uso de materiais alternativos aos tradicionais tem aumentado. Dentro desse cenário, foi desenvolvida a bioconstrução. Conceito que resgata as técnicas milenares e desenvolve as técnicas atuais para garantir a sustentabilidade desde o processo construtivo até o período pós-ocupação. Diante disso, o presente artigo apresenta uma comparação entre o método construtivo de edificação com alvenaria de vedação tradicional e a bioconstrução, apresentando os pontos positivos e os negativos de cada um, com ênfase na viabilidade técnica e econômica.

**Palavras-chave:** Bioconstrução; Construção Civil; Sustentabilidade

#### ***Abstract***

*The principles of sustainability are increasingly present in society. In the construction industry it becomes common the search for sustainable buildings that relate the balance*



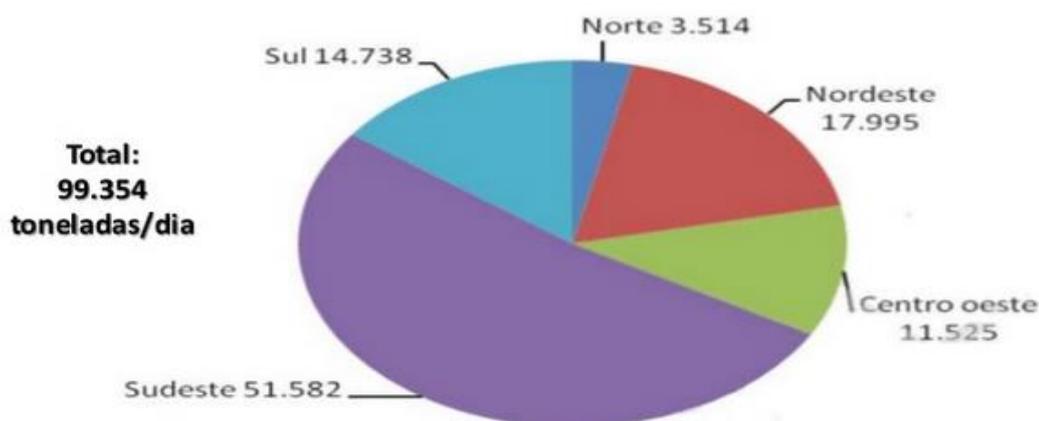
*between human activities, the economy and the environment. Energy efficiency in this sector needs to be noticed, from the planning stage to the construction phase, and also to ensure that it has an efficient consumption during the life of the building. In the last decades, studies and development of new constructive processes and use of materials alternative to traditional ones has increased. Within this scenario, the bioconstruction was developed. Concept that rescues the millenarian techniques and develops the current techniques to guarantee the sustainability from the constructive process until the post-occupation period. Therefore, the present article presents a comparison between the construction method of building with traditional masonry and the bioconstruction, presenting the positive and negative points of each one, with emphasis on technical and economic feasibility.*

**Keywords:** *Bioconstruction; Construction; Sustainability*

## 1. Introdução

A construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social e é um dos setores que mais cresce nos países, pois gera intenso impacto ambiental pelo consumo de matérias-primas de alto custo, cuja fabricação utiliza muita energia e produz muito resíduo.

O Gráfico 1, consultado no Plano Nacional dos Resíduos Sólidos, expõe a quantidade de resíduos da construção civil nas diferentes regiões do Brasil (tonelada/dia), das quais a Região Sudeste é predominante. Com um total de cerca de 100 mil toneladas por dia no Brasil (BRASIL, 2018).



**Gráfico 1 – Quantidade de resíduos da construção civil nas diferentes regiões do Brasil (tonelada/dia) Fonte: BRASIL (2018)**

Na atualidade está ocorrendo um investimento na busca do equilíbrio ambiental e construtivo. Para isto estão sendo aplicadas técnicas da bioconstrução que visam utilizar matérias primas recicladas ou naturais do próprio local da obra, sistema de reaproveitamento da água da chuva, reaproveitamento dos resíduos sólidos, fontes alternativas de energias renováveis e não poluentes, utilização de iluminação natural, boa ventilação e algumas técnicas construtivas, com vistas a causar o menor impacto para o ambiente e para a sociedade local.

Com esse benefício ambiental da bioconstrução, quais seriam as reais vantagens que surgem com a aplicação de seus conceitos e técnicas?

Para resolver os problemas gerados pelas construções tradicionais, é necessária a escolha certa de materiais e tecnologias sustentáveis, para que as novas habitações sejam construídas levando em conta; a localidade, a eficiência, a viabilidade técnica, econômica e ambiental, os custos, a segurança estrutural, a segurança contra incêndio, a estanqueidade, a durabilidade e manutenção, o desempenho térmico, o desempenho acústico, a adequação do projeto e a gestão da qualidade, atendendo não apenas grandes empresas e proprietários, mas também famílias, proprietários agrícolas de pequeno e médio porte. Deve-se observar que os materiais e o processo construtivo, antes e depois da ocupação, garantam a sustentabilidade.

Assim, o objetivo desse artigo é apresentar um estudo comparativo entre uma edificação construída pelo método tradicional com uma mesma edificação feita com conceitos da bioconstrução, utilizando materiais alternativos sustentáveis, de modo a ressaltar a viabilidade técnica, econômica e ambiental desse método construtivo.

Para isso, será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre a bioconstrução. Posteriormente, será apresentada a comparação entre as edificações de bioconstrução e a tradicional.

Para esse estudo foi feita a pesquisa qualitativa sobre toda a base de bioconstrução e para a comparação foi elaborada uma planta e feito o levantamento de materiais e mão de obra para os dois tipos construtivos. Vale ressaltar que a edificação em estudo não foi executada, foi desenvolvida apenas para o estudo, chamada de edificação protótipo.

## **2. Bioconstrução**

Na década de 70, começaram as discussões sobre a necessidade de construir sem causar impacto ao meio ambiente. A bioconstrução teve início a partir do reflexo de uma crise ambiental, sendo ela a 1º Crise do Petróleo, em 1973. (VIEIRA, 2015).

Na busca de uma sociedade sustentável, surgiu o conceito de bioconstrução, para se referir a construções onde a preocupação ecológica está presente, desde a sua concepção até a sua ocupação, combinando técnicas milenares e inovadoras, garantindo a sustentabilidade, não só no processo construtivo como também no período pós-ocupação de casas e edifícios.

Bioconstrução é compreendido como um sistema construtivo onde o meio ambiente é preservado, desde a fase de projeto, na adequação ao clima local, durante a construção da edificação, seja na escolha das técnicas de construção, seja no uso dos materiais. E ao longo do uso da edificação, utilizando um tratamento adequado dos resíduos e uma eficiência energética. A técnica da bioconstrução encontra suas bases nas civilizações antigas, utilizando métodos e materiais tradicionais empregados há alguns milênios, e no grande conhecimento tecnológico desenvolvido atualmente. Por exemplo, em Portugal, existe grande tradição na construção com terra crua – taipa e adobe - no centro e sul do país. Já ao norte, a pedra é a construção tradicional mais comum.

Como acabamento, encontram-se, tradicionalmente, os rebocos à base de terra e os rebocos de cal. (PINTO, 2013). O conhecimento sobre bioconstrução, desenvolvido em meados do século XX, associado às técnicas modernas, é muito relevante para se melhorar o bem estar e o conforto nos dias atuais, sem causar impacto ao meio ambiente. Gerenciar os recursos com eficácia e recorrer a materiais de baixo impacto ambiental, como os materiais naturais e reciclados, são outros aspectos que estão relacionados com a bioconstrução.

Os métodos de construção da bioconstrução priorizam o emprego de insumos naturais e de tecnologias comuns e de baixo custo. Além disso, a bioconstrução utiliza materiais ecológicos, reduzindo o impacto ao ambiente através de técnicas milenares, dentre elas a utilização de materiais locais, diminuindo os custos com fabricação e transporte. Assim, as habitações construídas com a bioconstrução reduzem os custos e oferecem um excelente conforto térmico. (VIEIRA, 2015). A bioconstrução apresenta algumas técnicas naturais de construção associando o homem com o ambiente, sendo elas:

- Análise do ciclo de vida de cada material utilizado;
- Análise da origem e do destino de cada material;
- Inutilização de materiais tóxicos (coadjuvantes) e descartáveis;
- Valorização dos materiais locais;

- Utilização de técnicas inteligentes de materiais de mercados industriais;
- Racionalização do uso da água e promoção dos tratamentos naturais dos efluentes (esgoto) – reciclagem e reuso;
- Busca pela utilização de fontes de energias renováveis e trabalho com eficiência energética através de desenhos arquitetônicos bioclimáticos (VIEIRA, 2015).

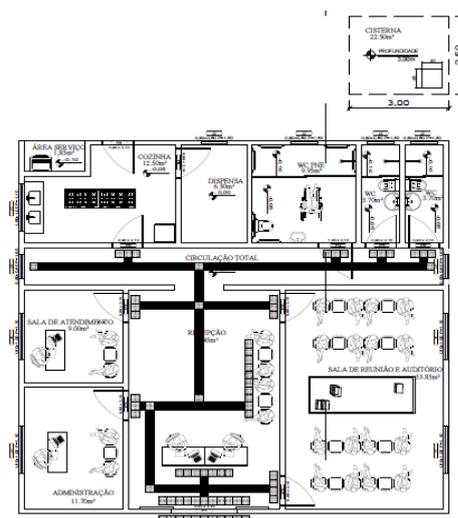
Sendo assim o propósito da bioconstrução é viabilizar o equilíbrio entre as construções e as condições ambientais e recursos disponíveis no local, observando a preservação da natureza, a economia energética, o conforto e o bem estar das pessoas.

### 3. Procedimentos metodológicos

As etapas da pesquisa foram: desenvolvimento do projeto da edificação protótipo, produção de todas as plantas, cortes e fachadas necessários. Em seguida foi realizada a produção de planilhas especificando as atividades e materiais para cada fase construtiva. Com essas planilhas foi realizado o levantamento de custo de materiais e mão de obra e realizado o cronograma para cada tipo de edificação (bioconstrução e construção convencional).

O estudo foi feito com base em edificação fictícia, não tendo, portanto cidade ou terreno definido. A edificação protótipo trata-se de uma Secretaria de Meio Ambiente de 1 pavimento térreo, com cerca de 156 m<sup>2</sup>. A edificação desenvolvida contempla recepção, sala de atendimento, administração, sala de reunião e auditório, cozinha, dispensa, área de serviço, circulação total, WC feminino, WC masculino e um banheiro PNE (portadores de necessidades especiais).

Para o modelo de construção convencional a Figura 1 apresenta a planta baixa.



**Figura 1 – Planta da edificação tradicional Fonte: Autoria Própria (2018)**

A edificação de estudo tem toda sua estrutura em concreto armado, sapata isolada como fundação, cinta e pilares. A parede de vedação é composta pelo tijolo cerâmico com acabamento com tinta acrílica, o contra piso em concreto magro, e o piso cerâmico. A laje será de treliça e o telhado com sua estrutura feita em madeira com telhas cerâmicas. Toda a

escolha dos materiais e métodos construtivos foi mediante aos mais tradicionais e mais utilizados no mercado.

A partir da planta baixa, realizou-se um levantamento da quantidade dos materiais e das atividades, para sua edificação pelo método da construção com alvenaria de vedação tradicional. Os custos foram baseados na tabela EMOP (Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro).

Com relação à fundação, serão utilizadas as sapatas isoladas para transmitir ao solo as cargas dos pilares e um cintamento de concreto armado para dar rigidez a fundação, travar os pilares e servir de apoio para as paredes de vedação. Para isso são utilizadas fôrmas de madeira para a concretagem. Terá sua estrutura toda em concreto armado. Os pilares que recebem a carga das vigas e transmitem para a fundação, e as vigas que recebem as cargas da laje e do telhado e distribuem para os pilares. A laje será pré-moldada BETA 20 com tijolos cerâmicos para laje e será preenchida com concreto. Serão utilizadas as mesmas fôrmas da fundação para montagem dos pilares e laje, além de toras de eucalipto para o escoramento da estrutura das vigas para a concretagem.

Será utilizada a impermeabilização nas sapatas isoladas e cintamento de concreto armado, empregando um sistema progressivo de cristalização que penetram profundamente no concreto por processo catalítico, na laje será utilizada uma impermeabilização com manta de base asfáltica e na cisterna será utilizada uma impermeabilização com um sistema de cristalização compostos de 3 produtos que penetram com efeito osmose.

A alvenaria nesse sistema não tem a função estrutural e será composta com tijolos cerâmicos e argamassa de cimento, areia e cal com traço 1:8 assentados em paredes de 1 vez. Na construção da cisterna enterrada e do abrigo para botijões de gás serão utilizados blocos de concreto assentados com argamassa de cimento e areia, no traço 1:8 com paredes de espessura de 10 cm. Após o assentamento dos tijolos cerâmicos, será feito o chapisco para uniformizar a superfície com argamassa de cimento e areia no traço 1:3, em seguida, o emboço e o reboco com argamassa de cimento e areia no traço 1:3. Nas janelas e portas são feitas vergas e contravergas para evitar a fissuração nos cantos dos vãos.

As instalações elétricas serão compostas por conduítes, fios e caixinhas para tomadas e interruptores de PVC e as lâmpadas utilizadas serão fluorescentes. Serão utilizadas para a instalação hidráulica e para o reservatório de água potável: tubulação de PVC para águas quentes. PVC com conexões (alimentação de água fria), registros, descargas manuais, torneiras, ralos e grelhas e tubulação de PVC também nas conexões de esgoto, que serão descartados e jogados na rede principal da rua.

Será feito um contrapiso com argamassa de cimento e areia, no traço 1:4, sem função estrutural, somente como preenchimento. E serão assentados os pisos cerâmicos em superfície em osso com uma argamassa colante de cimento e cola, sendo rejuntados com cimento branco e corante. Serão colocados as soleiras e o rodapé em granito com argamassa de cimento, saibro e areia no traço 1:2:2. Será utilizado o piso tátil direcional e alerta, conforme a norma de acessibilidade.

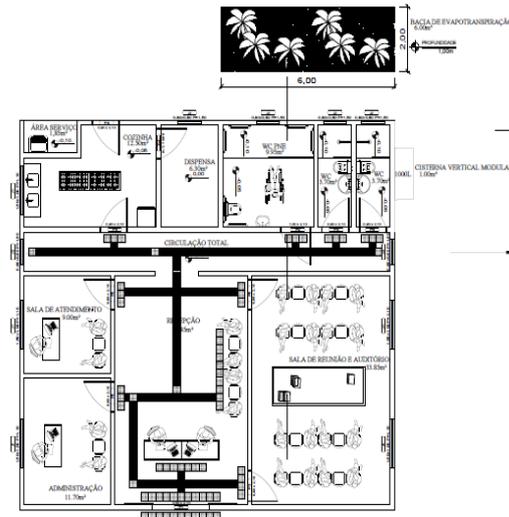
Será utilizado forro de gesso para o acabamento interno do teto para cobrir a laje pré-moldada. Serão utilizadas 11 janelas e 11 portas completas em blindex, peitoril e a portinhola para a cisterna.

Será utilizada a madeira para caibros e ripas. As ripas serão montadas sobre os caibros e os caibros serão apoiados nas terças, com a finalidade de suportar as telhas cerâmicas, e

as cumeeiras. O telhado terá um caimento de 25% e a calha será em chapa de aço galvanizado. Na pintura será utilizada uma tinta acrílica para pintura das alvenarias.

### Edificação bioconstrução

A edificação protótipo com o método da bioconstrução contempla os mesmos cômodos e a mesma área utilizada para o método construtivo com alvenaria de vedação tradicional. A planta pode ser visualizada na Figura 2.



**Figura 2 – Planta da edificação bioconstrução Fonte: Autoria Própria (2018)**

A edificação de estudo tem a estrutura dos pilares, piso e telhado em bambu. A fundação com pedras de mão. A parede de vedação é composta pelo tijolo de adobe com acabamento com a geotinta. O piso será utilizado laminas de bambu. A laje é composta por madeira reflorestada. O telhado verde com placas solares e boiler para aquecimento da água. Captação da água das chuvas em cisterna e tratamento de efluentes por meio de raízes.

A partir da planta baixa e demais informações do projeto, realizou-se um levantamento da quantidade dos materiais e das atividades, para sua construção pelo método da bioconstrução. Os custos foram baseados na tabela EMOP (Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro) e outros materiais tiveram seu orçamento obtido pela Instituição Pindorama.

Com relação à fundação da edificação, é feita uma vala cava na delimitação da construção com a medida de 50 cm abaixo do nível do terreno, e 50 cm acima do terreno, formando uma fundação de 1,0 m. Com 35 cm de largura para assentamento da parede de vedação, sendo 10 cm do tijolo com 2,5 cm de reboco de cada lado, formando 15 cm de espessura da parede e 10 cm para fora da construção e 10 cm para dentro da construção. São assentadas as pedras de mão conforme a sua fôrma e para preencher os vazios das pedras de mão será utilizada a brita 1. Com uma massa de assentamento feita de cal, areia e argila no traço 1:3 é feito o rejunte em toda a fundação e é feito um acabamento no topo da fundação para assentamento da parede de vedação. Na marcação dos pilares será utilizada uma tora de madeira com 50 cm de altura para fixar a estrutura dos pilares em bambu. Terá a estrutura dos pilares e vigas em bambu já adquirido com seu devido tratamento para utilização. Os pilares e as vigas serão da espécie *Dendrocalamus Giganteus* com 30 cm de

diâmetro. A ligação dos pilares de bambu com a tora de madeira assentada na fundação será feita com parafusos de aço. Essa tora de madeira é utilizada para que o bambu não entre em contato com a umidade do solo. Toda a estrutura desde o pilar, viga e telhado serão utilizados parafusos de aço para ligação e braçadeiras de aço para não fissurar o bambu. Será utilizada a laje de pinus reflorestado que será ligada as vigas de bambu por meio de parafusos de aço.

Para a fundação não será utilizado impermeabilizante. Para reduzir à infiltração da umidade a fundação será projetada 50 cm de altura acima do solo com pedras de mão e argamassa de solo local. E para os pilares será utilizada a tora de madeira para que o bambu não entre em contato direto com a umidade do solo. E o beiral do telhado foi disposto 120 cm para evitar as infiltrações ocasionadas pelas chuvas e o reboco com argamassa de solo local, areia e cal. A bioconstrução possui a vantagem de não utilizar impermeabilizantes assim não agredindo o meio ambiente, ao contrário da construção tradicional que ao fazer o uso dos impermeabilizantes acaba agredindo devido à fabricação dos materiais.

Nas alvenarias serão utilizados tijolos de adobe. Será utilizado parte do solo que foi retirado para abrir as valas da fundação e outra parte será comprada. As fôrmas dos tijolos serão fabricadas com pedaços de tábuas de pinus reflorestado, na qual o tamanho que será utilizado será 10x10x20. Para utilizar o solo local, o solo precisa ser argilo-arenoso, para saber se o solo é desse tipo, deve-se fazer o teste da bolinha, pegue um punhado de solo e umedeça, forme uma bolinha e solte-a no chão na altura da cintura. Se a bolinha não trincar nem se abrir, significa que o solo é muito argiloso. Nesse caso, deve-se misturar uma boa quantidade de areia. Se a bolinha se abrir muito, se esfarelar ou se despedaçar, significa que o solo é arenoso adicionar a mesma quantidade de argila para equilibrá-lo. Deve-se utilizar uma lona para colocar os materiais sendo eles a mesma quantidade de areia, terra, capim seco de 4 a 20 cm e umedecer com  $\frac{1}{2}$  balde de água para cada 4 baldes de terra. A mistura deve ser feita com os pés até ficar homogêneo e após a massa ficar pronta, deve-se umedecer e salpicar com areia as fôrmas de madeira. Após, deve-se jogar a massa nas fôrmas e apertando bem para que fique todo espaço completo. E passar uma régua para retirar o excesso. Após deve-se desformar e deixar secar por 7 dias de um lado e 7 dias do outro lado, aproximadamente 15 dias, em local aberto, porém coberto para evitar a chuva e o sol. A massa de assentamento dos tijolos será feita com a mesma massa do tijolo de adobe, areia e terra estrumada na mesma proporção e água, no traço 1:3. Será utilizado o reboco feito com argila, areia, soro de leite, grude de farinha de trigo branca e esterco fresco, deve-se misturar e deixar descansar 15 dias para fazer um acabamento final. Mas pode-se deixar o tijolo de adobe aparente formando um aspecto rústico. As vergas e contravergas serão feitas de madeira reflorestada. O abrigo de botijões será feito da mesma forma da alvenaria de vedação.

Na bioconstrução as instalações elétricas serão compostas por conduítes, fios e caixinhas para tomadas e interruptores de PVC embutidos nos tijolos da mesma forma da construção tradicional e as lâmpadas utilizadas serão de LED.

Serão utilizadas as mesmas instalações hidráulicas, do reservatório de água potável e para as conexões de esgoto da construção tradicional, porém elas terão outra destinação. Será implantado um sistema chamado de Bacia de Evapotranspiração, na qual, terá a função de tratar as águas cinzas e as águas negras. Para a construção da bacia na Secretaria de Meio Ambiente, foi considerado abrir uma vala de 6,0 m de comprimento por 2,0 m de largura e 1,0 m de profundidade, deve-se colocar ao fundo uma geomembrana para evitar

vazamentos infiltrações, e serão colocados 12 pneus com 25 cm de largura cada, dispostos no fundo da vala na entrada dos tubos de águas cinza e das águas negras, assim será colocado uma camada de 0,60 cm de pedras, cacos de tijolos e telhas, 0,20 cm de brita, 0,10 cm de areia e 0,10 cm de terra e a cobertura com galhos médios e finos e palhas (capins, folhas, etc.), deve ser jogado para criar um pequeno monte acima da borda da vala, com a finalidade de que a superfície fique abaulada. As águas cinzas, antes de serem lançadas na vala, devem passar por uma caixa de gordura. O propósito da caixa de gordura é conservar, na sua parte superior, gorduras, graxas e óleos contidos nas águas cinzas. As águas cinzas serão direcionadas para dentro da vala, através de um tubo de esgoto, com diâmetro de 100 mm. Ao redor da vala, em um espaço de cerca de 60 cm, deve-se plantar as mudas de bananeiras, no projeto foi considerada 6 bananeiras e 6 arbustos. Assim, como outras plantas de folhas largas, as bananeiras evaporam elevadas quantidades de água e se ajustam melhor a solos úmidos e ricos em matéria orgânica. Devem ser considerada 1 bananeira igual a 2m<sup>3</sup> por pessoa. Neste sistema, o retorno das águas negras para a natureza é feito por meio do vapor transpirado pelas folhas das plantas, evitando a contaminação do lençol freático.

O contrapiso será constituído com argamassa de solo local e cal hidratada em pó, no traço 1:2. Os pisos de bambu reflorestado serão em fôrma de régua com 1,85 metros e 14,2 cm de largura e serão assentados com a argamassa de solo local. Será utilizado o piso tátil direcional e alerta, conforme a norma de acessibilidade. A utilização do piso de bambu na bioconstrução trás uma vantagem ambiental por ser um material que não causa danos ao meio ambiente e por ser um material renovável. Já na construção tradicional, o piso cerâmico e os resíduos do granito gera uma intensa poluição nas pedreiras.

Na bioconstrução a laje de pinus reflorestado servirá como forro, transmitindo um aspecto rústico. Serão utilizadas 11 janelas e 11 portas completas e peitoril em madeira reflorestada.

A estrutura do telhado será toda em bambu de espécies diversas, levando em consideração as vigas de bambu, juntamente com os caibros e ripas que serão apoiados nas terças. As telhas também serão de bambu e devem ser amarrada uma nas outras com arame galvanizado. O telhado verde será instalado sob as telhas de bambu, será composto por uma membrana alveolar, uma proteção anti raiz, uma membrana de retenção de nutriente, uma camada de terra e o plantio de uma pré-vegetação. Nas beiradas do telhado é aplicada uma argila expandida e é feito um dreno com pedras para a água seguir para a calha sem transportar resíduos. O telhado terá um caimento de 3% e a calha será em chapa de aço galvanizado.

Na pintura será utilizada uma geotinta ou “tinta de terra” composta por cal, água, óleo de linhaça, cola branca, argila, pó xadrex ou clarofilito da cor desejada. Será feita a mistura dos materiais e por último acrescentar o óleo de linhaça. Deve-se aguardar 24 horas para dar a segunda demão.

Serão instalados placas coletoras de energia solar e um reservatório chamado de boiler, na qual as células das placas solares convertem a radiação solar em eletricidade. A energia térmica é transmitida para a água que circula no interior de suas tubulações de cobre. O reservatório térmico é isolado termicamente com poliuretano sem CFC (Cloro-fluor-carbono). Dessa forma, a água permanece aquecida e pronta para o consumo a qualquer hora do dia ou da noite. A caixa de água fria alimenta o reservatório, mantendo-o sempre

cheio. Mesmo tendo um custo de R\$ 5.329,21 reais, obtém ao longo dos meses uma redução na conta de luz.

Será utilizado o sistema de captação da água da chuva para utilização em diversos fins como: lavagem de quintal, pisos e carros; lavagem de roupa; irrigação de plantas; descarga de vaso sanitário. A água pluvial é recolhida através das calhas nos telhados e encaminhada para um filtro para remover impurezas e clorada, antes do armazenamento em uma cisterna vertical modular que será utilizada. Será utilizada uma bomba para retirar a água da cisterna vertical modular e transferi-la para as suas devidas instalações nos pontos que receberão a água filtrada. A construção tradicional não tem esse gasto com a implantação desse sistema. A bioconstrução mesmo tendo um custo de R\$ 1.496,00 reais, obtém ao longo dos meses uma redução na conta de luz e na conta de água em média de 30%. Na qual, apesar do custo inicial após certo período esse valor será retornado como uma economia. Economia de até 30 litros de água potável por mês.

#### **4. Estudo comparativo entre o sistema construtivo de alvenaria com vedação tradicional e o sistema construtivo com bioconstrução**

A comparação entre os métodos será apresentada em itens considerados decisivos no custo e qualidade do produto final. São eles: mão de obra, custo direto de materiais e prazo. Em seguida será apresentada uma comparação geral entre os dois modelos.

##### **4.1 Comparação considerando a mão de obra**

A mão de obra para as construções de alvenaria tradicional é farta, porém, para as construções sustentáveis, é difícil de encontrar; existem milhares de operários disponíveis para a construção com alvenaria tradicional e contam com um grande número de operários, mesmo sem qualificação profissional, por causa do conhecimento prático adquirido e transmitido, ao longo de décadas; porém é muito difícil encontrá-los no mercado de trabalho para as construções sustentáveis, por exigirem o conhecimento dos novos ecoprodutos para as construções sustentáveis e das novas habilidades e novas práticas, para manusear e empregar os novos materiais, em construções sustentáveis.

Em relação à bioconstrução, as técnicas de construção são pouco conhecidas, há pouca mão de obra disponível e os operários com experiência em construções sustentáveis são escassos. As bioconstruções são feitas, na maioria das vezes, por leigos sem conhecimentos específicos de construção civil, que desenvolvem a bioconstrução baseados em técnicas sustentáveis e práticas de construção disponíveis em cursos ou cartilhas de blogs ou portais de educação ambiental, e que são auxiliados, sob a forma de mutirão, por pessoas que estão tentando aprender, participando da obra.

##### **4.2 Comparação considerando custo direto de materiais**

Assim que for pretendido construir uma edificação sustentável, deve-se pesquisar, na etapa de planejamento, averiguar o contexto global do local onde será construído. Analisando as condições naturais (vegetação, relevo, condições climáticas), disponibilidade de recursos materiais e humanos e as técnicas ajustam a cada situação. Assim são construídos empreendimentos com impactos ambientais reduzidos, com baixo consumo energético e hidráulico, e atendendo os três pilares da sustentabilidade. Ambiental, econômico e social. (ASSIS; COLOMBINI, 2018)

O elevado custo das construções sustentáveis está associado às tecnologias sustentáveis utilizarem conceitos de ecoeficiência, fornecedores certificados ecologicamente, utilização de descartes responsáveis dos materiais, a conservação da água, da energia, dos itens de construção e de acabamento e o treinamento da mão-de-obra para usufruir desta tecnologia que carece de um planejamento correto antes do início da obra, para que se conquiste o melhor custo-benefício em cada fase do processo. (ASSIS; COLOMBINI, 2018)

A memória descritiva das Dimensões da Construção Tradicional de cálculo foi a primeira coisa a ser feita, seguindo as medidas do quantitativo total dos materiais utilizados para a edificação, conforme suas unidades. E também uma planilha orçamentária da Construção Tradicional, baseada no catálogo da EMOP. Nesta planilha foi inserida a quantidade de cada serviço e em seguida calculado seu valor total. Considerando os seguintes itens: movimento de terra, estrutura, alvenarias e divisórias, revestimentos de paredes, teto e pisos, esquadrias, instalações elétrica, hidráulica, sanitárias, cobertura, isolamento, impermeabilização, pintura, o total foi de R\$ 421.521,00 (quatrocentos e vinte e um mil, quinhentos e vinte e um reais)

Com relação à edificação de bioconstrução, foi realizada uma memória descritiva, uma planilha com quantitativo total de materiais baseada no catálogo da EMOP e com alguns valores fornecidos pelo Instituto Pindorama. Nesta Planilha foi inserida a quantidade de cada serviço e em seguida calculado seu valor total. Considerando os seguintes itens: movimento de terra, galerias, drenos e conexões, argamassas, injeções e consolidações, parques e jardins, estruturas, alvenarias e divisórias, revestimentos de paredes, tetos e pisos, esquadrias, instalações elétrica, hidráulica, sanitárias, cobertura, isolamento, impermeabilização, pintura, o total foi de R\$ 263.318,00 (duzentos de sessenta e três mil, trezentos e dezoito reais).

#### **4.3 Comparação considerando prazo**

O prazo de uma construção está relacionado com a disponibilidade dos materiais, da mão de obra, dos equipamentos, máquinas e ferramentas necessários para desenvolver a obra, e, principalmente dos recursos financeiros de quem está construindo. A tecnologia é primordial para a velocidade e a qualidade da construção. O cronograma físico-financeiro do método construtivo com alvenaria tradicional foi desenvolvido com base na disponibilidade dos materiais, da mão de obra especializada e da tecnologia da construção. Para concluir a edificação, pelo método de construção com alvenaria tradicional, foi considerado o prazo de 6 meses, tempo suficiente para entregar a obra com qualidade.

Em relação ao cronograma físico-financeiro do método construtivo por bioconstrução, foi considerado o período de 9 meses, devido às dificuldades de obtenção de alguns materiais a serem utilizados, como por exemplo, o tijolo de adobe, que ocupa grande parte do tempo, na sua fabricação, por ser um método construtivo artesanal e primitivo, o que ocasiona um maior prazo.

#### **4.4 Comparação geral**

Nesse item será apresentada uma análise mais explicativa sobre os motivos pelos quais existe a diferença entre prazo, custo de materiais e mão de obra, que se pode concluir após toda a realização dessa pesquisa.

Com relação ao custo, na terraplanagem, a bioconstrução teve uma vantagem econômica e ambiental da construção tradicional, sendo economizado R\$ 1.350,96 por manter as características do solo local, preservando as plantas nativas.

Na locação da obra também teve uma vantagem econômica de R\$ 1.860,71 por utilizar cordas e trenas para marcação da obra, ao invés de utilizar material topográfico. Na fundação e na estrutura, a bioconstrução teve uma vantagem econômica de R\$ 50.358,58 e R\$ 33.728,75, respectivamente, e uma vantagem ambiental por não utilizar concreto e sim argamassa com o solo local, e ao invés do aço utilizar madeira reflorestada. Nos pilares e vigas foi utilizado bambu e na laje madeira reflorestada. Na bioconstrução foram utilizados métodos para reduzir o uso da impermeabilização, sendo os métodos: disposição do beiral do telhado ter sido maior, fundação com pedra de mão 50 cm acima do solo e a massa de assentamento com argamassa do solo local. Logo, houve uma vantagem de R\$ 25.194,97. Nas alvenarias e revestimento grosso houve uma vantagem econômica de R\$ 43.666,83 da bioconstrução por utilizar tijolos de adobe, reboco com argamassa do solo local e madeira reflorestada.

A bioconstrução na parte elétrica utilizou lâmpadas LED, na qual houve uma desvantagem econômica de R\$5.692,99 em relação à construção tradicional que utiliza lâmpadas fluorescentes. Porém houve uma vantagem, pois as lâmpadas LED iluminam mais e consomem menos, reduzindo a conta de luz. E não emitem calor e nem raios ultravioleta.

Na parte hidráulica, a bioconstrução teve uma vantagem econômica de R\$4.044,19, e ambiental por reutilizar pneus na construção da bacia de evapotranspiração. No acabamento dos pisos da bioconstrução foi utilizado piso de bambu, logo, houve uma vantagem econômica de R\$ 1.569,84 e uma vantagem ambiental por utilizar argamassa de solo local ao invés de utilizar cimento no contrapiso.

A bioconstrução teve uma desvantagem econômica no telhado de R\$39.228,31, por utilizar a estrutura de bambu e o telhado verde já que os materiais são mais caros do que a implantação de um telhado com telhas cerâmicas e estrutura de madeira. O revestimento fino de paredes da bioconstrução teve uma vantagem econômica de R\$ 36.751,35 por utilizar pintura com geotinta feita no local. E uma vantagem ambiental com menor emissão de VOC's (Compostos Orgânicos Voláteis). A bioconstrução teve uma vantagem de R\$ 15.007,20 na utilização de forro e molduras, pois a laje foi feita de Pinus – madeira reflorestada que serve como forro rústico, logo não houve custo adicional.

Nas janelas e portas, a bioconstrução teve uma desvantagem econômica de R\$ 3.583,87, pois utilizou madeira reflorestada, na qual ocasionou um custo maior do que as janelas e portas de blindex utilizada na construção tradicional.

Na bioconstrução foi utilizado um sistema de aquecimento solar com placas coletoras e um boiler, teve um custo de R\$ 5.329,21, porém houve uma vantagem de menos 30% de gasto com energia elétrica no mês. Após 2 anos em média esse valor será suficiente para pagar os custos iniciais. O sistema de captação de energia solar não gera cinzas nem outros tipos de resíduos, já que não libera calor residual, não modifica o equilíbrio da biosfera, evitando assim o Efeito Estufa.

Foi utilizada também na bioconstrução uma cisterna vertical para aproveitamento da água da chuva. Na construção tradicional essa água não era aproveitada. Inicialmente, houve um gasto de R\$ 1.496,00 na implantação, porém é possível ter menos 30% de gasto com energia elétrica por mês, e uma economia de até 30 litros de água potável por mês, sendo essa uma vantagem ambiental. Numa visão geral, a bioconstrução teve uma vantagem econômica de R\$ 158.203,00 além de toda vantagem ambiental com a utilização de materiais mais sustentáveis.

## 5. Considerações Finais

Em razão dos impactos causados pela construção civil, ocorreu o aumento da preocupação com o meio ambiente, o que ocasionou o surgimento da construção natural, designada bioconstrução, com alguns métodos milenares. Tendo em vista que a seleção dos materiais e as técnicas construtivas estão diretamente relacionadas com o equilíbrio ambiental e o custo da obra, os pontos levados em consideração na escolha do método a ser utilizado são a facilidade de uso, o custo e o caráter ecológico.

Mediante o tema escolhido, a proposta foi fazer um comparativo das técnicas construtivas sustentáveis com as técnicas construtivas de alvenaria tradicional, expondo os métodos e técnicas da bioconstrução à população, com o intuito de preservação do meio ambiente, aproveitamento de resíduos de construções e matérias primas, obtenção de economia e melhor utilização de materiais nos processos de construção, beneficiando a população atual e futura em relação ao uso de matérias primas na construção civil.

Em áreas rurais ou que se encontram em fase de desenvolvimento, onde há uma vasta quantidade de matéria prima alternativa e sustentável e uma área efetiva para realização dos trabalhos, é notória a facilidade na implantação das técnicas e métodos de bioconstrução.

Em áreas urbanas, onde há uma grande quantidade de construções já realizadas por métodos construtivos tradicionais, onde as técnicas de construção e a mão-de-obra dominante são as tradicionais e onde os materiais de construção oferecidos são os tradicionais, a utilização da bioconstrução ocorre de maneira pontual devido ao desconhecimento da técnica e pela falta da matéria prima disponível no local da obra, o que ocasiona um custo para comprar os materiais para a fabricação dos mesmos no meio urbano além do custo do transporte dos materiais.

Conclui-se que a mão de obra para o método construtivo da bioconstrução é difícil de encontrar profissionais especializados, por exigir um conhecimento de novas práticas.

Em relação ao cronograma físico do método construtivo da bioconstrução, o tempo foi maior, em razão dos materiais usados, como por exemplo, o tijolo de adobe, por ocupar grande parte do tempo, na fabricação dos mesmos, levando em consideração ser um método construtivo artesanal e primitivo, que ocasiona a demanda por mais tempo. Para isso, foi utilizado um cronograma com 9 meses para a conclusão da edificação em estudo pelo método construtivo da bioconstrução e um cronograma de 6 meses para a construção com o método construtivo tradicional.

A partir deste trabalho, foi possível concluir que utilizar os materiais sustentáveis apresentados é uma alternativa viável, por possuírem vantagens iguais ou superiores aos materiais convencionais. Com isso, percebeu-se que o setor de construção civil e a população, ainda hoje, exploram pouco de materiais alternativos disponíveis no mercado, por desconhecimento e preconceito.

## Referências

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, setembro de 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf)>. Acesso em: dezembro de 2018.

## **Combustível sólido a partir de biomassa residual de borra de café, casca de arroz e casca de batata.**

### ***Solid fuel from residual biomass of coffee grounds, rice hulls and potato peel.***

**Rachel Faverzani Magnago, Dr, UNISUL.**

rachel.magnago@unisul.br

**Guilherme Domingos Garcia, graduando Eng. Química, UNISUL.**

guigarcia0000@hotmail.com

**Diego Valdevino Marques, mestrando em Ciência Ambientais, UNISUL.**

marques\_\_diego@hotmail.com

**Izoé Daysi Pedroso, mestrando em Ciência Ambientais, UNISUL.**

izoel3@gmail.com

**Kênia Costa Hermann, mestrando em Ciência Ambientais, UNISUL.**

kenia.hermann@gmail.com

**Nathan Roberto Lohn Pereira, mestrando em Ciência Ambientais, UNISUL.**

lohnathan@gmail.com

**Simone Perroni Mazon, mestrando em Ciência Ambientais, UNISUL.**

simone.perroni5@gmail.com

**Susana Claudete Costa, mestrando em Ciência Ambientais, UNISUL.**

susanacostah@hotmail.com

### **Resumo**

A borra de café é um resíduo de biomassa que geralmente se tem desprezado o seu valor energético, mas acessível para a conversão em combustível. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de cinco espécimes produzidas com borra de café (passado e/ou expresso), com e sem casca de arroz, e com casca de batata inglesa. A casca de batata foi moída com 70 ml de água, misturada com outros resíduos de biomassa e aquecidos por 15 min, após moldagem permaneceram em estufa por 48 h a 50° C. Para todos os espécimes foram determinados teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI), resistência mecânica e monitorado da cor da fumaça. Os valores de PCS e PCI foram entre 15,35-17,02 MJ/kg e 13,99-15,67 MJ/Kg, respectivamente. A fumaça liberada durante a queima foi branca (Ringilmann 2-3) e apresentaram resistência mecânica adequada para manipulação, transporte e armazenamento. Os combustíveis sólidos apresentados mostram-se capazes de desempenhar satisfatoriamente a substituição das fontes caloríficas tradicionais, comparando-se inclusive aos tradicionais briquetes de carvão e lenha.

**Palavras-chave:** Biocombustível sólido; Biomassa residual; Borra de café; Batata inglesa.

## Abstract

Coffee grounds are a biomass residue that has generally been neglected its energy value, but accessible for conversion into fuel. The objective of this work was to evaluate the properties of five specimens produced with coffee grounds (past and / or espresso), with and without rice husk, and with yellow potato peel. The potato peel was ground with 70 ml of water, mixed with other biomass residues and heated for 15 m, after molding they remained in the oven for 48 h at 50 ° C. For all specimens were determined moisture content, ash content, upper and lower heating values (UHV and LHV), mechanical resistance and monitored the color of the smoke. The UHV and LHV values were between 15.35-17.02 MJ/kg and 13.99-15.67 MJ/kg, respectively. The smoke released during burning was white (Ringilmann 2-3) and showed adequate mechanical strength for handling, transport and storage. The solid fuels shown are able to perform satisfactorily the substitution of the traditional heat sources, comparing even to the traditional coal and wood briquettes.

**Keywords:** Solid biofuel; Residual biomass; Coffee grounds; Yellow potato.

## 1. Introdução

O café é globalmente a segunda maior commodities, perdendo apenas para o petróleo e derivados (JANISSEN; HUYNH, 2018; KOVALCIK et al., 2018; TUCKER, 2011). Segundo a Organização Internacional do Café, no ano-safra 2017/18 a produção mundial foi de 158,6 milhões de sacas de 60 kg e os cinco maiores países produtores de café nesse período foram: Brasil, em primeiro, com 51,0 milhões de sacas, seguido de Vietnã (29,500 milhões), Colômbia (14 milhões), Indonésia (10,902 milhões) e Honduras (8,349 milhões) (ICO, 2018). Na década de setenta a produção anual foi aproximadamente de 80 milhões de sacas, a produção dobrou e arbitra para o fim da safra de 2018 um volume mundial de 162,12 milhões de sacas. Na América do Sul o consumo estimado para 2018 é de 26,97 milhões de sacas, 3% superior que em 2017, sendo o Brasil maior responsável por elevar a taxa de consumo (ICO, 2018; ALMEIDA; ZYLBERSZTAJN, 2017). Para o crescimento das exportações brasileiras na safra de 2018 é previsto mais de 24%, qualificando o país também como o principal exportador do produto. A Figura 1, ilustra a última década do café com base na produção, consumo, estoques e exportações em nível mundial.

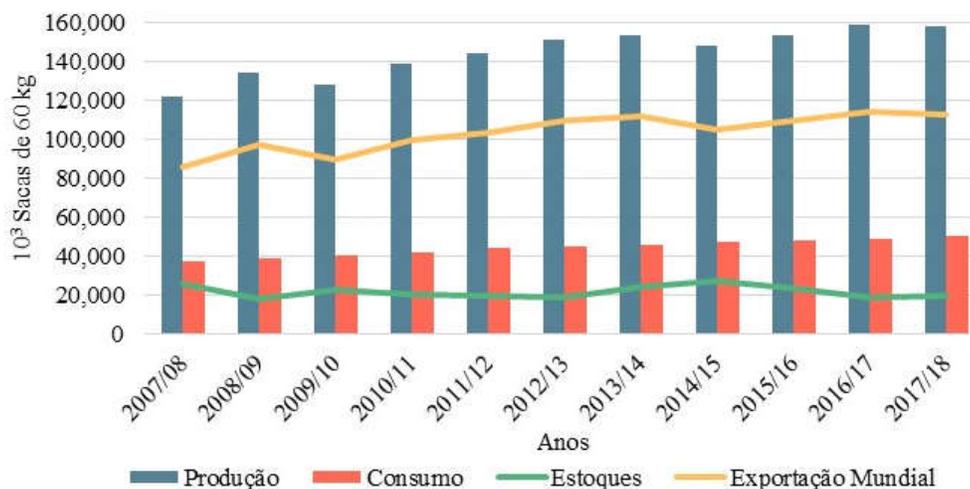


Figura 1: Produção, consumo, estoques e exportação mundial do café para os anos de 2008 a 2018.  
 Fonte: Adaptado de ICO, 2018.

Segundo o relatório da ICO (2018), na Figura 1, mostra uma queda na produção nos anos de 2010, 2015 e 2017, mas exibindo de modo geral crescimento nos últimos 10 anos. Em 2017 a safra fechou com 158,560 milhões de sacas, com crescimento de 3,23% em relação a 2014, ao comparar a safra de 2017/2018 com a 2016/2017 houve queda de 0,31%. No entanto o consumo mundial tem crescido 2% ao ano (Figura 1), aumentando de 90,28 milhões de sacas em 1991 para uma estimativa de 162,12 milhões de sacas em 2017/18. Os maiores ganhos ocorrem na América do Sul, com consumo estimado em 26,97 milhões de sacas, 3,3% superior ao de 2016/17, com grande parte do crescimento atribuído ao Brasil (ICO, 2018). Ainda na Figura 1, os estoques mundiais mostram um declínio de 28,66% ao relacionar a safras passadas; 2017/18 com 19,357 milhões de sacas. Com relação às exportações mundiais, do ano base de 2013/14 foram exportadas 111,978 milhões de sacas de 60 kg de café, declinando em 2014/15 e 2015/16 para 105,492 e 109,902 milhões de sacas, correspondendo a quedas de 5,79% e 1,85% respectivamente no biênio. Para a safra de 2016/17 houve aumento das sacas de café exportada de 2,34% somando 114,596 milhões de sacas em relação a 2013/14. No ano de 2017/18 as exportações voltam a ter queda, finalizando o ano com 112,949 milhões de sacas, correspondente uma queda de 1,44% em relação ao ano anterior.

Deste modo tem-se um panorama da importância econômica do movimento global do café, mas que pode ter impacto ambiental negativo, pois o cultivo do café produz resíduos desde a colheita até o consumo final. O processo pós-colheita inclui as etapas úmida, semiúmida e seca. Cada uma delas gera resíduos como casca, polpa, pergaminho e águas de lavagem, sendo a gestão destes subprodutos um desafio para todos os países produtores (THENEPALLI et al., 2017). As águas residuais provenientes das indústrias de café também representam alto risco de contaminação de águas do entorno se descartada sem tratamento, por conter alta concentração de poluentes orgânicos. Mais de 50% do fruto do café pós-colheita não é aproveitado comercialmente, podendo causar problemas ambientais se todo o volume de resíduo da produção não for tratado de forma adequada (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012). Segundo Fernandes (2014), a palha do café, resíduo sólido dos processos pós-colheita, pode voltar para a lavoura em forma de composto para adubação. Meneghelli e colaboradores (2016) mostram que o resíduo do processo de secagem dos grãos pode substituir uma parte do substrato tradicional para produção de mudas de café, se aplicado na concentração adequada. Quanto a água de fermentação e lavagem, que é rica em matéria orgânica, está sendo utilizada em propriedades do centro do Brasil para irrigação da plantação, reduzindo o potencial risco contaminante das águas de superfície e o consumo de água tratada na produção (SOARES et al., 2009; SOARES et al. 2007). Deste modo, diferentes trabalhos enfocam os resíduos proveniente da plantação e indústria de café (MENEGHELLI et al., 2016; ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; SOARES et al., 2009; SOARES et al. 2007).

Devido ao crescimento do comércio de café em todo mundo, principalmente por se tratar de uma bebida de consumo frequente, também gera resíduo sólido nesta etapa. O impacto ambiental negativo do consumo desta bebida tem sido estudado por meio de pesquisas que visam processos sustentáveis para a destinação destes resíduos (JENKINS, 2014; PAGE et al., 2017; MATA et al., 2018). Cerca de 90% de todo o café consumido acaba em forma de resíduo sólido, sendo que a borra é parte deste, e é gerada após a extração dos compostos solúveis do café torrado durante a preparação da bebida, seja para café expresso ou café passado (KOURMENTZA, 2018; PESHEV, 2108). Murthy (2012) estima que para cada tonelada de grão de café, 650 kg permanecem no ambiente como borra após o consumo. De

acordo com esta estimativa, teriam no ambiente cerca de 6,2 mil toneladas de borra em 2016/17, se considerado o consumo mundial de 9,5 mil toneladas neste período (ICO, 2018). Este resíduo é usualmente descartado e encaminhado aos aterros sem nenhum tratamento ou valorização e podem ter efeitos negativos sobre o meio ambiente (RODRIGUES et al., 2017; PANUSA et al., 2013).

A borra do café é caracterizada pelo alto conteúdo orgânico (polissacarídeos, proteínas, carboidratos, cafeína, aminoácidos, polifenóis) e minerais, o que desperta o interesse na sua valorização (VEGA-CAMPOS, 2015). Esses resíduos não apresentam valor comercial para ração, devido à presença de substâncias como taninos e cafeína considerados antinutricionais para alimentação animal e, quando em concentração acima de 2,5% são tóxicos para plantas e microrganismos do solo (JANISSEN; HUYNH, 2018; FULLER, 2004), mas Zhang e Sun (2017) mostraram que o uso da borra do café, associado ao esterco de vaca, reduziu o tempo de compostagem de outros resíduos orgânicos. Diversos trabalhos relatam seu uso como fonte de energia (KARMEE, 2018; ZHANG; SUN, 2017; CAETANO, 2014; CAETANO, 2012), compostagem (ZHANG; SUN, 2017; KOUTINAS, 2013), componentes farmacêuticos (PESHEV, 2018; RIBEIRO et al., 2018; GARCÍA-GUTIÉRREZ et al., 2017), ingredientes potenciais na indústria alimentícia (GIROTTO, 2018; VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, 2018; MATINEZ-SAEZ, 2017).

O potencial de queima do café pós-consumo para produção de energia é descrito por Kang e colaboradores (2017) como sendo mais baixo que as biomassas de serragem, cinza de madeira e casca de trigo, devido ao teor de umidade presente na borra. Entretanto, quando desidratada, a borra tem um aumento no potencial de queima, ficando equivalente ao da semente de girassol e, segundo Pilusa e colegas (2013), as emissões tóxicas são mais baixas quando comparadas às dos combustíveis fósseis. Apesar destes achados, nenhum estudo ainda teve como objetivo a densificação da borra do café com biomassa residual de casca de batata inglesa com e sem casca de arroz para avaliar o poder calorífico superior e inferior dos briquetes obtidos.

O setor alimentício, incluindo agricultores, atacadistas e varejistas, produz e gerencia grande quantidade de valores e recursos em escala global. Alcançar a sustentabilidade na produção, distribuição e consumo desses recursos é um fator significativo, tendo em vista que envolve o desenvolvimento social, o bem-estar, a competitividade dos atores da cadeia de abastecimento alimentar, condições ambientais, entre outros aspectos (HOOGE et al., 2018; CHABADA et al. 2013).

A Organização das Nações Unidas (ONU) incluiu nos “Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS)” (2015) uma meta específica para a redução de desperdícios de alimentos (ONU, 2015). O Objetivo 12, “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”, estabelece como meta para os países signatários reduzir até 2030 “pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita” (ONU, 2015). Adicionalmente, inclui também reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso até 2030 (ONU, 2015). Tem ocorrido um crescente interesse em estabelecer programas de prevenção e recuperação de resíduos alimentares em todo o mundo, essa preocupação ocorre visando a conservação de recursos, os custos ambientais e econômicos ocorridos através do desperdício de alimentos. Devido a estes fatores há uma tendência na indústria de gerenciamento de resíduos para a utilização de práticas mais sustentáveis (THYBERG; TONJES, 2016). Cultivar e distribuir alimentos que tornando-se resíduos gera uma grande perda, tanto em aspectos econômicos, quanto ambientais e/ou

sociais (CHABADA et al., 2013; AKKERMAN et al., 2010). Considerando que a agricultura consome mais de 25% da água doce para irrigação; a agroindústria corresponde a geração de aproximadamente um terço de todas as emissões de gases que ocasionam o efeito estufa, exigindo uso extensivo de terra, água e energia (HOOGE et al., 2018; SCHERHAUFER et al., 2018; GARNETT, 2011). Devido a quantidade de resíduos alimentares gerada em todo o mundo, seu descarte se torna um desafio. São resíduos biodegradáveis caracterizando um importante grupo de resíduos que ameaçam o meio ambiente quando destinados por exemplo para aterros, pois são conhecidos por gerar dióxido de carbono, metano e outras substâncias gasosas. Especificamente o metano é o mais abundante gás de efeito estufa gerado a partir de aterros sanitários (GIROTTI; ALIBARDI; COSSU, 2015).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de diferentes composições contendo borra de café (passado e/ou expresso), com e sem casca de arroz e casca de batata inglesa quanto ao teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico superior e inferior, resistência mecânica e monitorado da cor da fumaça.

## 2. Materiais e Métodos

Para a produção de combustíveis sólidos foi utilizada como matéria-prima a biomassa da casca de arroz, borra de café passado e expresso, e casca de batata inglesa *in natura*. A borra de café passado foi doada pelo restaurante Vô João e a borra de café expresso pelo restaurante Pedra Branca, localizados na praça de alimentação no campus Pedra Branca da Universidade do Sul de Santa Catarina.

### 2.1 Preparação dos corpos de prova

Para a preparação dos corpos de prova foi liquidificado 100 g de casca de batata com 70 ml de água (Figura 2A), a mistura foi vertida para um béquer e aquecida em chapa de aquecimento Fisaton® por cerca de 10 min na temperatura de 100 °C (Figura 2B). Quando a mistura apresentou aspecto de gel, foi acrescentada casca de arroz e/ou borra de café e agitou-se até uniformizar (Figura 2C). As massas utilizadas estão na Tabela 1, com resultados correspondentes. A mistura foi vertida em moldes PCV com 10 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro (Figura 2D), comprimidas por cerca de 1 min com 5 kg (Figura 2E). As amostras foram retiradas do molde que estavam cortados ao meio no sentido da altura (Figura 2F) e secas em estufa por 48 horas a  $50 \pm 2$  °C. Os corpos de provas foram confeccionados em quintuplicada.



**Figura 2:** Preparação dos corpos de resíduos de biomassa borra de café, casca de arroz, casca de batata inglesa, sendo (A) moagem casca de batata com água, (B) aquecimento, (C) adição dos demais componentes, (D) molde, (E) prensagem e (F) desmolde. Fonte: elaborado pelos autores.

## 2.2 Resistência mecânica à resistência à compressão

Os corpos de prova cilíndricos (10 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro) foram usados para realizar testes de compressão. Os espécimes foram submetidos a incrementos de carga até deformação plástica do material à temperatura ambiente.

## 2.3 Teor de umidade

Todos os corpos de prova foram pesados com a balança de precisão Shimadzu® previamente tarada, e levados à estufa a uma temperatura de  $105 \pm 2$  °C. Estes foram retirados da estufa e resfriados em dessecador com cloreto de cálcio anidro e pesados. A operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até peso constante (DIAS et al., 2012; ABNT NBR 8112, 1986).

## 2.4 Teor de cinzas

As amostras foram colocadas em cápsulas de porcelana para queima. Cada amostra foi transferida para um cadinho isento de umidade, pesada e levado à mufla ( $700 \pm 10$  °C) por 3 h. Após este processo, o material foi resfriado em dessecador com cloreto de cálcio anidro até massa constante (DIAS et al., 2012; ABNT, 1986).

## 2.5 Volume e densidade aparente

O diâmetro da amostra e a altura em centímetros foram medidos com um paquímetro e o volume calculado de acordo com fórmula do volume do cilindro. A densidade aparente foi calculada através da massa do corpo de prova e o seu volume (DIAS et al., 2012).

## 2.6 Poder calorífico superior e inferior

Foi utilizado o método descrito por Dias e colaboradores (2012), cuja referência foi a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, onde o Poder Calorífico Superior (PCS) em MJ/kg foi calculado utilizando o teor de cinzas (A) e o teor de umidade (M) do combustível usando a seguinte Equação 1:

$$PCS = 20,0 \times (1 - A - M) \quad (1)$$

Para o cálculo do Poder Calorífico Inferior (PCI) em MJ/kg, foi utilizado o teor de cinzas (A) e o teor de umidade (M) do combustível foi calculado segundo a Equação 2:

$$PCI = 18,7 \times (1 - A) - 21,2 \times M \quad (2)$$

## 2.7 Cor da fumaça

O ensaio foi realizado em capela de exaustão, onde os espécimes foram queimados com bico de Bunsen dentro de uma capsula de porcelana. O registro das imagens foi com o software VirtualRingelmann® (<http://virtualringelmann.com/>) de forma estacionário e a 1 m de distância da fumaça. A escala de Ringelmann foi utilizada para este teste, sendo este

adotado como sistema de medição mundial da emissão de fumaça preta de motores a diesel e chaminés industriais por meio digital (MF-0520.R-4).

### 3. Resultados e Discussão

Os combustíveis sólidos foram obtidos a partir de biomassas da casca de arroz, borra de café passado e/ou expresso, e casca de batata inglesa. A Figura 3 mostra os espécimes 2, sendo que os demais espécimes (1, 3, 4 e 5) tiveram características visuais semelhantes.



**Figura 3: Combustíveis sólidos confeccionados com biomassas de 100 g de casca de batata inglesa e 70 g borra de café expresso. Fonte: elaborado pelos autores.**

Na Figura 3 podem ser visualizados pedaços de casca de batata que não foram completamente triturados e estão presentes em todas as composições (Tabela 1). Na Tabela 1 constam os valores determinados para umidade total, teor de cinzas, poder calorífico inferior e superior para as cinco composições preparadas.

Tabela 1: Teor de umidade, teor de cinzas, Poder Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI) para cinco espécimes de combustível sólidos.

Espécimes	100 g de casca de batata e 70 ml de água			Teor de umidade [%]	Cinzas [%]	PCS [MJ/Kg]	PCI [MJ/Kg]
	Casca arroz [g]	Borra café passado [g]	Borra café expresso [g]				
1	-	70	-	9,79±0,69	7,86±2,14	16,44±0,78	15,12±0,45
2	-	-	70	15,11±2,46	8,06±2,85	15,35±0,30	13,99±0,29
3	10	60	-	10,00±0,73	4,95±0,63	17,01±0,27	15,65±0,27
4	10	-	60	9,40±0,52	5,52±1,25	17,02±0,35	15,67±0,34
5	-	35	35	14,96±4,55	5,00±0,92	16,01±0,89	14,59±0,99

Os resultados das médias do teor de umidade total dos espécimes preparados na Tabela 1 foram entre 9,40% a 15,11%, mostrando-se inferiores à umidade da lenha (25% - 30%).

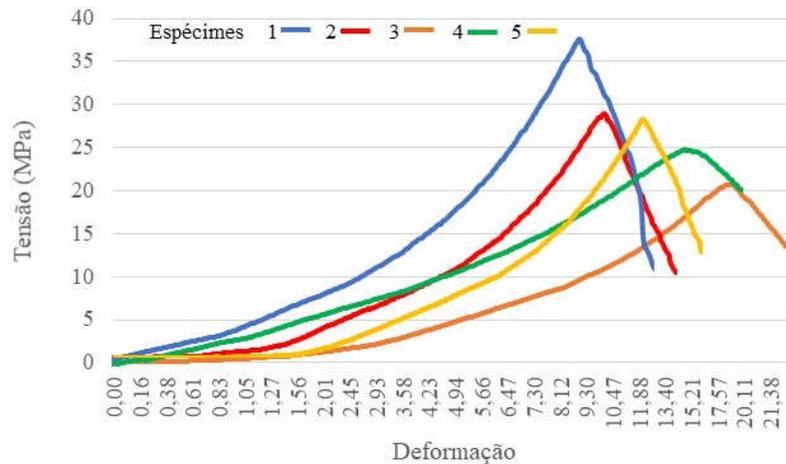
Portanto, este quesito foi atendido para que os espécimes sejam viáveis para o uso como fonte de calor (GONÇALVES et al., 2006).

O teor de cinzas para cada composição também pode ser observado na Tabela 1, e foram entre 4,95-8,06% para os cinco espécimes preparados, sendo que o menor teor de cinzas foi para o espécime 3 (DIAS et al., 2012; FOLETTO; HOFFMANN, 2005; GONDIM et al., 2005). Todas as amostras apresentam teor de cinzas inferiores aos teores de 42,16% encontrados por Morais et al. (2006) em briquetes de carvão de cascas de arroz e aos encontrados pelo nosso grupo de pesquisa para briquetes com biomassa de casca de arroz (COSTA et al., 2017). Os resultados também estão de acordo com Dias e colaboradores (2012), que afirma que a maioria dos resíduos de biomassa tem baixo teor de cinzas, exceto a casca de arroz, que pode conter até cerca de 25% de cinzas. Por isto, almeja-se que, após a queima de um combustível sólido, haja a menor quantidade de resíduos sólidos possíveis, para que o material seja utilizado na geração de calor. Deste modo evita-se problemas gerados pelas cinzas como a corrosão de equipamentos. Toda cinza formada também deve ter um destino correto.

O PCS é aquele em que a combustão se efetua a volume constante, no qual a água formada durante a queima condensa e o calor é recuperado. O PCS dos espécimes (Tabela 1) foram na faixa de 15,35-17,02 MJ/kg (Tabela 1). Para os cinco espécimes o melhor resultado foi encontrado para o espécime 4, cuja a composição foi 10 g de casca de arroz e 60 g de borra de café expresso. Segundo Dias e colaboradores (2012), os briquetes com resíduos de casca de arroz apresentam geralmente PCS de 15,90 MJ/Kg, os materiais desenvolvidos apresentaram valores próximos ou superiores. Os resultados de PCS dos espécimes ficaram próximos ou abaixo dos valores de referência da Food and Agriculture Organization (FAO) que são de 17-18 MJ/kg (ERIKSSON et al., 1990), mas foram superiores aos valores de 13,47-11,61 MJ/kg, encontrados em trabalho anterior com biomassa de casca de arroz (COSTA et al., 2017).

O PCI é a energia livre por unidade de massa de um combustível, depois de deduzidas as perdas com a evaporação da água (JARA, 1997). Por isso, é fundamental avaliar o PCI de um combustível, pois é a forma de quantificar a energia efetiva do material. O PCI dos espécimes está descrito na Tabela 1, sendo que os valores foram na faixa de 13,99-15,67 MJ/Kg. Os valores encontrados foram superiores ao da lenha (7,12-10,47 MJ/kg), acima dos avaliados por Vieira (2014) e aos encontrados para os briquetes de casca de arroz desenvolvidos anteriormente em nosso grupo de pesquisa (10,27-12,07 MJ/Kg) (COSTA et al., 2017), mas inferiores aos indicados pela FAO, que prediz a faixa de 15,4-16,5 MJ/kg (ERIKSSON et al., 1990).

A Figura 4 mostra a resistência à compressão máxima para os espécimes preparados, sendo importante, pois estes devem suportar carga suficiente para serem manuseados, transportados e armazenados sem sofrer desgaste, perda de massa ou quebras.



**Figura 4: Tensão de compressão versus deformação para espécimes 1, 2, 3, 4 e 5. Fonte: elaborado pelos autores.**

Na Figura 4, o espécime que apresentou maior resistência mecânica a compressão foi o 1, com 70 g de borra de café passado. Também pode ser observado que a presença de casca de arroz, espécimes 3 e 4, prejudicou a resistência mecânica dos combustíveis sólidos. A resistência mecânica das diferentes composições (Tabela 1) foram devido a aglutinação da celulose e hemicelulose das biomassas, além de intertravamento por meio de fibras vegetais, deste modo produziu-se espécimes com resistência mecânica apropriada para aproveitamento energético (COSTA et al., 2017; VIEIRA, 2014; PILUSA et al., 2013; CHOU et al., 2009; PAULA et al., 2011; LUZ et al., 2006; QUIRINO et al., 2005).

Para o monitoramento da cor da fumaça durante a combustão foi utilizado o software VirtualRingelmann®. A Figura 5 mostra as imagens captadas da fumaça emitida pelos espécimes 2 (Tabela 1) durante a queima, as quais foram conferidos na escala de Ringelmann.



**Figura 5: Queima de combustíveis sólido confeccionados com biomassa de 100 g de casca de batata inglesa e 70 g borra de café expresso. Fonte: elaborado pelos autores.**

Como pode ser visto nas imagens da Figura 5, a fumaça emitida durante a queima foi branca para todos os registros, encontrando-se na escala 2-3 de Ringelmann. Todos os espécimes mantiveram-se nesta faixa da escala de Ringelmann que equivale a densidade entre 40-50% da fumaça, sendo que demonstra característica predominante de combustão completa formando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

O uso de borra de café e casca de batata inglesa para geração de energia é capaz de reduzir o descarte inadequado destes e aproveitamento de biomassa residual.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os espécimes preparados com biomassas de borra de café, com e sem casca de arroz e casca de batata inglesa mostram-se aptos para serem utilizados como combustível sólido quanto ao Poder Calorífico Superior e Inferior. O melhor resultado de PCS e PCI foi para a composição de 10 g de casca de arroz, 100 g de casca de batata inglesa e 60 g de borra de café expresso, sendo este o segundo em resistência mecânica a compressão. A incorporação de biomassa alavanca a produção de novos produtos a partir de descartes da agricultura ou de alimentos. Os combustíveis sólidos preparados tratam-se de geração descentralizada de energia, e de produção nacional, podendo ser usado, por exemplo, na secagem do café ou ainda em caldeiras para diversas finalidades. O uso de biomassas pode ser ambientalmente interessante considerando-se que o gás CO<sub>2</sub> gerado é absorvido pelas plantas durante a fotossíntese, mantendo constante a sua quantidade na atmosfera. Vantagens como estas fazem com que a biomassa seja uma opção estratégica para o país. De maneira geral, a biomassa assim empregada enquadra-se perfeitamente no conceito do desenvolvimento sustentável, pois permite a criação de empregos na região, dinamiza as atividades econômicas, reduz os custos relativos à distribuição e transmissão da energia gerada e, quando utilizada de forma sustentável, não agride o meio ambiente.

Os combustíveis sólidos preparados apresentaram resistência mecânica suficiente para serem transportados e armazenados. Para trabalhos futuros sugere-se estudar a constituição das cinzas e dos gases gerados no processo de combustão.

#### Agradecimento

Aos restaurantes Vó João e Universitário Pedra branca, localizados na praça de alimentação no campus Pedra Branca da Universidade do Sul de Santa Catarina. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – Fapesc pela concessão da bolsa de mestrado para o Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (UNISUL). Também aos mestrandos Adriano Andrade Rambo, Fernando Da Silva Osório, José Ricardo Tavares e Márcio Zapicán Camargo Abella do PPGCA/UNISUL 2018 e a graduanda em Engenharia Química Karina Suldovski Pilarski.

#### REFERÊNCIAS

AKKERMAN, Renzo; FARAHANI, Poorya; GRUNOW, Martin. Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. **OR Spectrum**, v. 32, p. 863-904, 2010.

ALMEIDA, Luciana Florêncio de; ZYLBERSZTAJN, Decio. Key success factors in the brazilian coffee agrichain: Present and future challenges. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 8, n. 1, p. 217-222, 2017.

CAETANO, Nídia Sá; SILVA, Vania; MATA, Tereza. Valorization of coffee grounds for biodiesel production. **Chemical Engineering Transactions**, v. 26, p. 267-272, 2012.

CAETANO, Nídia Sá; SILVA, Vania; MATA, MELO, Ana Carolina; MATA, Tereza

Maria. Potential of spent coffee grounds for biodiesel production and other applications. **Chemical Engineering Transactions**, v. 35, p. 1063-1068, 2014.

CAMPOS-VEGA, Racio; LOARCA-PINA, Guadalupe; VERGARA-CASTAÑEDA, Haydé; OOMAH, Dave. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 24-36, 2015.

CHABADA, Lukas; DREYER, Heidi Carin; ROMSDAL, Anita; POWELL, Daryl John. Sustainable Food Supply Chains: Towards a Framework for Waste Identification. **International Federation for Information Processing**, v. 397, p. 208-215, 2013.

DIAS, Jose Manuel Cabral de Sousa; SOUZA, Daniela Tatiane de; BRAGA, Melissa; ESQUIAGOLA, Marcia Mitiko Onoyama; MIRANDA, Cesar Heraclides Behling; BARBOSA, Patricia Flavio Dias; ROCHA, Jose Dilcio. Produção de briquetes e péletes de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2012.

ESQUIVEL, Patrícia; JIMÉNEZ, Victor. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 488-495, 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization. Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction, 2013. Disponível em <http://www.fao.org/save-food/pt/>. Acesso em: 28 out. 2018.

FULLER, Malcolm. **The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition**. CABI Publishing, Oxon UK, p. 111. 2004.

GARCÍA-GUTIÉRREZ, Nataly; MALDONADO-CELIS, Maria Elena; ROJAS-LÓPEZ, Mauricio; LOARCA-PIÑA, Guadalupe Flavia; CAMPOS-VEGA, Racio. The fermented non-digestible fraction of spent coffee grounds induces apoptosis in human colon cancer cells (SW480). **Journal of Functional Foods**, v. 30, p. 237-246, 2017.

GARNETT, Tara. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in 747 the food system (including the food chain)? **Food Policy**, v. 36, p. 23-32, 2011.

GIROTTO, Francesca; ALIBARDI, Luca; COSSU, Raffaello. Food waste generation and industrial uses: A review. **Waste Management**, v. 45, p. 32-41, 2015.

GIROTTO, Francesca; PIVATO, Alberto; COSSU, Raffaello; NKENG, George Elambo; LAVAGNOLO, Maria Cristina. The broad spectrum of possibilities for spent coffee grounds valorisation. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 1, p. 695-701, 2018.

HOOGE, Ilona; DULM, Everton; TRIJP, Hans. Cosmetic Specifications in the Food Waste Issue: Supply Chain Considerations and Practices Concerning Suboptimal Food Products. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, 698-709, 2018.

ICO. International Coffee Organization, 2018. Disponível em: <http://www.ico.org/> Acesso em: 30 out. 2018.

JANISSEN, Brendan; HUYNH, Tien. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 110-117, 2018.

JENKINS, Rhodri; STAGEMAN, Natasha; FORTUNE, Christopher; CHUCK, Christopher. Effect of the type of bean, processing, and geographical location on the

biodiesel produced from waste coffee grounds. **Energy & Fuels**, v. 28, n. 2, p. 1166-1174, 2014.

KANG, Sae Byul; OH, Hong Yuong; KIM, Jong Jin; CHOI, Kyu Sung. Characteristics of spent coffee ground as a fuel and combustion test in a small boiler (6.5 kW). **Renewable Energy**, v. 113, p. 1208-1214, 2017.

KARMEE, Sanjib Kumar. A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites. **Waste Management**, v. 72, p. 240-254, 2017.

KOURMENTZA, Constantina; ECONOMOU, Christina; TSAFRAKIDOU, Panagiota; KORNAROS, Michael. Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 980-992, 2018.

KOVALCIK, Adriana; OBRUCA, Stanislav; MAROVA, Ivana. Valorization of spent coffee grounds: A review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 110, p. 104–119. 2018.

LIN, Carol Sze Ki; PFALTZGRAFF, Lucie; HERRERO-DAVILA, Lorenzo; MUBOFU, Egid; ABDERRAHIM, Solhy; CLARK, James; KOUTINAS, Nikolaos Kopsahelis; STAMATELATOU, Katerina; DICKSON, Fiona; THANKAPPAN, Samartha; MOHAMED, Zahouily; BROCKLESBY, Robert; LUQUE, Rafael. Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. **Energy & Environmental Science**, v. 6, n. 2, p. 426-464, 2013.

MATA, Tereza; MARTINS, Anetekhai; CAETANO, Nídia. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1077-1084, 2018.

MARTINEZ-SAEZ, Nuria; GARCÍA, Alba Tamargo; PÉREZ, Inés Domínguez; REBOLLO-HERNANZ, Miguel; MESÍAS, Marta; MORALES, Francisco; MARTÍN-CABREJAS, Maria; CASTILLO, Maria Dolores del. Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. **Food Chemistry**, v. 216, p. 114-122, 2017.

MENEGHELLI, Caroline Merlo; MONACO, Paola Alfonsa Vieira Lo; HADDADE, Ismail Ramalho; MENEGHELLI, Lorena Aparecida Merlo; KRAUSE, Marcelo Rodrigo. Resíduo da secagem dos grãos de café como substrato alternativo em mudas de café Conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 330-335, 2016.

MURTHY, Pushpa; NAIDU, Mandhava. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, 66, 45-58, 2012.

ONU. Organização das Nações Unidas, 2015. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu>). Acesso em: 30 out. 2018.

PAGE, Julio; ARRUDA, Neusa; FREITAS, Suely Pereira. Crude ethanolic extract from spent coffee grounds: Volatile and functional properties. **Waste Management**, v. 69, p. 463-469, 2017.

PANUSA, Alessia; ZUORRO, Antonio; LAVECCHIA, Roberto; MARROSU, Giancarlo; PETRUCCI, Rita. Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 17, p. 4162-4168, 2013.

PESHEV, Dimitar; MITEV, Dimitar; PEEVA, Ludmila; PEEV, Georgi. Valorization of spent coffee grounds—A new approach. **Separation and Purification Technology**, v. 192, p. 271-277, 2018.

PILUSA, Tsietsi; HUBERTS, Robert; MUZENDA, Edison. Emissions analysis from combustion of eco-fuel briquettes for domestic applications. **Journal of Energy in Southern Africa**, v. 24, n. 4, p. 30-36, 2013.

RIBEIRO, Helena; ALLEGRO, Margherita; MARTO, Joana; PEDRAS, Bruno; OLIVEIRA, Nuno; PAIVA, Alexandre; BARREIROS, Susana; GONÇALVES, Lidia; SIMÕES, Pedro Miguel Calado. Converting Spent Coffee Grounds into Bioactive Extracts with Potential Skin Antiaging and Lightening Effects. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, n. 5, p. 6289–6295, 2018.

RODRIGUES, Francisca; NUNES, Maria Antónia da Mota; OLIVEIRA, Maria Beatriz Prior Pinto. **Applications of recovered bioactive compounds in cosmetics and other products**. In Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications, 2017.

SANTINATO, Felipe; TICLE, Rodrigo; SANTINATO, Roberto; FERNANDES, André Luis Teixeira. Redução da adubação mineral do cafeeiro Arábica com a utilização de palhas de café. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p.324-336, 2014.

SCHERHAUFER, Susan; MOATES, Guilherme; HARTIKAINEN, Hans; WALDRON, Keyla; OBERSTEINER, Geron. Environmental impacts of food waste in Europe. **Waste Management**, v. 77; p. 98–113, 2018.

SOARES, Guilherme; SOARES, Victor; SOARES, Sammy Fernandes; DONZELES, Sérgio Maurício Lopes; MORELI, Aldemar Polonini; ROCHA, Aledir; PREZOTTI, Luiz. Efeito da água residuária do café em plantas de milho. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Aguas de Lindóia, São Paulo, 2007.

SOARES, Sammy Fernandes; DONZELES, Sérgio Maurício Lopes; DONZELES, Guilherme Fernandes Soares; MORELI, Aldemar Polonini. Utilização da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro em alface. **VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Vitória, Espírito Santo, 2009.

THENEPALLI, Thriveni; RAMAKRISHNA, Ramakrishna; AHN, Ji-Whan. Environmental Effect of the Coffee Waste and Anti-Microbial Property of Oyster Shell Waste Treatment. **에너지공학**, v. 26, n. 2, p. 39-49, 2017.

THYBERG, Krista; TONJES, David. Drivers of food waste and their implications for sustainable policy development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 106. p. 110-123, 2016.

TUCKER, Catherine. **Coffee Culture: Local Experiences, Global Connections**. Taylor & Francis, 2011.

VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, Kenia; MARTINEZ-SAEZ, Nuria; REBOLLO-HERNANZ, Miguel; DEL CASTILLO, Maria Dolores, GAYTÁN-MARTÍNEZ, Marcela; CAMPOS-VEGA, Rocio. In vitro health promoting properties of antioxidant dietary fiber extracted from spent coffee (Coffee arabica L.) grounds. **Food chemistry**, v. 261, p. 253-259, 2018.

ZHANG, Lu; SUN, Xiangyang. Using cow dung and spent coffee grounds to enhance the two-stage co-composting of green waste. **Bioresource technology**, v. 245, p. 152-161, 2017.

## O destino dos resíduos provenientes da indústria da construção civil

### *The destination of waste from the construction industry*

**Emerson Gervásio de Almeida, Doutor, Universidade Federal de Goiás.**

emersongervasio@gmail.com

**Meirilaine Silveria Rodrigues, Estudante, Universidade Federal de Goiás.**

meirilainesr@gmail.com

**Rigley César Matias Gonçalves, Estudante, Universidade Federal de Goiás.**

rigley.matias@gmail.com

### **Resumo**

O campo da construção civil é um dos setores que mais contribui com o desenvolvimento de um país, entretanto é a indústria responsável pelo maior consumo dos recursos naturais do planeta. Portanto, enorme produtor de resíduos sólidos da atualidade. Diante a grandiosidade dessa indústria, é importante a consumação de políticas públicas que invistam na diminuição e reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD). Assim, objetiva-se com esse trabalho investigar o destino dos RCD na cidade de Catalão/GO, visto que leis municipais exigem a reciclagem destes sedimentos. A metodologia utilizada é caracterizada dentro do gênero aplicada, não desconsiderando a investigação documental e bibliográfica, além de entrevistas e trabalhos de campo. Como resultado, constatou-se que o município não atua na gestão dos dejetos de construção/reforma, menosprezando as diretrizes previstas em seu Plano Diretor, o que ratifica a hipótese de que Catalão não descarta de forma correta resíduos provenientes da construção civil.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção e demolição (RCD); Sustentabilidade; Engenharia Legal.

### **Abstract**

*The construction sector is one of the sectors that contributes most to the development of a country, but it is the industry responsible for the greatest consumption of natural resources on the planet. Therefore, huge producer of solid waste today. Given the greatness of this industry, it is important to consummation public policies that invest in the reduction and reuse of construction and demolition waste (CDW). Thus, this paper aims to investigate the destination of the RCD in the city of Catalão/GO, since the municipal laws require the*

*recycling of these sediments. The methodology used is characterized within the applied genre, not disregarding documentary and bibliographic research, as well as interviews and fieldwork. As a result, it was found that the municipality does not act in the management of construction / renovation waste, neglecting the guidelines set forth in its Master Plan, which ratifies the hypothesis that Catalão does not dispose of waste correctly from civil construction.*

**Keywords:** *Construction and demolition waste (CDW); Sustainability; Legal Engineering.*

## 1. Introdução

O setor da construção civil é conhecido por ser um dos que mais oferece vagas de emprego e potencializa o desenvolvimento econômico do Brasil, desta forma, é responsável por uma considerável parcela do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (IBGE, 2016). Entretanto, ao mesmo tempo em que potencializa o capital brasileiro, esse setor impacta negativamente, em grande escala, o meio ambiente, principalmente na questão geração de resíduos, senão vejamos

O Conselho Internacional da Construção aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Sendo assim, o constante processo de urbanização pelo qual estamos submetidos traz consigo um rastro de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) que está diminuindo a qualidade de vida da população, seja em esfera ambiental – degradando o meio ambiente –, seja em âmbito estético – transformando as paisagens – ou em caráter de saúde pública – contribuindo com a proliferação de organismos causadores de doenças – e, ainda, sobrecarregando os órgãos de limpeza pública municipais.

Logo, os RCD configuram um sério problema para a sociedade. Para se ter ideia, no ano de 2003 Salvador/BA produzia, diariamente, quase 2000 t de sedimentos de construção (LIMPURB, 2004). Esse número continua alto quando se fala de uma cidade com uma quantidade menor de habitantes, segundo Moraes e Henkes (2013), o município de Caçapava/SP gera 100 t por dia de restos de atividades que envolvem a construção civil, o que corresponde a mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados pela cidade.

Fato é, portanto, que o crescimento intenso e desordenado das urbes, a contínua busca pela melhoria econômica e a negligência da população construtora contribuem para que a quantidade de RCD aumente, visto que a abordagens de controle de resíduos e reciclagem de sedimentos provenientes de construção e demolição ainda é imprudente (ABRECON, 2018).

Os problemas sociais e ambientais que acompanham os RCD requerem soluções eficientes e métodos eficazes que proporcione um fim adequado para esses sedimentos, impedindo-os de comprometer o bem-estar da sociedade.

Desta maneira, no Brasil, a maior iniciativa para melhorar essa situação veio com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em julho de 2002, que, tem por objetivo: “Art. 1º Estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais”.

Nesta mesma resolução é previsto que construtores tenha como meta prioritária “a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”, além de firmar a responsabilidade do gerador de resíduos e do município de tratar destes materiais. (Art. 4º, Resolução nº 307, CONAMA, 2002). Logo, políticas públicas que prezam pelo controle e gestão de RCD procuram incentivar empresas produtoras de resíduos a adotarem hábitos sustentáveis que reduzem o volume de dejetos e reciclem aqueles que foram produzidos.

Deste modo, objetiva-se nesse trabalho investigar qual é o destino dos RCD na cidade de Catalão/GO, partindo da hipótese de que os resíduos de obras no município não são geridos da forma correta, visto que o Art. 13, inciso XXVII, da Lei Municipal Complementar nº 3.439 de 08 de dezembro de 2016 obriga: “[...] XXVII Desenvolver política que regulamente a reciclagem e o aproveitamento de resíduos de construção civil, especialmente para uso de programas de habitação de interesse social”.

Se faz justificável essa linha de estudo tendo por base o dever de garantia da preservação do meio ambiente previsto em constituição e a busca contínua pelo bem-estar e saúde da sociedade, além de que o conhecimento contínuo sobre essa temática pode auxiliar na solução dessa questão que perturba o cenário nacional.

No que se refere aos aspectos metodológicos, o procedimento é caracterizado segundo a pesquisa aplicada e, ainda, utiliza-se artifícios da investigação documental e da pesquisa bibliográfica, não descartando entrevistas e levantamentos de campo.

Em relação aos resultados, foi possível notar que a grande parte dos RCD produzidos em Catalão/GO não passam por processos de reuso ou reciclagem, apenas são depositados em locais de “bota-fora” ou no aterro sanitário do município, sem retornar nenhum benefício para a população, indo de encontro ao previsto em lei, fato esse que ratifica a hipótese levantada e contribui com o desenvolvimento da crise ambiental.

Sendo assim, esse trabalho, que mantém vínculo ao Projeto de Pesquisa Engenharia Legal (desenvolvido na Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão – UFG/RC, o qual visa promover uma relação entre o Direito e a Engenharia, de forma a capacitar o engenheiro quanto a busca e a promoção da Justiça), estruturou-se em introdução, aspectos metodológicos utilizados, caracterização da área estudada em relação à geração de RCD, discussão dos resultados obtidos, comparação com a realidade atual de Catalão/GO com o cenário em outros países e considerações finais.

## **2. Metodologia**

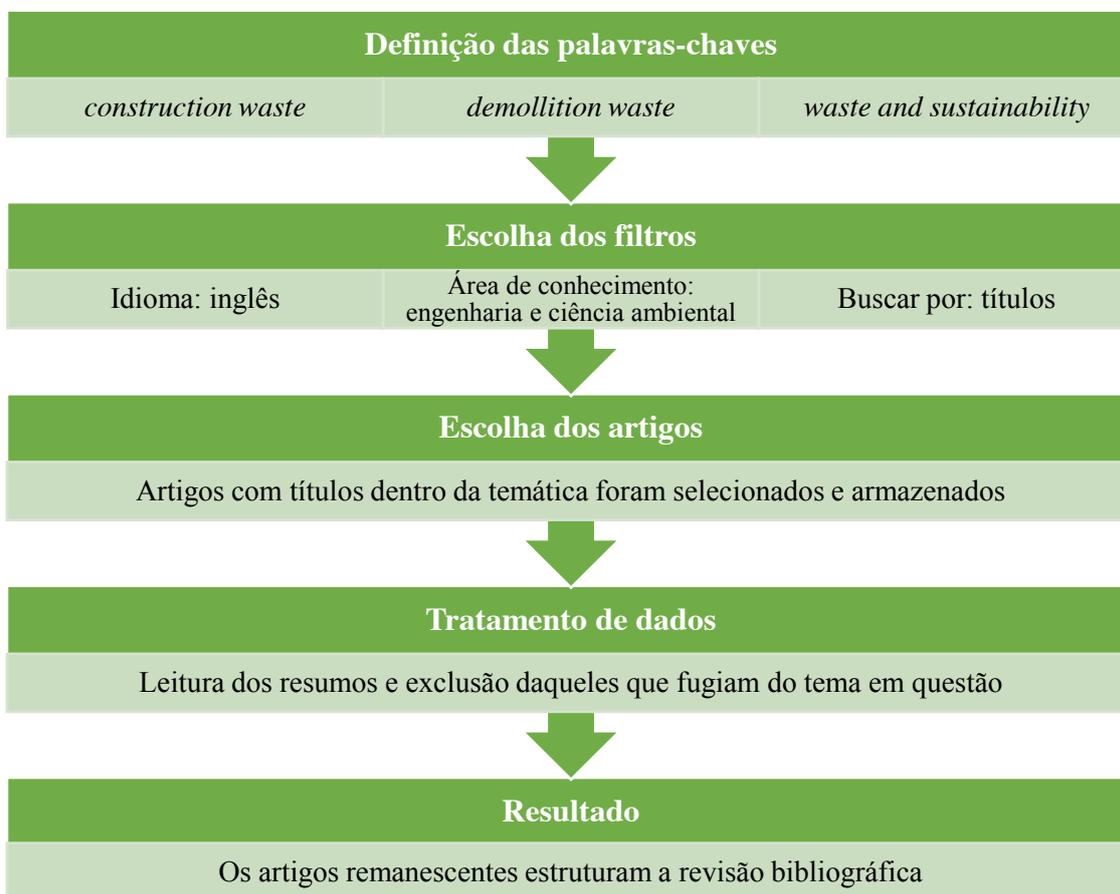
Minayo (2007, p. 44) define metodologia

a discussão epistemológica sobre o “caminho do pensamento” que o tema ou o objeto de investigação requer; b) como a apresentação adequada e justificada dos métodos, técnicas e dos

instrumentos operativos que devem ser utilizados para as buscas relativas às indagações da investigação [...].

Para a composição da revisão bibliográfica, a abordagem metodológica utilizada foi caracterizada, quanto aos seus objetivos, dentro do gênero aplicado, considerando que a pesquisa bibliográfica é um estudo das bibliografias já publicadas, em forma de livros, revistas, publicações impressas ou escritas (MARCONI; LAKATOS, 1992).

Para a seleção dos artigos, procedeu-se com a análise dos títulos e posteriormente do resumo dos trabalhos nos quais mais se encaixava com a temática, adotando a estratégia do mapeamento sistemático, levantada por Bailey *et al.* (2007) e Petersen *et al.* (2008), que consiste na busca de material em bases de dados por meio de palavras-chaves. Os bancos de dados usados foram: *Scopus* (2018) e *SciELO* (2018). As palavras-chaves usadas em cada um deles compunham: *construction waste*, *demolition waste* e *waste and sustainability*. A área de estudo foi limitada à engenharia e ciência ambiental e o idioma das buscas foi o inglês. O Quadro 1 traz um fluxograma que demonstra o passo a passo do mapeamento.



**Quadro 1: Fluxograma com as etapas que compõem a seleção de artigos. Fonte: elaborado pelos autores.**

Aliado a isso, utilizou-se também o site oficial da Prefeitura da Cidade de Catalão onde foram encontradas reportagens e informações sobre os dados utilizados nesse presente trabalho. Também foi realizado contato com algumas empresas responsáveis pelo

recolhimento de entulho das obras no município, assim como trabalho de campo para recolhimento de fotografias.

Cumpre-se, portanto, com os procedimentos metodológicos adotados, o objetivo proposto de contribuir com o estudo da problemática tratada aqui, o que possibilita dar continuidade ao embate do tema propriamente dito.

### 3. Caracterização do local de estudo perante a produção de RCD

Catalão é um município brasileiro situado na região sudoeste do estado de Goiás, a 265 km da capital Goiânia. Em 2016 o PIB *per capita* do local estava entre os 20 maiores do estado goiano, chamando atenção por sua constante tendência de crescimento (SEPLAN/GO, 2016).

Nos últimos 18 anos a população catalana aumentou cerca de 42 mil habitantes, passando de 64347 domiciliados, em 2000, para 106618, em 2018 (IBGE, 2018). Esse crescimento é reflexo da potencialização do setor empresarial, do impulsionamento do comércio e do investimento em novos cursos universitários durante esse período. Esses fatores tornaram Catalão/GO uma cidade emergente, com extremos processos de expansão e transformação, portanto, é sabido que

Com a urbanização acelerada, que resulta no rápido adensamento das cidades, e, conseguinte, o crescimento das atividades do setor construtivo, além da larga exploração dos recursos naturais, a geração de resíduos da construção e demolição (RCD) alcança índices alarmantes, produto do desperdício nas obras de construções, reformas e demolições. (HALMEMAN; SOUZA; CASSARIN, 2009 *apud* BASILEIRO e MATOS, 2011, p. 178-179)

O estudo de Rosa (2013) – o qual estima a quantidade de RCD produzidos em Catalão/GO, tendo como parâmetro estimativas populacionais para os anos seguintes – aparece como ferramenta para comprovar a expectativa de que cidades em processo de urbanização apresentam índices crescentes de produção de RCD. Essa análise é mostrada no Quadro 2.

Ano	Produção de RCD (t/dia)
2017	175,80
2022	198,20
2027	223,50
2032	252,00

**Quadro 2: Projeção da anual de RCD na cidade de Catalão/GO. Fonte: Rosa (2013) adaptado.**

Portanto, o município de Catalão mantém uma tendência crescente na taxa de produção de RCD, acompanhando o comportamento observado em locais que estão submetidos em processos intensos de desenvolvimento.

#### 4. Destino dos RCD de Catalão

Apesar do município de Catalão ser de médio porte, ele conta com um dos melhores aterros sanitários do Estado, localizado nas margens da GO – 210, próximo a região urbana da própria cidade.

Cerca de 90% dos resíduos sólidos, em geral, produzidos na cidade são direcionados para o aterro, estatística favorável, visto que este é o local correto para o encaminhamento destes materiais (PREFEITURA MUNICIPAL DE CATALÃO, 2018).

Em relação aos RCD, algumas empresas da área de construção e transporte de resíduos da cidade não descartam esses materiais no aterro. Das 6 companhias de entulho entrevistadas, constatou-se que aproximadamente 45% dos dejetos são despejados em terrenos baldios, conhecidos como locais de “bota fora”. A Figura 1 mostra dois destes espaços, localizados no Bairro Ipanema, região nordeste da cidade.

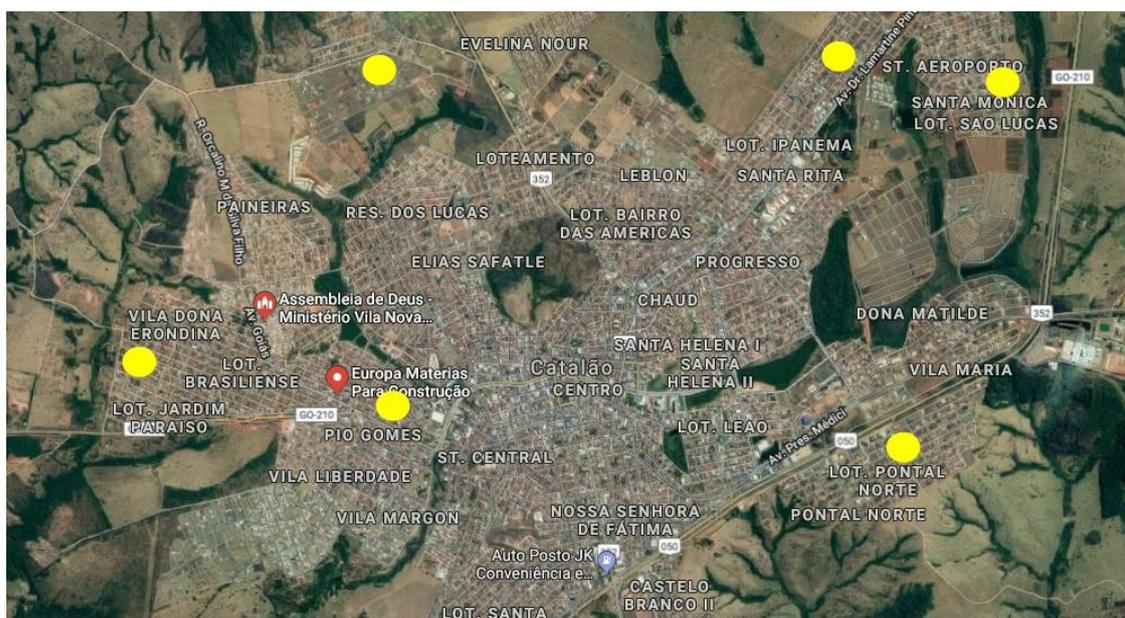


**Figura 1: Disposição dos dejetos em áreas não regularizadas. Fonte: elaborado pelos autores.**

Estes locais, em sua grande maioria, recebem, principalmente, sedimentos da Classe A (materiais cerâmicos, tijolos, azulejos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa,

concreto), inclusive, em regra, é a própria população a responsável por esse despejo, o que evidencia o despreparo dos habitantes com o manejo destes materiais.

Além do Bairro Ipanema, existem outros inúmeros pontos de descarte irregulares de RCD por toda a região catalana, como pode ser visualizado na Figura 2, em que temos um mapa da cidade e, em amarelo, locais inadequados de despejo de resíduos de construções detectados. Cada ponto amarelo representa que, naquela região, ao menos um local de descarte foi localizado. É sabido que pode haver alguns outros lugares de descarga que não estão destacados aqui.



**Figura 2: Pontos clandestinos de descarte de RCD na cidade de Catalão/GO. Fonte: elaborado pelos autores.**

A Resolução nº 307 CONAMA, em seu Art. 4º estabelece que: “§ 1º Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei”.

Logo, essa atitude está em discordância com a legislação vigente. Tal fato expõe os habitantes a riscos de saúde e compromete o meio ambiente, deixando a biosfera enfraquecida e contribuindo com obstáculos para o sistema de drenagem. O que causa danos a toda a população.

Engana-se quem imagina que a parcela de RCD direcionada ao aterro é descartada de forma correta, os sedimentos destinados a esse local não passam por nenhum processo de triagem, que consiste na separação dos resíduos de acordo com sua classe, além da inexistência de programas de tratamento para os materiais que chegam ao aterro, gerando pilhas de entulhos, como apresentado na Figura 3.



**Figura 3: Disposição de entulhos no aterro sanitário de Catalão/GO. Fonte: Prefeitura Municipal de Catalão (2018).**

Tal realidade não está em consonância com a lei, que determina:

Art. 10. Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros;

II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (CONAMA, Art. 10 da Resolução nº 307/02)

Desta forma, fica evidente que, atualmente, Catalão/GO não está cumprindo com o disposto em sua lei municipal de reciclar os RCD e investir esses produtos em obras de conjuntos habitacionais com viés popular. Nesse sentido, o município é imprudente em relação a gestão de resíduos advindos da construção e demolição e contribui para o aumento dos problemas que essa ação traz a sociedade.

Entretanto, este município tem intenções de modificar esse cenário. Para o ano de 2019, de acordo com a Prefeitura Municipal de Catalão (2018), está programado a inauguração da primeira usina de reciclagem de RCD do Goiás, com sede em terras catalanas, que tem como meta transformar os restos de construções em energia. Essa é uma iniciativa sustentável que busca levantar soluções para o destino dos sedimentos e potencializar a economia do local.

## 5. Realidade catalana comparada com a de outros países

Enquanto a cidade de Catalão/GO enfrenta dificuldades para trabalhar a gestão dos RCD, alguns países desenvolvidos apresentam planos avançados para o seu tratamento, demonstrando, assim, preocupação com os males que o manejo imprudente desses materiais pode causar.

Um bom exemplo é visto no Japão, onde existem leis que incentivam e presentear, com descontos em tarifas, organizações que adotam, em suas obras, materiais de origem reciclada, além de estipular obrigatoriedade de triagem de RCD e entrega destes em centros responsáveis por transformá-los em matérias para reuso (SCHNEIDER E PHILIPPI, 2004).

Murakami (2002) nos mostra que, na Suécia, o processo de demolição é controlado pelo governo, sendo necessário a elaboração de um documento constando cada tipo de resíduo e qual será o seu destino para ser entregue às autoridades e, apenas com a aprovação, a demolição pode ser realizada, punindo com multas severas quem descumprir essas diretrizes.

Cobrança elevada para permissão de despejo de RCD em aterros é uma técnica usada na República Tcheca e França, John (2000) afirma que essa estratégia previne a deposição no solo de materiais que serviriam para reciclagem.

E, por fim, o caso da Dinamarca, outro país portador de uma rigorosa legislação acerca da produção e eliminação de RCD. As empresas dinamarquesas são submetidas, desde 1990, a taxas milionárias de impostos sobre resíduos não reciclados, o que acarreta a uma produção de sedimentos controlada e técnicas de reuso dos mesmos. Esse instrumento é aplicado desde a grandiosas edificações até a pequenas obras, submetendo toda a população ao controle máximo de geração de dejetos da construção civil. Essa política é tão bem-sucedida que foi estabelecido uma meta de reciclar 90% dos restos de obras e demolições até o ano de 2006, porém no ano de 1997 essa meta já havia sido atingida, mantendo esse ritmo até os dias atuais (WASTE CENTRE DENMARK, 2010).

No geral em muitos países da Europa o mercado da reciclagem desse tipo de resíduo é bastante explorado, dentre outros motivos, devido à escassez de recursos naturais presente no continente, onde, assim, nesses países se percebe o apreço e a necessidade de lidar com questões ambientais.

Desta maneira, Catalão/GO, assim como grande parte das cidades brasileiras, tem muito a aprender com modelos que deram certo. Ao investir em políticas sustentáveis, o município garantirá o bem-estar social e poderá impulsionar a economia local, além de demonstrar um bom exemplo para as demais cidades, porém o cenário brasileiro não colabora com essa iniciativa, visto que menos de 50% dos candidatos à presidência do país no ano de 2018 apresentavam, em seus planos de governo, propostas que envolviam medidas sustentáveis (ALMEIDA; GONÇALVES; RODRIGUES, 2018). Contudo, conforme já mencionado, Catalão/GO tem planos para colaborar com a causa, pois está prevista para 2019 a abertura da planejada usina de reciclagem de RCD no município, o que pode ser o primeiro passo rumo à melhoria desse quadro.

## 6. Considerações Finais

Essa negligência à gestão de RCD vivenciada no presente momento, caso não tratada, influenciará as gerações futuras, desta forma se faz necessário investimentos em políticas sustentáveis que versam sobre a temática, além da fiscalização e punição para grandes geradores de resíduos sem práticas de reciclagem.

Isto posto, o estudo sobre o tema apresentado traz argumentos de que hoje Catalão/GO é apenas mais um dos aproximadamente 5000 municípios que não faz o despejo correto dos resíduos sólidos oriundos da construção civil conforme estabelecido em lei. Atitude essa que contribui para a proliferação de agentes causadores de doenças, compactua com a crise ambiental, causa o assoreamento dos rios e encostas e transforma as paisagens do local de descarte.

Entretanto, essa realidade poder vir a ser contornada, visto que Catalão/GO possui um planejamento futuro de abertura da primeira usina de reciclagem de RCD do estado de Goiás, transformando os sedimentos em energia. Desta maneira, os resíduos poderão ser reusados em atividades que beneficie a população, entrando em consonância com o Art. 13 da Lei Municipal Complementar nº 3439 de 08 de dezembro de 2016. Porém, essa é uma resposta apenas para o sintoma do problema, pois enquanto a geração descontrolada de RCD não for revertida, as pilhas de entulho não deixarão de aparecer.

Assim, conclui-se que é por meio de políticas públicas, fiscalização e punições que poderemos mudar o cenário atual de geração e reciclagem de RCD, conscientizando a indústria construtiva a produzir o menos possível de resíduos e reciclar aqueles existentes.

Além do exposto acima, este trabalho torna-se mais uma ferramenta de fomento à formação de engenheiros que se preocupam com o bem-estar social e com as gerações futuras, proporcionando uma visão sustentável-legal e humanística, atendendo as demandas advindas da sociedade.

## Referências

- ALMEIDA, E. G.; GONÇALVES, R. C. M.; RODRIGUES, M. S. **Habitação Popular Sustentável: Os presidentiáveis abordam essa temática?** (p. 5). 2018.
- ABRECON. 2018. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/>>. Acesso em: 29 de nov. de 2018.
- BAILEY, J.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KITCHENHAM, B.; BRERETON, P.; LINKMON, S. **Evidence relating to Object-Oriented software design: A survey.** In: First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. Computer Society, 2007, Madri. Anais... Madri: ESEM, 2007.
- BASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** 2011 Universidade Federal do Piauí. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>> Acesso em: 03 de dez. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de Julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

CATALÃO. Lei Complementar Municipal nº 3.439 de 08 de dezembro de 2012. Disponível em: <[http://www.catalao.go.gov.br/site/v4/uploads/leismunicipais/lei\\_complementar\\_n\\_3.439-2016\\_\(vers%C3%A3o\\_com\\_anexos\).pdf](http://www.catalao.go.gov.br/site/v4/uploads/leismunicipais/lei_complementar_n_3.439-2016_(vers%C3%A3o_com_anexos).pdf)>. Acesso em: 18 de dez. 2018.

HALMEMAN; SOUZA; CASSARIN, 2009 *apud* BASILEIRO e MATOS, 2011, pag. 178-179. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Universidade Federal do Piauí. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>> Acesso em: 03 de dez. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censos Demográficos. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2018.

JOHN, V. M. **Reciclagem De Resíduos na Construção Civil**: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LIMPURB. **Relatório anual de atividades da LIMPURB - 2004**. Salvador, 2004.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Editora Atlas, 1992. 4ª ed.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

MORAES, N. C. de; HENKES, J. A. **Avaliação do programa de gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição, no município de Caçapava-SP**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v.2, n.1, p.113-134, 2013

MURAKAMI, S. *et al.* **Sustainable building and policy design**. Tokyo, Inst. Int. Building Housing, 2002 p. 16

PETERSEN, K.; FELDT; R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**. School of Engineering, Blekinge Institute of Technology. Universidade de Bari, Itália, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CATALÃO. Disponível em: <<http://www.catalao.go.gov.br>>. Acesso em 17 de dez. 2018.

ROSA, A. M. M. **Proposta de Implantação de uma Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), como instrumento de gestão ambiental**. 2013. Disponível em: <[https://deciv.catalao.ufg.br/up/620/o/TCC\\_ALESSANDRO\\_MARTINS\\_MACHADO\\_ROSA.pdf](https://deciv.catalao.ufg.br/up/620/o/TCC_ALESSANDRO_MARTINS_MACHADO_ROSA.pdf)> Acesso em: 29 de nov. 2018.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI, A. **Ambiente Construído**. Vol. 4, 2004.

SEBRAE. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, Reutilização e Reciclagem**. S.d. Disponível em: < [http://www.fieb.org.br/Adm/Conteudo/uploads/Livro-Gestao-de-Residuos\\_id\\_177\\_xbc2901938cc24e5fb98ef2d11ba92fc3\\_2692013165855\\_.pdf](http://www.fieb.org.br/Adm/Conteudo/uploads/Livro-Gestao-de-Residuos_id_177_xbc2901938cc24e5fb98ef2d11ba92fc3_2692013165855_.pdf) > Acesso em: 22 de nov. 2018

SEGPLAN/GO. **Gestão e Planejamento**. 2016. Disponível em: <<http://www.segplan.go.gov.br/>> Acesso em: 18 de dez. 2018.

WASTE CENTRE DENMARK. **Waste from Buildings and Construction Activities**. Disponível em: <<http://www.wasteinfo.dk>>. Acesso em: 28 de Nov 2018.

## **ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DA FRAÇÃO LÍPIDICA EXTRAÍDA A PARTIR DE EFLUENTE COLETADO EM UMA ETE PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

*Analysis of the use of lipid fraction extracted from effluent collected in ETE  
for biodiesel production*

**Kelly Lima de Almeida Alves, Engenheira Química.**

E-mail: kelly\_limalmeida@hotmail.com

**Lívia Savioli Manetta, Msc. Engenharia Química.**

E-mail: livia.savioli@yahoo.com.br

### **Resumo**

Este trabalho objetivou-se extrair a fração lipídica presente em um lodo primário, o qual foi coletado em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), visando aproveitá-lo como matéria-prima para produção do biodiesel. A extração foi realizada em um sistema contínuo sólido-líquido utilizando um aparelho Soxhlet, o solvente escolhido foi o n-hexano e obtivemos um rendimento de 11% p/p. Foram analisadas algumas propriedades físico-químicas do óleo extraído como: índice de acidez, índice de peróxido e teor de umidade e os resultados demonstraram a necessidade de um refino deste óleo antes de sua aplicabilidade como matéria-prima na produção de biodiesel.

**Palavras-chave:** Extração Soxhlet; Lodo de esgoto; Biodiesel.

### **Abstract**

*This work aimed to extract the lipid fraction present in a primary sludge, which was collected in a Wastewater Treatment Plant (WTP), aiming to take advantage of it as raw material for biodiesel production. Extraction was performed in a solid-liquid continuous system using a Soxhlet apparatus, the solvent chosen was n-hexane and yielded a yield of 11% w / w. Some physical-chemical properties of the extracted oil were analyzed as acidity index, peroxide index and moisture content and the results demonstrated the need for a refining of this oil before its applicability as a raw material in biodiesel production.*

**Keywords:** Soxhlet extraction; Sewage sludge; Biodiesel.

## 1. INTRODUÇÃO

O lodo provindo da estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE) é um resíduo sólido rico em matéria orgânica e nutrientes resultante dos processos de tratamento primário e secundário. Esses tratamentos são necessários para adequar o efluente que chega à estação aos padrões de lançamento imposto pela legislação vigente. Contudo devido ao crescimento contínuo da população e conseqüente aumento do volume de esgoto gerado, a destinação final deste resíduo tem se tornado uma etapa problemática nas ETE's. Normalmente esse resíduo é descartado em aterro sanitário e apresenta um custo elevado para as empresas de tratamento que pode chegar até 50% do orçamento operacional (BETTIOL e CAMARGO, 2006; SAITO, 2007).

Apesar desse resíduo sólido ser rico em nutrientes, ainda é tratado como um produto indesejável e é descartado diariamente sem que suas qualidades sejam aproveitadas. Atualmente existem diversas aplicações do uso do lodo de esgoto e os mais usuais são: 1) uso agrícola como compostagem e fertilizantes; 2) recuperação de solos degradados; 3) conversão em óleo combustível e 4) reúso industrial, como por exemplo, na fabricação de tijolos e cerâmicas e produção de cimento. Entretanto, além dos nutrientes, o lodo de esgoto apresenta em sua composição diversos poluentes, como por exemplo, metais pesados, compostos orgânicos e organismos patogênicos. Desta forma, faz-se necessário conhecer a composição química do lodo antes de sua aplicação, buscando sempre maximizar seus benefícios e minimizar os riscos sanitários e ambientais (BETTIOL e CAMARGO, 2006; SAITO, 2007).

O lodo de esgoto também vem ganhando bastante atenção devido à quantidade significativa de óleos e gorduras presente em sua composição, cerca de 10% da fração lipídica pode ser encontrada no lodo primário, sendo que essa porcentagem pode variar pra mais de acordo com a educação sanitária da população e/ou época do ano. Esses óleos e gorduras são indesejáveis no sistema de tratamento de esgoto, porém podem ser promissores para a produção de biodiesel. As principais fontes de óleos e gorduras encontradas no lodo de esgoto são provenientes de: margarinas, óleos de cozinhas, gorduras de carnes, dejetos humanos e óleos minerais como, por exemplo, querosene e óleos lubrificantes oriundos de oficinas mecânicas ou postos de gasolina (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A extração da fração lipídica presente no lodo pode ser feita mediante ao contato do material sólido com um solvente adequado em um sistema de extração contínua sólido-líquido, utilizando o aparelho Soxhlet. O processo baseia-se na transferência de massa do analito de interesse (soluto) que sai do interior do sólido e passa para a fase do solvente. O solvente tem por finalidade dissolver o soluto de interesse e não interagir com os demais componentes da amostra, à medida que o solvente vai entrando em contato com o sólido vai enriquecendo-se cada vez mais com o soluto de interesse. Após o processo o soluto é recuperado por meio de um sistema de destilação simples (FOUST, 1982; ORDÓÑEZ et al., 2005).

O Soxhlet é um aparelho laboratorial inventado por Franz Von Soxhlet e vem sendo utilizado por muitos anos principalmente para extrair lipídeos em amostras sólidas. Esta técnica inicia-se colocando a amostra na câmara central do Soxhlet e anexando o aparelho a um balão volumétrico contendo o solvente extrator. Durante a operação o solvente é aquecido e goteja-se sobre a amostra em um refluxo constante, esse refluxo permite que o

solvente dissolva e arraste o analito de interesse. A técnica apresenta como vantagem o fato do solvente ficar em contato com a amostra durante todo processo de extração, porém há necessidade de um tempo longo para o processo e este fato acaba caracterizando-se uma desvantagem (RAAMAN, 2006).

Os estudos voltados para o uso do óleo extraído a partir do lodo de esgoto como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel têm por intuito ajudar na redução do custo total de produção, uma vez que o custo com matéria-prima constitui entre 75 a 95%, sendo esta a maior barreira na comercialização deste biocombustível (PANDEY et al., 2011). No entanto, o óleo proveniente do lodo de esgoto apresenta um elevado teor de ácidos graxos livres, resultante da degradação dos triglicerídeos, indicando a necessidade de um refino deste óleo para melhor aproveitamento de seus benefícios na produção de biodiesel.

O biodiesel é conhecido mundialmente como um combustível alternativo renovável para substituição dos combustíveis derivados do petróleo, quimicamente ele é definido como éster alquílico de ácido graxo de cadeia longa derivado de fonte lipídica renovável, como por exemplo, óleo de soja, palma, canola, algodão, milho, entre outros. Porém com o crescimento do consumo e da demanda, o aumento do uso de vegetações com fonte de produção de biodiesel tem trazido grandes preocupações, visto que para suprir a demanda faz-se necessário a ampliação das áreas de plantio, afetando diretamente o meio ambiente, já que pode acarretar em desmatamento para expansão dessas áreas. Assim, o óleo extraído do lodo de esgoto é um candidato potencial para produção de biodiesel, além de estar disponível em grandes quantidades em todo mundo. (DERMIBAS, 2008; LEMOS e STRADIOTTO, 2012).

O intuito do reaproveitamento deste resíduo como matéria-prima para produção de biodiesel e outros fins são: preservar os recursos naturais, proteger o meio ambiente, reduzir o custo gerado nas ETE's com o descarte deste resíduo, tornar o biodiesel economicamente viável e diminuir a interferência do óleo no tratamento de esgoto.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é extrair a fração lipídica do rejeito gerado em uma estação de tratamento de esgoto doméstico e realizar análises físico-químicas para avaliação de sua qualidade e propriedades visando seu aproveitamento na produção de biodiesel. Este trabalho também destaca a importância de voltarmos nossa visão para o reaproveitamento de resíduo, transformando-o em um recurso promissor, diminuindo assim a necessidade de extração dos recursos naturais.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Coleta da amostra**

O lodo de esgoto utilizado na pesquisa foi coletado em uma estação de tratamento de esgoto localizada em Sorocaba - SP ao qual é gerenciada pela companhia de Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Situada na zona leste de Sorocaba, a ETE S1 é responsável pelo tratamento de 700 litros de esgoto por segundo, o que equivale a aproximadamente 60.480.000 litros de esgoto por dia que deixam de retornar ao rio

Sorocaba. Em período de operação normal é retirado da estação cerca de 60 toneladas de lodo desidratado diariamente.

A amostra de lodo de esgoto foi retirada de uma bomba que alimenta o tanque de aeração da estação em um recipiente plástico. Este lodo corresponde ao lodo primário (lodo bruto) que é retirado após a sedimentação dos sólidos no decantador primário, antes de passar pelo processo de degradação da matéria orgânica no tanque de aeração.

### 3.2 Preparo da amostra

Após a coleta, a amostra foi encaminhada para o laboratório, ao qual passou por um processo de secagem, visando retirar toda a umidade da amostra e transformá-lo em um material sólido, em seguida este material foi triturado a fim de maximizar o contato do soluto com o solvente durante todo o processo de extração.

### 3.3 Método de extração da fração lipídica

A metodologia escolhida para extração do óleo foi o método de Soxhlet (Figura 1), segundo o método IUPAC 1.122 (1979) usando n-hexano como solvente, em um período de 6 horas de extração. A amostra sólida já preparada foi pesada e envolta por um papel filtro, a qual posteriormente foi transferida à câmara central do Soxhlet e acoplada a um balão volumétrico contendo o solvente. O volume do solvente foi o suficiente para atingir o sifão do equipamento e permitir um refluxo contínuo durante todo processo de extração.



Figura 1: método Soxhlet. Fonte: elaborada pelos autores

O processo de extração é iniciado a partir do aquecimento do balão cujo aumento da temperatura ocasiona a evaporação do solvente, fazendo com que o mesmo se desloque em

direção ao condensador. O vapor ao entrar em contato com o condensador, se condensa, gotejando e cobrindo o cartucho que contém a amostra a ser extraída. Este sistema permite que o óleo seja transferido do sólido para o solvente através de repetidas lavagens, fazendo com que o solvente seja enriquecido com o óleo que se deseja extrair.

Após o período de extração, o solvente foi recuperado usando um aparelho de destilação e o óleo extraído foi levado a uma estufa a 105°C para eliminação de possíveis restos de solvente e umidade que possam comprometer o resultado do rendimento.

### 3.4 Análise da qualidade da fração lipídica

Para verificação da qualidade da fração lipídica obtida foram realizadas análises do índice de acidez, índice de peróxido e teor de umidade de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### 3.3.1 Índice de acidez

Pesou-se aproximadamente 2 g do óleo extraído do lodo em um frasco erlenmeyer e em seguida adicionou-se 25 mL de solução de éter-álcool (2:1) juntamente com duas gotas do indicador fenolftaleína. Realizada a titulação com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 M até a mudança de coloração. Com o valor do volume gasto na titulação é possível determinar o índice de acidez (mg de NaOH/g), segundo a Equação (1) descrita abaixo:

$$\frac{V \times f \times 5,61}{P} \quad (1)$$

Sendo:

V – nº de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação; f – fator da solução de hidróxido de sódio; P – nº de g da amostra.

A determinação da acidez nos fornece um dado importante na avaliação do estado de degradação do óleo, altos valores no índice de acidez indica que o produto está sofrendo quebra em suas cadeias, seja ela por hidrólise, fermentação ou por oxidação. Este processo de degradação libera o principal constituinte do óleo, o ácido graxo, elevando assim a concentração de íons H<sup>+</sup> no produto. O índice de acidez pode ser definido como a quantidade (em mg) de base (NaOH ou KOH) necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes em 1g da amostra (LEMOS e STRADIOTTO, 2012; IAL, 2008).

#### 3.3.2 Índice de peróxido

Pesou-se aproximadamente 5 g da amostra do óleo de lodo em um erlenmeyer e adicionou-se 30 mL da solução de ácido acético-clorofórmio (3:2). Em seguida, adicionou-se 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio. Após repouso de 1 minuto, ao abrigo da luz, adicionou-se à mistura 30 mL de água destilada. Realizada a titulação com solução de tiosulfato de sódio 0,1 M sob constante agitação até o quase desaparecimento da coloração amarela. Adicionou-se na mistura 0,5 mL de solução de amido solúvel 1% e

continuou-se a titulação com solução de tiosulfato de sódio 0,1 M, até o desaparecimento da coloração azulada. Para prova em branco foi realizado o mesmo procedimento descrito acima, porém sem a presença da amostra de óleo. Com os valores dos volumes gastos na titulação da amostra e da prova em branco é possível determinar o índice de peróxido (mEq Peróxido/1000g), segundo a Equação (2) descrita abaixo:

$$\frac{(A - B) \times N \times f \times 1000}{P} \quad (2)$$

Sendo:

A – nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 (ou 0,01 N) gasto na titulação da amostra; B – nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 (ou 0,01 N) gasto na titulação do branco; N – normalidade da solução de tiosulfato de sódio; f – fator da solução de tiosulfato de sódio; P – nº de g da amostra.

A estabilidade oxidativa é um parâmetro para avaliar o grau de oxidação do óleo. A autooxidação é ação direta do oxigênio atmosférico sobre as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados, podendo formar compostos insolúveis de alto peso molecular. (KNOTHE et al., 2005; JORGE, 2009).

### 3.3.3 Perda por dessecação (umidade) – secagem direta em estufa a 105°C

Pesou-se aproximadamente 8 g da amostra em um cadinho de porcelana (previamente tarado e seco em estufa a 105°C) e levou-se a estufa para aquecimento a 105°C. Após 3 horas, retirou-se da estufa e resfriou-se em um dessecador - Repete o procedimento até obter um peso constante. Com os valores do peso da amostra antes da secagem e após a secagem é possível determinar a % (m/m) de umidade ou substâncias voláteis a 105°C conforme a Equação (3) descrita abaixo:

$$\frac{N}{P} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

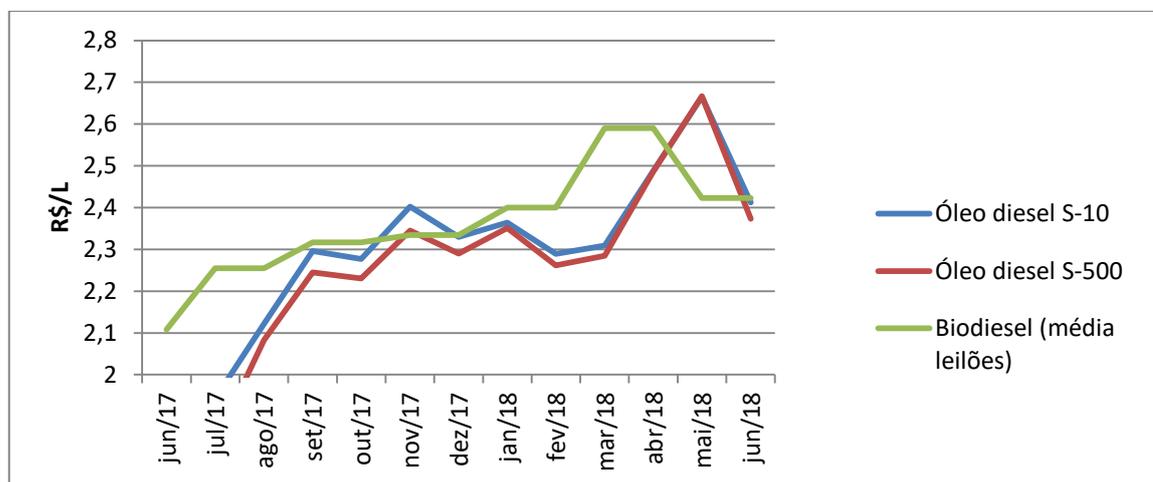
N – nº de gramas de umidade (perda de massa em g); P – nº de gramas da amostra.

A determinação da umidade e materiais voláteis também nos auxiliou na avaliação da qualidade do óleo. A presença de umidade no óleo pode promover a quebra dos triglicerídeos, principal componente dos óleos, gerando ácidos graxos livres (LEMONS e STRADIOTTO, 2012; KNOTHE et al., 2005).

## 4. RESULTADOS

O Gráfico (1) abaixo apresenta dados que demonstram o cenário brasileiro do preço médio do biodiesel no produtor, nos períodos de jun/17 a jun/18 e compara com o diesel S-10 e S-500 nos mesmos períodos. Durante quase todos os meses referente no estudo o biodiesel encontra-se acima do valor da média do diesel, somente em dezembro de 2017 ele se mostrou próximo do preço médio do diesel, tendo seu pico máximo em março de

2018, onde o preço médio do biodiesel no produtor foi de R\$2,59, sendo 11,3% superior à média do diesel que foi de aproximadamente R\$2,29 (ANP, 2018). A partir destes dados fica clara a urgência da busca por fontes de matéria-prima de baixo custo para produção de biodiesel que viabilize o uso deste biocombustível como alternativa na substituição dos combustíveis derivado do petróleo.

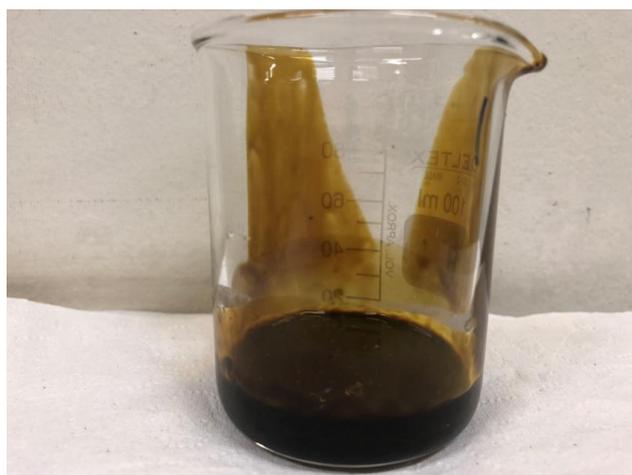


**Gráfico 1: Preço de venda no produtor. Fonte: ANP, elaborada pelos autores.**

No entanto, antes da escolha da matéria-prima é importante considerar a quantidade de óleo extraído e os custos com o processo de extração que são dois fatores determinantes para se viabilizar o uso deste material como fonte promissora na produção de biodiesel. Esta metodologia usando como solvente o n-hexano nos permitiu um bom rendimento de 11% p/p de óleo, tendo um grande potencial para uso na produção de biodiesel, visto que está disponível em abundância em todo mundo.

O n-hexano foi o solvente escolhido para este tipo de extração devido seu baixo ponto de ebulição, o que diminui a decomposição do óleo; dissolve o óleo com facilidade; de fácil volatilização na recuperação do solvente; porém apresenta como desvantagem ser altamente inflamável e tóxico (JORGE, 2009). Na etapa de recuperação do solvente observamos perdas consideráveis do solvente durante o processo. As perdas estimadas foram de 36 a 40 % do volume total do solvente.

O óleo extraído (Figura 2) apresentou-se viscoso a temperatura ambiente, coloração castanho escuro e odor forte. Como o intuito deste trabalho é o aproveitamento deste óleo na produção de biodiesel, após a extração foram determinadas algumas propriedades do óleo através de análises físico-químicas para avaliação da qualidade da fração lipídica extraída, o entendimento dessas propriedades é essencial uma vez que as propriedades do biodiesel produzido dependem intimamente das propriedades e composição da matéria-prima.



**Figura 2: Fração lipídica extraída. Fonte: elaborada pelos autores**

Conforme observado na Tabela 1, o valor do índice de acidez apresentou-se elevado 7,7 mgKOH/g, altos teores de ácidos graxos livres podem inviabilizar o uso desta matéria-prima para produção de biodiesel pela rota convencional e mais econômica, utilizando catalisador alcalino, uma vez que reagirá com o catalisador formando sabão, reduzindo assim o rendimento do biodiesel e dificultando a etapa de purificação (DERMIBAS, 2008). O valor máximo desejado para o processo de transesterificação alcalina é de 3,0 mgKOH/g, sendo necessário tomar medidas corretivas antes de se iniciar o processo como, por exemplo, esterificação dos ácidos graxos livres seguido de transesterificação (SILVA e NETO, 2013; PANDEY et al., 2011).

Altos teores de ácidos graxos livres pode inclusive também indicar a presença de água na amostra de óleo, dado que a presença de água pode promover a hidrólise do óleo liberando ácidos graxos livres. É recomendável que o valor de teor de umidade não ultrapasse 0,10%. A amostra apresentou um teor de umidade acima do desejado, que além de levar a hidrólise do óleo, pode promover a desativação do catalisador durante o processo de transesterificação (SILVA, 2011; JORGE, 2009).

Outro fator importante a ser comentado é o índice de peróxido, em casos onde a matéria-prima apresenta elevado índice de peróxido, faz-se necessário a utilização de antioxidantes para retardar ou inibir significativamente sua tendência à oxidação, visto que a autooxidação pode comprometer a utilização do biocombustível produzido a partir desta matéria-prima (JORGE, 2009).

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	VALOR
Umidade – secagem direta a 105°C	% massa	3,2
Índice de acidez	mgKOH/g	7,7
Índice de peróxido	mEq Peróxido/kg	24

**Tabela 1: Análises físico-químicas da fração lipídica extraída. Fonte: elaborada pelos autores**

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O rendimento do óleo extraído nesta pesquisa foi satisfatório e encontra-se em consonância com o valor encontrado na literatura, porém não foi realizado um levantamento dos custos para essa extração, necessitando ser mensurados nos próximos trabalhos. Após a extração foi observado perdas do solvente que chegaram até 40% do volume total, sendo necessárias ações que previnam tais perdas e torne mais eficiente à extração.

Conforme os valores obtidos após as análises foram observados que o óleo provindo do lodo de esgoto apresenta altos teores de ácido graxos livres e umidade, sendo necessário tomar medidas corretivas antes de se iniciar o processo como, por exemplo, esterificação dos ácidos graxos livres, seguido de transesterificação.

Recomendações: 1) Análise cromatográfica para conhecimento da composição dos ácidos graxos presentes no óleo extraído, uma vez que a determinação por índice de acidez e peróxidos expressa somente as propriedades do óleo e não as porcentagens dos seus constituintes; 2) Análise dos metais presentes no óleo como,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Mg}^+$ , dado que o óleo extraído pode não ser constituído unicamente de lipídios, mas pode conter outros compostos presente no lodo que podem ser arrastado juntamente com o solvente. 3) Análise do sólido inerte, visando reaproveitá-lo, seja na compostagem ou nas indústrias de cerâmica, cimento, etc.

## REFERÊNCIAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resultados dos leilões**. Jun/2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/distribuicao-e-revenda/leiloes-de-biodiesel/leiloes-de-biodiesel-interna>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Preço de produtores e importadores de derivados de petróleo**. Dez/2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa meio ambiente, 2006. 25-26p.

DERMIBAS, Ayhan. **Biodiesel – A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines**. Springer, 2008. 65, 69, 102, 114, 116, 122p.

FOUST, Alan S. et al. **Princípios das operações unitárias**. 2ªed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 13p.

Instituto Adolfo Lutz (IAL) – **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 2008. São Paulo. 98 e 595-597p. Disponível em: <[http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016\\_3\\_19/analisedealimentosial\\_2008.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2018.

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). **Standard methods for analyses of oils, fats and derivatives**. 1979. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Bz8XBQAAQBAJ&pg=PR4&lpg=PR4&dq=Standard+methods+for+the+analysis+of+oils,+fats+and+derivatives,+6th+ed+section+I&source=bl&ots=XmFdd4NSSn&sig=TOHkM69-XrqupPNA0213WCLy-gI&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKewjt75inmKrfAhWCS5AKHa21Ccw4ChDoATACegQIBBAB#v=onepage&q=Standard%20methods%20for%20the%20analysis%20of%20oils%2C%20fats%20and%20derivatives%2C%206th%20ed%20section%20I&f=false>>. Acesso em: 18 dez. 2018

JORDÃO, Eduardo P e PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6º ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 51-52p.

JORGE, Neuza. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2009. 54, 61, 67 e 114-115p.

KNOTHE, Gerhard e GERPEN, Jon Van e KRAHL, Jürgen. **The Biodiesel Handbook**. AOCS Press, 2005. 10 - 11, 16 e 50 p.

LEMONS, Eliana G. M. e STRADIOTTO, Nelson R. (Org.). **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. 855-856, 936-938, 980 e 999p.

ORDÓÑEZ, Juan A. et al. **Tecnologia de alimentos – Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 281-282p.

PANDEY, Ashok et al. **Biofuels – Alternative Feedstocks and Conversion Processes**. 1. ed. Academic Press, 2011. 315, 317, 363 e 375.

RAAMAN, N. **Phytochemical techniques**. Pitam Pura: NIPA, 2006. 12-13p.

SAITO, Maria L. **O uso de lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos.** Jaguariúna: Embrapa meio ambiente, 2007. 8-9 p.

SILVA, Tatiana A. R. **Biodiesel de óleo residual: produção através da transterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais.** 2011. 152f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17506/1/t.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

SILVA, Tatiana A. R. e NETO, Waldomiro B. Estudo da redução da acidez do óleo residual para a produção de biodiesel utilizando planejamento fatorial fracionado. **Revista Virtual de Química**, Uberlândia, v. 5, n. 5, Set/Out. 2013. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v5n5a05.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

## **Ventilação cruzada e noturna como estratégia de resfriamento passivo em edifício institucional no contexto climático de Brasília/DF**

### ***Cross-ventilation and night ventilation as a passive cooling strategy in institutional building in the climatic context of Brasília/DF***

*Ayana Dantas de Medeiros*

Universidade de Brasília, mestranda em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).  
ayana@aluno.unb.br

*Guilherme de Sousa Fernandes*

Universidade de Brasília, mestrando em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).  
guilherme.sousa.fernandes@gmail.com

*Rhaiana Bandeira Santana*

Universidade de Brasília, mestranda em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).  
rhaiana.bs@gmail.com

*Thiago Augusto Tavares*

Universidade de Brasília, mestrando em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).  
yobel.tg@gmail.com

*Cláudia Naves David Amorim*

Universidade de Brasília, doutora pela Technologie Energetiche ed Ambientali, Università degli Studi di Roma La Sapienza.  
clamorim@unb.br

### **Resumo**

Esse estudo investiga a experiência no ambiente construído quanto a estratégias de ventilação natural, incluindo ventilação cruzada e resfriamento noturno de massa térmica. Partindo das análises realizadas através da disciplina de Projeto Ambiental Integrado da Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Brasília (PPG FAU-UnB) foi proposto o *retrofit* em um edifício institucional localizado no Campus da Universidade de Brasília, com o intuito de transformá-lo em um edifício de Balanço Energético Nulo (Net-ZEB). O objetivo do artigo é apresentar as soluções de ventilação, em especial à ventilação de massa térmica noturna, para o contexto climático de Brasília-DF. Como método, foi levantado bibliografia específica, realizada análise bioclimática, cálculos matemáticos manuais e o estudo de caso de *retrofit* em um edifício não residencial no Campus Darcy Ribeiro. Como resultado, foi verificada a viabilidade de se utilizar o resfriamento noturno como estratégia passiva para ventilação passiva, tendo sido entendido que é possível alcançar dados satisfatórios que justificam seu uso no contexto climático de Brasília.

**Palavras-chave:** Ventilação noturna; Resfriamento da massa térmica; Ventilação natural; Ventilação cruzada; Retrofit.

## **Abstract**

*This is an example of research into the experience in the environment built on a natural ventilation strategy, including cross-ventilation and night-time thermal mass cooling. Post-graduation in Computer Engineering at the University of Brasília (PPG FAU-UnB) was implemented in an institutional environment located on the campus of the University of Brasília, with the purpose of transformation. It is in a building of Zero Energy Building (Net-ZEB). The article is presented as ventilation solutions, especially for the night dynamics, for the climatic context of Brasília-DF. As a method, a bibliographic survey of meaning, a bioclimatic analysis, mathematical and manual calculations and the case study of retrofit in a non - residential building in the Darcy Ribeiro Campus were used. As a result, the feasibility of using night-time cooling as a passive strategy for passive ventilation was analyzed, and the task of obtaining satisfactory data justifying its use in the climatic context of Brasília was analyzed.*

**Keywords:** *Night ventilation; Thermal mass cooling, Natural ventilation, Cross ventilation, Retrofitting.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Edificações Net-ZEB são aquelas que alcançam uma performance com balanço energético nulo ao longo de um ano. Desta forma, significa que produzem toda a energia que consomem neste período (UNIÃO EUROPEIA, 2010). Este tipo de ideia deve observar alguns preceitos importantes como a redução do consumo energético, a otimização do conforto humano e a produção de energia na própria edificação sem, contudo, diminuir a qualidade de vida.

Neste sentido, Athienitis e O'Brien (2015) destacam a necessidade em garantir que algumas estratégias de economia de energia sejam incorporadas ao estudo preliminar ou, no caso do *retrofit*, alterações na edificação com objetivo de proporcionar conforto térmico e luminoso, além de ponderações sobre o impacto ambiental do edifício em sua fase de operação. Baseados em integração de estratégias passivas, principalmente voltadas para iluminação e ventilação natural, além de uma envoltória construtiva que seja de alto desempenho, deve-se definir modos para uso de tecnologias de energia renovável. Hensen, Lamberts (2011) e Gonçalves e Duarte, (2006) celebram que o projeto ou o estudo de uma edificação com vistas ao *retrofit* deve concentrar-se na redução de demanda energética através de respostas às condições climáticas por meio da tomada de decisões apropriadas.

Fazem parte das deliberações iniciais de um projeto o entendimento de sua inserção no clima e/ou microclima local, através da avaliação quanto à implantação, orientação com relação à insolação e ventos e relações entre áreas cobertas, expostas e envidraçadas, por exemplo. Todos esses propósitos, chamados de variáveis de projeto, devem ser encarados como um todo unificado e devem ser utilizados como ferramentas para solução de problemas (KEELER, BURKE, 2010). A utilização das técnicas passivas de projeto pode concomitantemente oferecer conforto e reduzir a necessidade de calefação ou de refrigeração de uma arquitetura.

Assim, é importante trabalhar com conceito de conforto adaptativo e considerar que em regiões de clima quente seco, como em Brasília/DF, o clima ameno possibilita condições de utilização de estratégias bioclimáticas de projeto que permitem menor utilização de condicionamento de ar, onde o usuário interfere no ambiente no sentido de restabelecer as condições de conforto com medidas como a troca de indumentária, o ato de abrir ou fechar janelas e ao acionar ventiladores. (GONÇALVES, DUARTE, 2006).

No que se trata de ventilação natural é possível compreendê-la como algo que vem ao encontro com a expectativa do usuário, que prefere condições mais flexíveis de interferência em suas relações de bem-estar (muitos são alérgicos a situações de utilização de condicionamento de ar e alguns simplesmente não se adaptam a situações mais frias que o clima do local). Como vantagens na utilização da ventilação natural há possibilidade de manter a qualidade do ar nos ambientes internos (KEELER, BURKE, 2010) o que, assim sendo, acarreta na redução no consumo energético. Isso torna-se significativo quando Lamberts, Dutra e Pereira (1988) elucidam que o condicionamento de ar representa cerca de 46% do total de consumo de edifício na tipologia não residencial.

Entretanto, existe uma complexidade envolvida na utilização da ventilação natural em ambientes institucionais, públicos e comerciais. Ela esbarra em problemas relacionados a fatores internos e externos acarretados pela construção, como: diferentes tipos de usuários, tipos de clima, pluviosidade, questões relacionadas à privacidade e, ainda, a própria composição da edificação, que pode não viabilizar soluções efetivas.

Com isso, fica reforçada a importância de buscar estratégias para o resfriamento passivo de edificações e uma possibilidade se dá através da ventilação noturna. Por essa razão se desenvolve essa pesquisa, que foi elaborada no âmbito da disciplina de Projeto Ambiental Integrado, no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, sob orientação de professores de diversas áreas, sendo parte integrante de uma abordagem maior que visa estudar Net-ZEBs no contexto climático de Brasília/DF. No recorte aqui apresentado, o objetivo é discutir conceitualmente o uso do resfriamento noturno em edificações não-residenciais nesse contexto bioclimático e sua aplicabilidade no estudo de caso do *retrofit*.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

Nesse capítulo serão abordados alguns conceitos sobre ventilação, bem como a contextualização do clima de Brasília/DF.

### 2.1 Ventilação Cruzada, Noturna e Resfriamento De Massa Térmica

A ventilação cruzada deve ser aproveitada para incrementar o conforto térmico dos usuários dos ambientes. Ao favorecer as trocas de calor por convecção e evaporação, contribui para o conforto térmico dos usuários e minimiza a utilização de dispositivos mecânicos de refrigeração e, conseqüentemente, diminui o consumo de energia nesses espaços (BASTIDE et al, 2006). Por outro lado, o adequado aproveitamento da ventilação cruzada contribui para a obtenção da flexibilidade requerida pelos usuários (NICOL, 1995), (GHIAUS, ALLARD, 2006), (GRATIA, BRUYÈRE, DE HERDE, 2004).

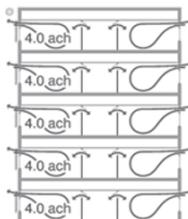
Estudos de Gratia, Bruyère e De Herde (2004) indicam o potencial de aproveitamento da ventilação cruzada em edifícios de escritórios. A comparação realizada entre modelos computacionais de ambientes que não utilizam ventilação, com ambientes que se utilizam de mecanismos de ventilação cruzada e ainda aqueles que aplicam o tipo *single-sided* (unilateral), sugere o ganho na qualidade do fluxo de ar no ambiente, conforme demonstrado na Figura 01.

a) Sem ventilação natural



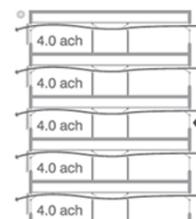
Carga de resfriamento: 685 kWh

b) Ventilação natural unilateral



Carga de resfriamento: 474 kWh

c) Ventilação Cruzada



Carga de resfriamento: 608,4 kWh

Figura 1 - Comparação entre edifícios de escritório sem o aproveitamento da ventilação natural (a) e onde esta estratégia foi aplicada (b) single-sided (c) ventilação cruzada. Fonte: GRATIA, BRUYÈRE e DE HERDE, 2004.

Para o aproveitamento da ventilação cruzada, o projeto da edificação deve primar, principalmente, pela permeabilidade da passagem dos ventos. Especial atenção deve ser destinada ao projeto das aberturas, no intuito de otimizar o insuflamento e o direcionamento do fluxo de ar no interior do ambiente, além de minimizar o impacto na velocidade do vento (GHIAUS, ALLARD, 2006). Desta forma, o projeto arquitetônico precisa estar atento ao tamanho, forma, localização e tipologia das esquadrias, somados aos mecanismos de direcionamento e controle do fluxo de ar pelo usuário e as aberturas de saída de ar.

A ventilação natural ainda pode resfriar o edifício em si, retirando a carga de calor absorvido durante o dia pela exposição à insolação, assim como os ganhos de calor decorrentes da presença de usuários, equipamentos e iluminação artificial.

Santamouris (2007) faz o levantamento de que nas regiões climáticas com cargas moderadas de aquecimento e resfriamento, as técnicas de ventilação são projetadas para fornecer conforto térmico durante o verão. As estratégias de ventilação natural podem ser capazes de satisfazer exigências de cargas de resfriamento para uma gama de edificações com ganhos internos moderados de aquecimento. A ventilação pode fornecer resfriamento durante o dia, mas em muitos edifícios é também usada durante a noite para aumentar o resfriamento potencial. Esta estratégia é denominada “*ventilação noturna*” e já é aplicado em alguns exemplares da arquitetura. Esse recurso é favorável aos climas quentes e secos, onde há grande amplitude térmica (variação de temperatura entre as horas diurnas e noturnas ao longo do dia).

A ventilação noturna se refere aos casos em que uma edificação de elevada capacidade térmica é ventilada somente à noite, tendo suas aberturas fechadas durante o dia. Dessa maneira, o edifício é resfriado por convecção durante o período noturno, tornando-se capaz de absorver a penetração do calor no edifício ao longo do dia somente com uma pequena elevação da temperatura interna. Para edifícios de elevada inércia térmica, bem isolados, sombreados, fechados durante o dia e ventilados à noite é possível uma queda no pico de temperatura interna abaixo do pico externo em torno de 45-55%, segundo Givoni (1994).

A ventilação noturna pode ser obtida com o uso de insufladores e exaustores de ar, no caso de não haver presença de ventos no período noturno (GEROS et al, 2005). Tal prática visa resfriar o ambiente interno durante a noite, removendo a carga térmica acumulada, proporcionando uma menor necessidade de resfriamento no início da manhã. Pode ser aproveitada tanto em edifícios que utilizam a ventilação passiva ou ativa como estratégia de condicionamento.

Geros et al (2005) elabora estudos que apontam uma economia de 90% no consumo de energia de ambientes climatizados com o aproveitamento da ventilação noturna ao aplicar a técnica em 10 cidades gregas. Tal incremento, no entanto, depende em grande parte, das condições do entorno urbano próximo, segundo dados dos mesmos autores. A temperatura no interior dos espaços pesquisados diminui em torno de 4°C, diminuindo a utilização de equipamentos de ar-condicionado no período da manhã.

Para Gratia, Bruyère e De Herde (2004), o aproveitamento da ventilação noturna contribui significativamente para o resfriamento dos ambientes. A estratégia é otimizada quando utilizada como ventilação cruzada, aumentando o potencial de resfriamento. A utilização da ventilação noturna, por outro lado, contribui para minimizar a necessidade de resfriamento nos ambientes e, conseqüentemente, para a diminuição dos gastos com energia. Esses autores compararam a demanda de resfriamento em ambientes com uso do ar condicionado, ventilação unilateral, ventilação cruzada, ventilação noturna unilateral e ventilação noturna cruzada. O estudo sugere o potencial de diminuição de até 38% para ambientes onde a ventilação noturna cruzada é aplicada em relação ao modelo que utiliza ar-condicionado, considerado como modelo de referência, na demanda de resfriamento.

Quando a ventilação noturna unilateral é utilizada, este valor a diminuição é da ordem de 41%. Entretanto, os autores apontam a importância da configuração das aberturas de entrada e saída do ar utilizada nos ambientes. Tal item deve ser, portanto, considerado pelos projetistas, podendo contribuir negativamente para o aproveitamento da estratégia escolhida (GRATIA, BRUYÈRE e DE HERDE, 2004).

Tanto Gerol et al (2005) quanto Gratia, Bruyère e De Herde (2004) entendem que as variáveis para utilização da ventilação noturna em geral são: diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo; conhecimento do comportamento do vento local no que concerne à direção, frequência, velocidade do vento e ocorrência de calmarias; e levantamento do entorno imediato. A esses itens são somados o projeto de aberturas adequado para o insuflamento de ar no interior do ambiente e a consideração da estratégia na fase inicial de projeto.

## 2.2 Caracterização do clima de Brasília/DF

A cidade de Brasília está localizada na região Centro-Oeste do Brasil e possui clima Tropical de Altitude, caracterizado por chuvas no verão e geadas no inverno, devido a massa polar atlântica. A latitude é de 15°52' Sul, longitude 47°50' Oeste e a altitude de 1.100m. A temperatura de bulbo seco média das mínimas é de 15,4°C e a média das máximas de 27°C. A umidade relativa média anual é de 73%.

A predominância de ventos em Brasília é Leste, seguido de Nordeste e Noroeste, com velocidade média anual de 1,6 m/s a 3,1 m/s. No entanto, também apresenta direção de ventilação Norte. Nos períodos quentes, a utilização de meios que viabilizem a ventilação natural é a estratégia bioclimática mais indicada. Nos períodos frios, a massa térmica para aquecimento e o aquecimento solar passivo são indicados em 40% das horas do ano.

A amplitude térmica em Brasília é um fator preponderante. Observa-se que nos meses de agosto e setembro a amplitude térmica é bastante elevada (acima de 13°C), tendo temperaturas elevadas durante o dia e baixas durante à noite.

Segundo a carta bioclimática, Brasília é a cidade mais confortável dentre as estudadas pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. As estratégias projetuais recomendadas em ordem de importância são:

massa térmica, aquecimento solar, ventilação natural, aquecimento solar passivo e aquecimento artificial em casos isolados (PROJETEEE, 2018).

A NBR 15220-3 recomenda aos projetistas da zona bioclimática 04, do qual Brasília faz parte, que adotem os seguintes procedimentos projetuais: ventilação seletiva nos períodos quentes; aberturas médias e sombreadas com área e entre 15% a 25% da área do piso; paredes pesadas incluindo as vedações internas com transmitância térmica menor ou igual a 2,2 W/m<sup>2</sup>k, atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas; fator solar menor ou igual a 3,5%; coberturas leves e isoladas com transmitância térmica menor ou igual a 2,0 W/m<sup>2</sup>.K, atraso térmico menor ou igual a 3,3 horas e fator Solar menor ou igual a 6,5%; e resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. A ventilação por intermédio do resfriamento noturno englobaria duas soluções propostas na NBR 15220-3: ventilação seletiva e resfriamento da massa térmica da edificação em períodos quentes.

### 3. MÉTODO

O método consiste na revisão teórica supracitada relativa aos aspectos climáticos de Brasília/DF e as estratégias de ventilação noturna, uso de cálculos simplificados e verificação por intermédio de estudo de caso.

#### 3.1 Escolha do estudo de caso

Como estudo de caso, o edifício escolhido foi o Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília (CDT-UnB), composto por diversos usos (institucional e administrativo) dentro do Parque Científico e Tecnológico da Universidade no campus Darcy Ribeiro. Seu padrão de ocupação se caracteriza pela ocupação em horário comercial estendido, entre 07:30 e 19:30, conforme verificado através de levantamento *in loco*.

A edificação compreende uma área de aproximadamente 4.000 m<sup>2</sup> e sua composição se desenvolveu com a construção do edifício em 02 etapas: a primeira delas abriga hoje empresas incubadas e o setor administrativo do prédio, e a segunda se refere a uma ampliação para sediar um setor institucional da UnB (Decanato de Pesquisa e Extensão).

Sua forma se dá em “u” (ver Figura 3) com uma das pontas alongadas e tendo dois pavimentos (térreo e superior). Sua implantação é longitudinal no sentido Leste e Oeste e devido à forma, existe um pátio interno que funciona como jardim, contribuindo com a estratégia bioclimática de resfriamento evaporativo. A altura da edificação é de 7,60 metros, sendo que a caixa d’água é o volume mais alto, com 10,50 metros.

O CDT possui boas estratégias passivas já aplicadas: boa implantação (orientação do edifício em relação ao norte), pátio interno que promove o resfriamento, brises horizontais e aplicação de cores claras. Sua implantação favorece a ventilação, uma vez que sua maior fachada está voltada para a direção dos ventos predominantes havendo possibilidade de permitir permeabilidade no edifício através do jogo de esquadrias.

Para os ambientes tipo *célula* (boa parte da edificação) há dificuldades na ventilação cruzada devido aos corredores existentes que não possibilitam aberturas. Isso só aconteceria se as portas de cada sala/escritório permanecessem abertas, ou se houvesse aberturas voltadas para o corredor.

### 3.2. Condições de ventilação

O modo como o vento circula pelo edifício através do direcionamento de ar e a diferença de pressão pode ser observado na Figura 2.

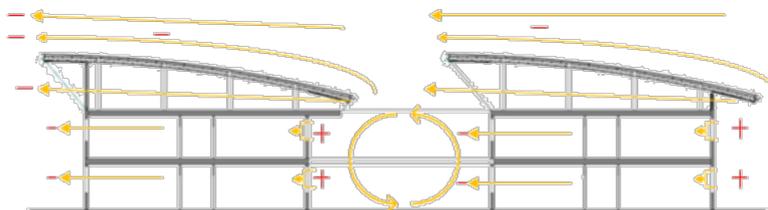


Figura 2 - Fluxo do vento. Fonte: Autores.

Em termos de variáveis quantitativas relacionadas ao comportamento dos ventos na edificação, foi utilizado um método simplificado de cálculo da ASHRAE, a fim de obter dados de fluxo de ar, tendo em vista a perspectiva de uma abertura de entrada e uma de saída. A equação empregada foi:

$$Q = x * Ae * Var * \cos\theta$$

Sendo:

$Q$  = fluxo de ar ( $m^3/hora$ );

$x$  = valor variável, dependendo da razão entre área de saída e área de entrada;

$Ae$  = área de entrada ( $m^2$ );

$Var$  = velocidade do ar ( $m/hora$ );

$\cos\theta$  = cosseno do ângulo que o vento faz com a fachada.

Como a direção dos ventos em Brasília é também oriunda do Norte e o prédio é orientado nesse sentido, o ângulo da direção do vento adotado é sempre igual a 0. Para determinação do coeficiente  $x$  (variável entre a área de saída e de entrada de ar) foi utilizada a relação de FREIXANET e VIQUEIRA 2004. Para obtenção de  $Var$  (velocidade do ar) se usou a seguinte fórmula:

$$Var = Vm * k * z^a$$

Sendo:

$Vm$  = velocidade média do vento na estação meteorológica ( $m/s$ );

$z$  = altura da abertura ( $m$ );

$k, a$  = coeficiente de rugosidade do terreno.

$Vm$  (velocidade média dos ventos) foi adotado como 2,56 m/s, valor derivado do arquivo climático de Brasília, e adotou-se uma redução de velocidade de 40% referente ao deslocamento de ar de um cômodo para outro, de acordo com Bittencourt e Cândido (2006). Para avaliar a melhor ventilação do edifício optou-se por fazer os cálculos considerando as janelas e portas totalmente abertas. O valor de  $z$  (altura da abertura) foi considerado a partir do valor igual a metade do pé direito do edifício, sendo: 1,425m no primeiro andar e 4,225m no segundo.  $k$  e  $a$  (coeficientes de rugosidade do terreno) foram adotados a partir dos parâmetros de Bittencourt e Cândido (2006) e para esse estudo de caso se utilizou os valores referentes a campos com obstáculos esparsos em relação ao vento.

De posse desses dados, foi dado início aos cálculos de fluxo e renovações de ar para os ambientes. O cálculo de renovação de ar é o fluxo de ar dividido pelo volume do ambiente em análise. Para avaliar a eficiência da ventilação como conforto para o usuário, foram adotados os seguintes parâmetros: ventilação mínima (saúde, redução de odores, controle de umidade), onde o índice é de 01 a 02 renovações por hora; ventilação estrutural ou seletiva (para refrescar ou aquecer o interior utilizando a diferença de temperatura externa e interna), onde o índice é de 10 a 20 renovações por hora; e ventilação cruzada ou sensível (conforto térmico em nível do corpo do usuário, favorecendo a evaporação da transpiração), onde o índice é de 100 a 200 renovações de ar por hora.

Para método de cálculo, foram escolhidas situações próprias do prédio. A escolha dos ambientes para cálculo no pavimento térreo e superior está representado na Figura 3.

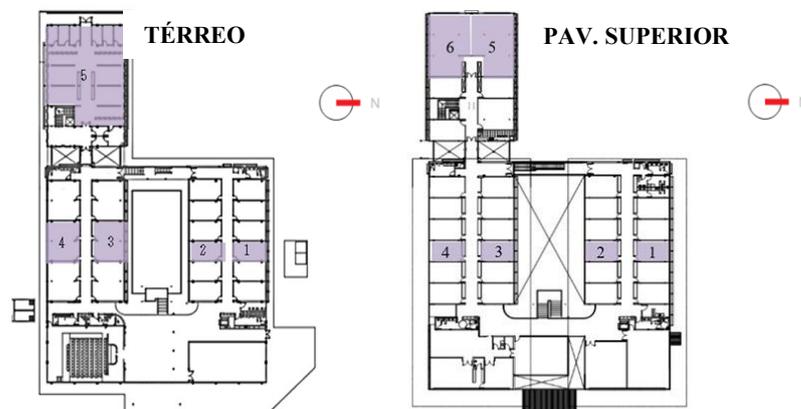


Figura 3 - Ambientes escolhidos para cálculo de ventilação natural. Fonte: Autores.

No térreo, foi percebido que apenas o ambiente 5 possui ventilação suficiente para manutenção de conforto (mais de 100 renovações de ar por hora). Isso ocorre devido ao grande número de janelas existentes nesse ambiente. O problema encontrado nas salas 3 e 4 está relacionado à saída de ar (trata-se de um ambiente do tipo *célula*, ou seja, conjulgado que divide uma única opção de saída - a porta).

Já no pavimento superior, a fachada Norte consegue ter uma ventilação de conforto, mas o mesmo não ocorre com as outras salas que, devido a perda de velocidade do vento, encontram-se prejudicadas. Nos ambientes 5 e 6 ocorre que um comportamento de circulação de ar semelhante ao discorrido nos ambientes 3 e 4 do térreo. Logo, as áreas de saída de ar se mostram zonas de conflito na relação da manutenção da ventilação do edifício como um todo.

### 3.3 Resfriamento da massa térmica

Para o resfriamento de massa térmica por intermédio da ventilação é necessário que a edificação possua elevada inércia térmica. De forma a proporcionar uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao exterior. Para o bom funcionamento dessa estratégia é necessário que a edificação apresente materiais mais densos e de elevada capacidade térmica. O concreto e a alvenaria cerâmica são os materiais que apresentam capacidade térmica elevada e são os componentes de estrutura e vedação desse estudo de caso.

Optou-se por utilizar o método de cálculo apresentado por Grosso (1997) para avaliar a eficiência da ventilação noturna para o *retrofit* do CDT. Nesse método, os dados iniciais necessários são a inércia térmica do edifício, a temperatura máxima e a amplitude térmica. Para o caso do edifício do CDT, a inércia térmica foi estimada como sendo média, devido a espessura das lajes existentes (de 10 cm). Os dados de temperatura foram retirados do PROJETEE e se referem ao mês de setembro, mês mais quente na capital federal. São os valores: temperatura máxima igual a 29,2°C; amplitude térmica: 12,1°C. Essa variação térmica é capaz de gerar uma temperatura interna mínima de 19,5°C.

Esses dados servem para estimar o quanto de calor a estrutura consegue acumular ao longo do dia. Conforme o método de Grosso (1997), foi encontrado que em Brasília esse calor acumulado seria de aproximadamente 283 W/m<sup>2</sup>.dia. Desse modo, calculou-se que o calor interno gerado ao longo de um dia de funcionamento do CDT (7:30 às 19:30) é de 207 W/m<sup>2</sup> dia, o que é menor que o acumulado e torna a ventilação noturna viável. Na sequência é avaliado quanto desse calor acumulado pode ser retirado na hora de maior diferença de temperatura, Figura 4. Estimando através do gráfico o percentual de remoção na melhor hora (Grosso, 1997) foi entendido que esse índice é de 10%, o que para o caso em questão é 28,3W/m<sup>2</sup>.

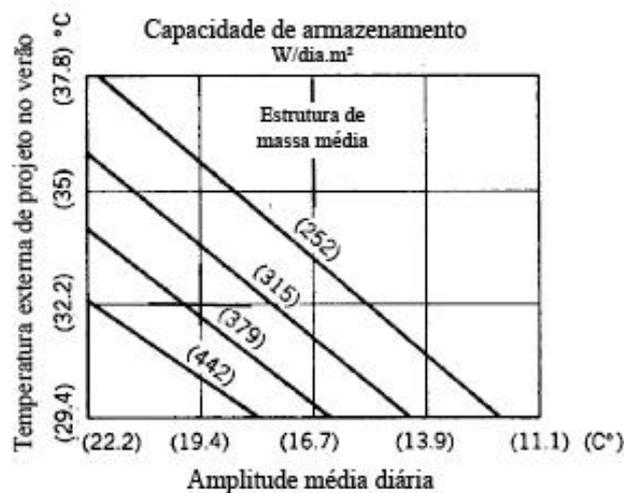


Figura 4 - Capacidade de acúmulo térmico em W/dia.m<sup>2</sup>. Fonte: GROSSO, M. (1997).

Por fim, para o cálculo da vazão de vento necessário para retirar essa quantidade de calor é preciso da diferença de temperatura máxima. Foi encontrado o valor de de 5,6°C.

Como pode ser observado, todos os valores dependem das condições climáticas locais, logo todos os edifícios de média inércia térmica em Brasília/DF absorverão a mesma quantidade de calor por metro quadrado. Assim, terão a mesma remoção de calor e a mesma diferença de temperatura. O que irá diferenciar as edificações será o fluxo de vento necessário para a remoção desse calor, que pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$Q = q/(1,2*\Delta T)$$

Sendo:

$$Q = \text{fluxo de ar em L/s}$$

$$q = \text{calor sensível em W}$$

$$\Delta T = \text{diferença de temperatura em } ^\circ\text{C}$$

## 4. RESULTADOS

Os resultados dos cálculos simplificados e das avaliações de ventilação noturna serão abordados nas sessões seguintes.

### 4.1 Otimização da Ventilação Cruzada

A análise das condições atuais do edifício confirma que ele está bem orientado em termos de beneficiamento da ventilação natural, extraíndo um bom potencial dos ventos oriundos do Norte. Contudo, percebe-se que a fachada Sul não recebe direcionamento de aproveitamento dessa condicionante e conta apenas com a diferença de pressão do vento para resfriamento, o que faz com que ela receba índices de ventilação bem inferiores. A região interna do CDT está em melhor condição de uso, já que há possibilidade de receber ventos vindos do Leste (predominante) e, ainda, devido ao jogo de volumes que beneficia a circulação de ar nesse espaço.

Realizando cálculos de renovação de ar, para o caso do CDT o fluxo necessário seria gira em torno de 6500 m<sup>3</sup>/h. A decisão projetual para promover esse índice foi a substituição das janelas das fachadas atuais (de correr, simples, com abertura de 50%) por janelas tipo veneziana. Essa veneziana tem 19 cm de altura ao longo de todo o comprimento da janela (3,96 m) e se repete ao longo de toda a edificação. As esquadrias foram redimensionadas para se atingir o máximo potencial de ventilação. Com as novas aberturas, os ambientes tiveram o fluxo de ar recalculados e os resultados apontam que há melhorias significativas tanto no térreo quando no pavimento superior. Isso se deve ao fato de que esses são ambientes células e contam apenas com uma porta. Então, com a nova configuração, há um aumento da área de entrada de ar. Contudo, não foi solucionado um aumento da saída, permanecendo em estagnação dentro dessas salas e perdendo bastante velocidade. A proposta para este tipo de esquadria teve a intenção de melhorar também a ventilação cruzada, de forma que além da veneziana no alto da janela, fosse possível obter uma abertura de 100% da área para ventilação, por tratar-se do tipo guilhotina.

Tendo verificado o potencial de aumento das janelas, agora foi pensado em permitir o fluxo e a troca de ar, através da instalação de aberturas sobre a porta para permitir a ventilação cruzada, garantindo ainda condições de privacidade ao usuário (bandeiras). Essa abertura sobre a porta é de 70 cm e se estende por toda largura da sala. Essa nova situação foi recalculada e os resultados permitem entender que ao aplicar venezianas sobre as portas, tem-se grandes aumentos nas renovações de ar dos ambientes, inclusive nos ambientes 3 e 4 do primeiro andar, que praticamente dobram as renovações, como nos ambientes 5 e 6 do segundo andar.

### 4.2 Ventilação noturna e resfriamento de massa térmica

Para a ventilação noturna foi pensado o uso de venezianas sobre as janelas, a fim de garantir a fluidez dos ventos entre o forro e a laje e, assim, resfriá-la. Calculando o fluxo de ar para a abertura prevista para ventilação noturna é possível calcular que obtém-se o fluxo de 6.749,18 m<sup>3</sup>/h, que certifica a validade da estratégia de resfriamento de massa térmica. Por meio desses cálculos é aferido, ainda, que uma abertura da veneziana de 19 centímetros está de acordo com o necessário para se atingir o máximo potencial da ventilação noturna.

### 4.3 Automação e controle de processos

Essa situação foi criada para se verificar a possibilidade de automatizar as situações anteriores e com isso aumentar a eficiência dessas alternativas. Entre as possibilidades de

automação estão venezianas que se fecham quando o ar condicionado for acionado garantindo assim, máxima eficiência. Outra possibilidade seria a automação da ventilação noturna, sendo acionada e fechada em horários específicos. Um outro cenário seria um forro vazado que permitisse o fechamento ao acionar os equipamentos de ar condicionado.

## 5. CONCLUSÕES

O uso da ventilação natural para resfriamento de edificações, mostra-se eficaz em situações como no clima de Brasília/DF. A ventilação cruzada no caso deste estudo, mostrou-se difícil considerando a tipologia da edificação com distribuição de escritórios do tipo *célula* e a necessidade de privacidade entre ambientes. No entanto, mecanismos de promoção da ventilação cruzada que possibilite a manutenção dos ambientes fechados e a utilização da ventilação noturna com resfriamento da massa térmica da edificação são estratégias satisfatórias, desde que a edificação tenha massa e inércia térmica suficiente, boa orientação solar e esquadrias (localizadas entre o forro e a laje) que possam permanecer abertas durante a noite.

Pode-se constatar que a retirada de calor da edificação durante o período noturno e a redução das temperaturas internas diminui a utilização do condicionamento de ar, uma vez que os ambientes internos iniciam o período da manhã com temperaturas mais amenas. Givoni (1992) diz que essa redução de temperatura pode ser de até 3°C. Este fenômeno pode ser bastante favorável, principalmente nos períodos do ano em que as amplitudes térmicas são expressivas, mas podem ser viáveis também em meses em que as temperaturas são mais expressivas (período de calor) se for utilizado juntamente com a ventilação cruzada.

## 6. REFERÊNCIAS

- ATHIENTIS, A.; O'BRIEN, W. Modeling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. Ernst & Sohn GmbH & Co, 2015. ISBN 978-3-433-03083-7, p. 107-133.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3.
- BASTIDE, A; LAURET,P.; GARDE,F.; BOYER, H. Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates Presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation. *Energy and Buildings*, vol. 38, 2006, pp. 1093-1103.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. Introdução à Ventilação Natural. Maceió, 2006.
- CÂNDIDO, C. Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes. Florianópolis, 2006.
- GEROS, V.; SANTAMOURIS, M.; KARATASOU,S.; TSANGRASSOULIS, A.; PAPANIKOLAOU,N. On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment. *Energy and Buildings*, vol. 37, 2005, pp. 243-257.
- GEROS, V., et al. 2005. On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment. *Energy and Buildings*, 37, 243–257.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines, *Energy and Buildings*, v. 18 pp. 11-23. 1992
- \_\_\_\_\_. Passive and low energy design of buildings, New York: John Wiley & Sons, 1994.

- GONÇALVES, Joana Carla Soares, BODE, Klaus, organizadores, Edifício Ambiental, São Paulo: Oficina de Textos, 2015
- GONÇALVES, J. C. S., DUARTE, D. H. S., Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. In.: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81, out/dez 2006.
- GRATIA, E., DE HERDE, A. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. Building and environment, 2004.
- GRATIA, E.; DE HERDE, A. Is day natural ventilation still possible in office buildings? Building and Environment, Vol. 39, 2004, pp. 399-409.
- GROSSO, Mario. O resfriamento passivo dos edifícios: conceitos, precedentes arquitetônicos, critérios projetuais, métodos de cálculo e estudo de caso. Maggioli Editori, Rimini: 1997. Pp. 587
- HENSEN, J. L. M., LAMBERTS, R. Building Performance Simulation and Operation, New York: Spon Press, 2011.
- KEELER, M, BURKE, B, Fundamentos de Projeto de edificações sustentáveis. Artmed Editora S. A.: Porto Alegre: 2009.
- KWOK, Alison G.; GRONDZIK, Walter T.. The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design. Architectural Press: 2007. Pp. 436.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R., Eficiência Energética na Arquitetura, Rio de Janeiro: PROCEL, 1988.
- MACIEL. A. Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios. Dissertação de Mestrado. UFSC. 2002.
- MMA. PROJETEE. RESFRIAMENTO EVAPORATIVO + INÉRCIA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/resfriamento-evaporativo-inercia-termica-para-resfriamento/> Acesso em: 29 jun 2018.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; SYKES, O.; ROAF, S. Standards for thermal comfort. Chapman&Hall: London, 1995.
- PROJETEEEE. Dados climáticos. Disponível em: <[http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=DF+-+Bras%C3%ADlia&id\\_cidade=bra\\_df\\_brasilia-kubitschek.intl.ap.833780\\_try.1962](http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=DF+-+Bras%C3%ADlia&id_cidade=bra_df_brasilia-kubitschek.intl.ap.833780_try.1962)>. Acesso em 19 jun 2018.
- SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D. Passive cooling of buildings. Earthscan: Abingdon, 2013
- SANTAMOURIS, M., Advances in passive cooling. Earthscan: Abingdon, 2007.
- UNIÃO EUROPEIA. Directiva 2010/31/UE do parlamento europeu e do conselho de 19 de maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação): L 153/13. Jornal oficial da união europeia, Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, Estrasburgo, 18 jun. 2010.

## **Estudo do comportamento mecânico de mistura de agregado reciclado para uso como revestimento primário em vias de baixo volume de tráfego**

### *Mechanical behavior study of recycled aggregate blending as pavement surface for low traffic roads*

**Thiago Vargas de Deus, Engenheiro Civil, Centro Universitário IPA Metodista.**

E-mail do autor TNR 12, alinhado à esquerda

**Danielle de Souza Clerman Bruxel, MSc., Centro Universitário IPA Metodista.**

danielle.bruxel@ipa.metodista.br

**Anelise Schmitz, MSc., Centro Universitário IPA Metodista.**

anelise.schmitz@gmail.com

**Rodrigo Lopes Erhart, MSc., Centro Universitário IPA Metodista**

rodrigo.erhart@ipa.metodista.br

**Viviane Gschwenter Lopes, MSc., Centro Universitário IPA Metodista.**

viviane.santos1@ipa.metodista.br

### **Resumo**

Os resíduos oriundos da construção civil são gerados em quantidades expressivas e o correto descarte e reaproveitamento desses materiais ainda constituem desafios aos municípios brasileiros. Para a grande quantidade de vias urbanas não pavimentadas, o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil é uma alternativa de substituição aos materiais convencionais. Essa pesquisa analisa as propriedades físicas e mecânicas através de ensaios laboratoriais de um composto solo-agregado para emprego em pavimentação de vias de baixo volume de tráfego. O estudo envolveu a análise do agregado reciclado, do solo utilizado para a estabilização granulométrica e o comportamento mecânico desta mistura, como forma de enquadrar os materiais nos requisitos de normas vigentes. Concluiu-se que o agregado reciclado analisado é de uso promissor, com características físicas e mecânicas satisfatórias comparáveis àquelas dos materiais tradicionais. Os resultados obtidos corroboram para a viabilidade técnica, social e ecológica do emprego desses materiais em bases e sub-bases na pavimentação de vias.

**Palavras-chave:** Agregado reciclado; Pavimentos de baixo volume de tráfego; Solo-agregado

## Abstract

Solid construction waste are generated in significant quantities in cities of large and medium size in Brazil. For the large number of unpaved urban roads, the recycled aggregate of solid waste from the construction industry is a substitute alternative to conventional materials. This research analyzes the physical and mechanical properties through laboratorial tests of a soil-aggregate blending for use in low-traffic roads paving. The study involved the analysis of the recycled aggregate, soil used for grain size stabilization and the mechanical behavior of this mixture, as a way of framing the materials in the parameters and requirements described in current standards. It was concluded that the recycled aggregate analyzed is of promising use, given its satisfactory physical and mechanical properties comparable to traditional materials, so the results presented in this research corroborate the proof of the technical, social and ecological viability of the use of these materials in base and sub based on the paving of urban roads.

**Keywords:** *Recycled aggregate; Low traffic roads; Soil-aggregate blending*

## 1. Introdução

Vias não pavimentadas são classificadas como vias de baixo volume médio de tráfego (VDM) e são fundamentais para atender às demandas de localidades principalmente situadas em áreas rurais. Estas vias muitas vezes apresentam fluxo regular de mercadorias de atividades agropecuárias, acessibilidade a locais e fluxo de insumos e produtos para a e abastecimento de comunidades. Apesar do baixo volume de tráfego, os veículos circulantes muitas vezes são pesados causando a alta deterioração do pavimento devido ao excesso de carga por eixo.

Sob jurisdição municipal, estadual ou federal, sabe-se que estas vias rurais são construídas dentro do enfoque da redução de custos. Dessa forma, apresentam características técnicas bastante precárias e normalmente não estão sujeitas à devida manutenção periódica.

Com a necessidade de buscar alternativas para os serviços de conservação e manutenção de estradas rurais, mantendo a viabilidade econômica, o reaproveitamento de resíduos sólidos oriundos da construção civil (RCC) pode gerar melhorias como ganhos econômicos e minimização do consumo de matérias-primas de origem natural utilizadas como agregados na execução de camadas de um pavimento.

Sabe-se que os RCCs em sua grande maioria são resíduos de baixa periculosidade, mas com impactos ambientais expressivos devido ao alto volume gerado e aos problemas causados por sua disposição irregular. Além de configurarem um grande passivo ambiental quando dispostos inadequadamente, também se trata de um grande desperdício de materiais com alto potencial técnico.

O uso de agregados naturais em serviços de adequação de estradas rurais depende de características geológicas e pedológicas. Em determinadas regiões, materiais adequados podem ser encontrados em jazidas próximas ao trecho rodoviário, mas em grande maioria, os recursos naturais necessários são escassos, sendo antieconômico trazê-los de outros

locais. O uso excessivo de agregados pétreos, por outro lado, também é ponto de preocupação em relação a questões de sustentabilidade em projetos de engenharia.

Diante deste cenário e da necessidade de manutenção de condições de trafegabilidade, torna-se necessário o desenvolvimento de ações tecnicamente adequadas e que sejam conciliadas com a conservação de recursos naturais. Torna-se fundamental a busca de alternativas de adequação aos serviços de pavimentação. Com base nessa contextualização, o presente trabalho visa estudar o comportamento de resíduos sólidos da construção civil utilizados como agregado reciclado em vias de tratamento primário no Estado do Rio Grande do Sul.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Rodovias rurais e de baixo volume de tráfego**

A definição de baixo volume de tráfego é um conceito que pode variar entre países, regiões de um mesmo país ou até mesmo entre um mesmo Estado. Embora o conceito de baixo volume de tráfego seja relativo ao local, as circunstâncias de baixa disponibilidade de recursos para planejamento, projeto, construção e manutenção desse padrão de rodovia são comuns em qualquer região. Este fator desafia o meio técnico e acadêmico na busca de inovações tecnológicas em cada uma das fases citadas.

A preocupação com essas rodovias pode ser constatada ao redor do mundo, pois trata-se de rodovias com uma taxa de deterioração alta, drenagem precária e com solicitações de cargas elevadas por eixo. Há assim um elevado potencial para a existência de um desempenho insatisfatório.

Preussler (2004) considera rodovias de baixo volume de tráfego aquelas com até 700 veículos passantes por dia, nos dois sentidos da via, onde no máximo 20% dos veículos sejam comerciais. Podem ser subdivididas em três categorias: Categoria 1:  $VDM < 200$  veículos/dia; Categoria 2:  $200 < VDM < 500$  veículos/dia; e, Categoria 3:  $500 < VDM < 700$  veículos/dia.

Nessas rodovias é comum a adoção de alternativas de pavimento com bases, sub-bases e reforços do subleito construídos com materiais retirados próximos ao local e revestimentos asfálticos de baixa espessura, propiciando assim uma grande redução no valor final da obra de pavimentação. Estas soluções são chamadas de pavimentos de baixo custo. Normalmente são associados a elas, a utilização de materiais alternativos (BERNUCCI, 1995)

As vias rurais, popularmente intituladas de estradas de terra, são rodovias secundárias, não pavimentadas e com baixo volume de tráfego. Sua função é possibilitar o acesso a propriedades ou aos caminhos que ligam comunidades relativamente pequenas e próximas. Tais rodovias, construídas dentro do enfoque de minimização de custos de construção, apresentam traçados que visam evitar a construção de obras de arte especiais, para assim gerar uma redução no serviço de movimentação de terra. Assim os traçados são bastante sinuosos, onde geralmente aproveitam a disposição das curvas de nível existentes do terreno (DNIT, 2006)

Podem ser divididas em quatro categorias, designadas por A, B, C e D (BAESSO e GONÇALVES, 2003), sendo elas:

- a) Categoria A: Vias cuja camada superficial de rolamento é composta por agregados naturais oriundos de jazidas, sendo que estes atendem aos parâmetros determinados por normas quanto à composição granulométrica;
- b) Categoria B: Composta por estradas que apresentam material britado na superfície de rolamento;
- c) Categoria C: Apresenta superfície de rolamento composta por solos naturalmente estabilizados oriundos de jazidas;
- d) Categoria D: Vias cuja camada superficial é formada por materiais retirados de seu próprio leito natural.

Uma estrada não pavimentada deve apresentar resistência suficiente para suportar as cargas impostas pelo tráfego sem que ocorram deformações excessivas. A boa capacidade de suporte e as boas condições da camada de rolamento são características de resistência, dependendo principalmente do material utilizado, e devem se manter consistentes frente às solicitações repetitivas do tráfego, na medida em que ocorram as variações no teor de umidade, devido aos períodos secos e chuvosos, que ocorrem ao longo do ano (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Com o objetivo de melhorar as condições de tráfego nessas vias, é executado um revestimento primário, o qual se constitui de uma camada de solo, com características adequadas, capaz de oferecer uma superfície de rolamento que assegure o tráfego em qualquer época do ano. Na execução do revestimento primário é utilizado material selecionado, geralmente oriundo de uma jazida próxima ao local, material britado com solo, que é espalhado em espessura entre 10 cm a 20 cm sobre o serviço de terraplenagem. (DNIT, 2006).

Geralmente, o revestimento primário é composto de uma mistura de solos graúdos, intermediários e finos. A parte graúda é composta basicamente por pedregulhos, os quais oferecem uma boa capacidade de suporte, resistindo a boa parte das cargas impostas sobre o pavimento. Os intermediários (siltes e areias) preenchem os espaços entre a parte graúda proporcionando excelente estabilidade para mistura. Já os finos oferecem coesão à mistura e também ajudam para que os mesmos apresentem menor permeabilidade (SKORSETH, 2000).

## **2.2 Resíduos sólidos da construção civil (RCC)**

O volume de resíduos gerados pela indústria da construção civil reflete a rapidez da extração de materiais provenientes da natureza, sem qualquer forma de reposição, superando a capacidade de absorção e de reposição do meio ambiente. Nesse contexto, é preciso considerar que parte destes recursos são consumidos e que a outra parte são transformados em resíduos, que podem apresentar características prejudiciais tanto ao homem, quanto à natureza (STRAUCH e ALBUQUERQUER, 2008).

O Art. 2º da Resolução CONAMA nº 307 (2002) define os resíduos da construção civil (RCC) como sendo materiais provenientes de construções, reformas, demolições e reparos,

bem como os materiais resultantes da preparação e escavação de solos. São exemplos: tijolos, materiais cerâmicos, blocos estruturais, concreto em geral, solos, rochas, metais, tintas, madeiras, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, solos resultantes de obras de terraplenagem, etc.

Em relação à classificação dos resíduos sólidos como potencialmente poluentes, salienta-se, no Brasil, as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 10004 (ABNT, 2004a) – Resíduos sólidos – Classificação; NBR 10005 (ABNT, 2004b) – Lixiviação de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos; NBR 10006 (ABNT, 2004c) – Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e NBR 10007 (ABNT, 2004d) – Amostragem de resíduos.

Apesar das particularidades dos resíduos da construção civil, a geração de grandes volumes destes materiais tem chamado a atenção de muitos países. Assim, a busca por soluções alternativas como o reaproveitamento e a reciclagem, despertam o interesse do setor público e privado.

Em agosto de 2010 foi publicada a Lei nº 12.305, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b), regulamentada no Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010a), que aborda a questão da gestão de resíduos da construção civil. Esta lei busca promover a gestão integrada de resíduos sólidos, a articulação e cooperação entre os diferentes setores do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, um projeto previsto na Lei nº 12.305/10, tem como objetivo evitar e prevenir a geração de resíduos sólidos. Suas metas são promover uma cultura sustentável para a sociedade que incentive a reciclagem, a reutilização e proponha fins adequados aos resíduos sólidos. A responsabilidade deste processo é atribuída como sendo desde o governo aos geradores de resíduos.

Observa-se, exclusivamente no que se reporta ao setor da construção civil, que a maioria dos municípios adota apenas medidas emergenciais, caracterizando uma gestão reativa e proporcionando um custo elevado na manutenção deste procedimento, processo que geralmente não impede os impactos ambientais resultantes da simples deposição e movimentação destes materiais. Para se corrigir e atuar de forma efetiva com essas dificuldades, é necessária uma gestão diferenciada no tratamento destes resíduos. (FERREIRA; NOSCHANG; FERREIRA, 2009).

### **3. Procedimentos Metodológicos**

Este estudo avalia o uso de resíduos sólidos da construção civil em vias de baixo volume de tráfego. Os resíduos utilizados são provenientes do Rio Grande do Sul, onde observa-se uma extensa malha rodoviária de estradas rurais. A principal forma de destinação desses resíduos, no estado, é servir como aterro de terrenos para novas construções.

Os RCCs desta pesquisa foram coletados em uma única oportunidade na cidade de Porto Alegre (RS) em usina de reciclagem. O solo utilizado no composto solo-agregado, foi coletado no município de Santiago (RS), seguindo as especificações do Manual de

Conservação Rodoviária do DNIT (2005) para coleta de solos. Todas as coletas foram realizadas em agosto de 2017.

O solo foi coletado em uma estrada não pavimentada que liga Santiago (RS) a Forqueta (RS), municípios localizados na área central do RS. O ponto de coleta de solo localiza-se na posição geográfica de latitude 29°04'46.7" Sul e a uma longitude 54°44'08.0" Oeste, conforme mostra a Figura 1.



**Figura 1. Trecho de coleta de solo. Fonte: elaborado pelos autores.**

Os materiais foram submetidos a avaliação laboratorial para verificação das condições técnicas. A caracterização física do solo contou com os seguintes ensaios: análise granulométrica NBR 7181/84 (ABNT, 1984c), limites de consistência NBR 7180 (ABNT, 1984b) e classificação de solos TRB (DNIT, 2006).

Quanto ao agregado reciclado, realizou-se a amostragem segundo a NBR 10007 - Amostragem de Resíduos (ABNT, 2004d) que fixam as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos. Os ensaios realizados foram: análise granulométrica segundo a NBR 7217/87 (ABNT, 1987); Índice de forma segundo a NBR 7809/83 - Agregado graúdo (ABNT, 1983); determinação de teor de umidade e massa específica dos grãos da fração graúda segundo NBR NM 53 (ABNT, 2002).

Os resultados obtidos foram analisados quanto à adequação à NBR 15115 (ABNT, 2004e) com foco no emprego em serviços de pavimentação. Ensaio de comportamento mecânico de Índice de Suporte Califórnia foram realizados no composto solo-agregado. A NBR 15115 (ABNT, 2004e) permite o uso de agregado reciclado em camadas de base e sub-base em vias de tráfego  $N \leq 10^6$  repetições do eixo-padrão de 80 kN no período do projeto.

Para a dosagem, utilizou-se como referência a especificação de serviço da norma DNER-ES 303/97 (DNIT, 1997). Essa especificação recomenda que a mistura deve possuir composição granulométrica que satisfaça a uma das faixas apresentadas nesta norma.

## **4. Resultados da Pesquisa**

### **4.1 Caracterização Física do Solo e do Agregado reciclado**

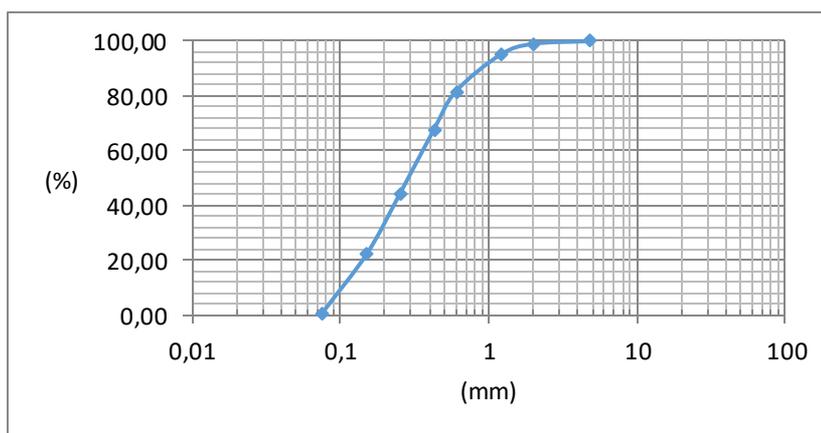
O material estudado apresentou uma granulometria uniforme na qual predomina a presença de areia fina, com baixas porcentagens de silte e argila. Classificou-se como pertencente ao grupo A-3 que compreende solos granulares na classificação do

*Transportation Research Board* (DNIT, 2006) e, quanto à plasticidade, o solo foi classificado como não plástico.

Os resultados dos índices de consistência e massa específica dos sólidos são apresentados na Tabela 1. A Figura 2 apresenta a curva granulométrica do solo.

SOLO	LL (%)	LP (%)	LI (%)	s (g/cm <sup>3</sup> )
Arenoso	-	NP	-	2,818

**Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização dos solos. Fonte: elaborado pelos autores.**



**Figura 2. Curva Granulométrica do solo estudado. Fonte: elaborado pelos autores.**

A Tabela 2 apresenta os resultados das características do agregado reciclado quanto à natureza e concentração de seus componentes. Este é composto predominantemente por resíduos de concreto e materiais pétreos.

Material	(%)
Cerâmicos	10,94
Rochas	27,98
Argamassa/Concreto	44,87
Cerâmica polida	5,31
Material fino	2,55

**Tabela 2. Composição do agregado reciclado. Fonte: elaborado pelos autores.**

Visualmente, em procedimento de análise granulométrica por peneiramento, o material retido foi analisado e retirou-se por catação os materiais indesejáveis. Foi obtido um total de materiais indesejáveis de 8,35% em relação à massa total da amostra, compostos principalmente por resíduos de fibrocimento (4,28%). Este valor ultrapassa o limite de 3% estabelecido na norma NBR 15115 (ABNT, 2004e). A fim de dar continuidade à pesquisa, os materiais indesejados foram retirados completamente.

A Figura 3 apresenta a curva granulométrica do agregado reciclado.

O agregado reciclado apresentou índice de forma de 2,7, segundo NBR 7809/83 (ABNT, 1983). A norma NBR 15115 (ABNT, 2004e) especifica o valor inferior a 3,0 como limite ao

emprego destes agregados. Quanto à umidade, este obteve uma absorção média de 0,16 pela NBR NM 53/2002 (ABNT, 2002). O valor obtido é considerado como viável para o uso de misturas de solo-agregado.

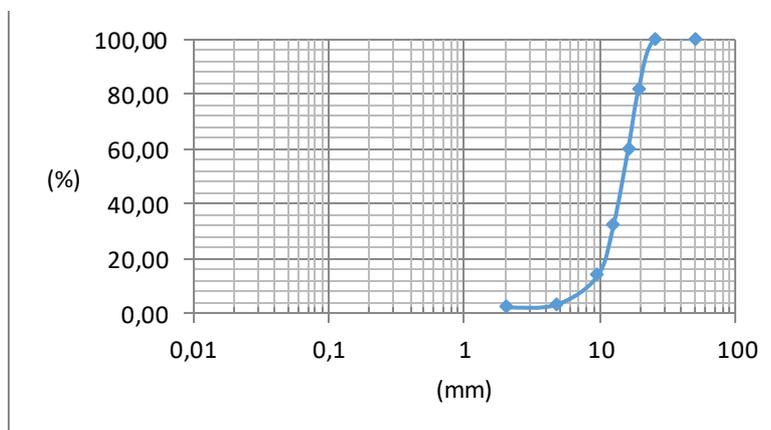


Figura 3. Curva Granulométrica do RCC. Fonte: elaborado pelos autores.

#### 4.2 Análise do Comportamento Mecânico

Para a avaliação do comportamento mecânico, foi realizada uma estabilização granulométrica entre o solo coletado e o agregado reciclado após a remoção dos materiais indesejáveis. O processo de estabilização granulométrica teve como foco obter uma mistura destes materiais que fornecesse uma camada de base com boas características técnicas. Para isso, as proporções utilizadas para a mistura do agregado reciclado com o solo foram, respectivamente, de 75% e 25%. Escolheu-se essa porcentagem após observar que a curva granulométrica da mistura se enquadra na Faixa A da norma DNER ES 303/97 (Figura 3 e Tabela 3).

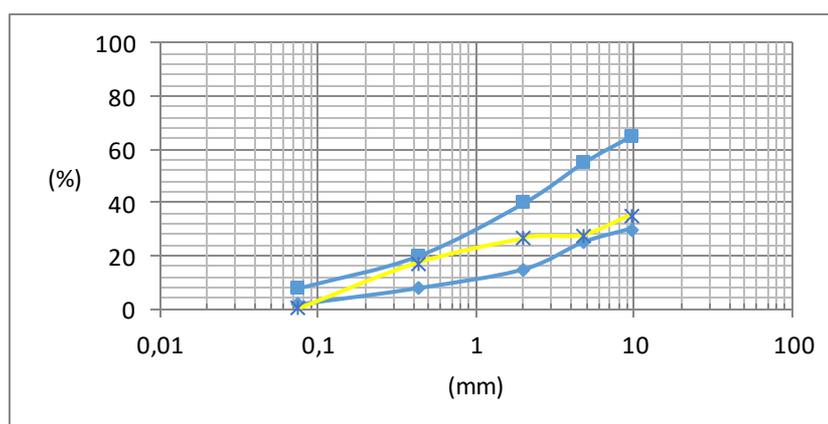


Figura 3. Curva Granulométrica da Faixa A e da Mistura de RCC-solo. Fonte: elaborado pelos autores.

Para a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do composto solo-agregado, os ensaios foram realizados conforme o método descrito na norma DNER-ME 049/94 (DNIT, 1994). A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o composto estudado.

Pode-se verificar que o valor obtido (ISC =68%) está de acordo com a NBR 15115 (ABNT, 2004e), para emprego em camadas de base e sub-base de rodovias. Esta norma exige que o ISC alcance um valor mínimo de 60% para tráfegos médios menores que  $N \leq 10^6$ . Não foi observado, no ensaio, expansão ou alteração do agregado reciclado na presença de água. De acordo com Trichês e Kryckyj (1999), a expansibilidade baixa ou nula dos resíduos de construção civil é um dos grandes atrativos para a utilização deste material em pavimentação

FAIXA A DNER ES 303/97			SOLO	AGREGADO	MISTURA	TOLERÂNCIA (%)
Peneira (mm)	% passante (limite 1)	% passante (limite 2)	% passante	% passante	% passante	
25,4	100	100	100,00	100,00	-	
19	-	-	100,00	81,69	-	
9,5	30	65	100,00	13,90	35,43	± 7
4,75	25	55	100,00	3,56	27,67	± 5
2	15	40	99,03	2,50	26,63	± 5
0,425	8	20	68,26	0,00	17,07	± 5
0,075	2	8	0,94	0,00	0,24	± 2

**Tabela 3. Análise do enquadramento da mistura agregado-solo. Fonte: elaborado pelos autores.**

Composição do agregado reciclado	Energia de compactação	Umidade obtida (%)	ISC (%)
Misto	Intermediária	13,6	68

**Tabela 4. Resultados de ensaios de Índice de Suporte Califórnia. Fonte: elaborado pelos autores.**

### 4.3 Análise comparativa dos resultados obtidos

Para realizar a análise da viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado substituindo o convencional, foram comparados os valores com os parâmetros descritos na norma NBR 15115 (ABNT, 2004e) (Tabela 5) e com valores coletados em pesquisas existentes na área (Tabela 6).

Parâmetros NBR 15115		Valores do material estudado
% passante em peneira 0,42mm	entre 10% e 40%	17,07%
% materiais indesejáveis	3%	0 %*
Índice de forma	≤ 3,0	2,7
Índice de Suporte Califórnia	≥ 60%	68 %

**Tabela 5. Parâmetros estipulados pela NBR 15115. Fonte: Elaborado pelos autores.**

**\*Os materiais indesejados (8,35%) foram retirados completamente para a criação do composto.**

Composição do ARC	Procedência	Energia de compactação	Umidade Ótima (%)	ISC (%)	Autor
Misto	Porto Alegre Brasil	Intermediária	13,6	68	Esta pesquisa
Misto	Goiânia Brasil	Intermediária	14,5	88	Mendes et. al (2004)
Misto	São Paulo Brasil	Intermediária	11,0	75	Motta (2005)

**Tabela 6. Valores de comportamento mecânico obtidos em pesquisas similares. Fonte: Elaborado pelos autores.**

Motta (2005) estudou agregados reciclados mistos de São Paulo para aplicação em vias de baixo volume de tráfego. Foram estudadas misturas de agregado reciclado sem adições, com adição de cal (4%) e com adição de cimento (4%).

Mendes et al. (2004) construíram um trecho experimental de 50 m empregando uma mistura de solo argiloso com agregado reciclado em camadas de base (75% de agregado reciclado) e sub-base (83% de agregado reciclado). Por meio da construção deste trecho experimental, foi constatado o comportamento do agregado reciclado em pavimentos flexíveis.

Sabe-se que a simples comparação entre os resultados obtidos em outras pesquisas merece uma série de ressalvas, visto a grande variabilidade entre as características de solos e a falta de heterogeneidade entre resíduos da construção civil gerados em diferentes locais. Embora este fato seja verdadeiro, e todas essas considerações devam ser observadas, esta pesquisa, assim como outras consultadas, sinaliza de forma positiva a viabilidade de estudo do aproveitamento dos resíduos da construção civil em compostos com solo, para uso em camadas de pavimentos de baixo volume de tráfego.

## 5. Considerações Finais

O resíduo da construção estudado nesta pesquisa caracterizou-se como um material não plástico, predominantemente arenoso e com curva de distribuição granulométrica bem graduada. A graduação do material é uma das características que assegura a estabilidade aos pavimentos. As características de comportamento mecânico em campo são muito influenciadas pelo arranjo granulométrico dos agregados, sejam eles naturais ou artificiais.

Quanto aos resultados obtidos nos ensaios de índice de forma com os agregados reciclados, observa-se a predominância de grãos com a forma cúbica atendendo às recomendações da norma NBR 15115 (ABNT, 2004e).

A análise da natureza dos materiais constituintes da fração graúda da amostra indicou como materiais predominantes os cimentícios, com 44,87% e os rochosos com 27,98%. Foi identificada ainda a presença de 8,35% em massa de materiais indesejáveis de diferentes origens, não estando de acordo com a NBR 15115 (ABNT, 2004e). Para os ensaios deste trabalho, realizou-se a triagem do material para estudar o composto sem a presença de materiais indesejáveis.

Os principais materiais indesejáveis identificados foram: fibrocimento, e resíduos gerais como plástico e madeira. Outras pesquisas demonstram que a composição de um agregado reciclado é um aspecto muito importante no seu emprego, pois influencia diretamente suas propriedades físicas.

Quanto ao comportamento mecânico, os resultados obtidos em ensaio de ISC no composto solo-agregado atendem o mínimo exigido pela NBR 15115 (ABNT, 2004e), para emprego em camada de sub-base e base de vias de baixo volume de tráfego. No que se refere à viabilidade técnica, o agregado reciclado estudado atendeu aos requisitos das normas técnicas como insumo na construção das camadas de pavimentos em substituição aos materiais convencionais.

Esta pesquisa apresentou resultados positivos quanto ao uso de resíduos da construção civil em camadas de pavimentos, excluindo-se o alto índice de materiais indesejáveis, que devem ser retirados. A retirada dos materiais indesejáveis, em escala maior, é ainda um obstáculo a ser superado dada a heterogeneidade dos resíduos, a falta de pesquisa sobre o assunto e a dificuldade de realizar essa separação de forma manual.

Comparou-se os resultados obtidos com outras pesquisas efetuadas no Brasil, com objetivo de mostrar o crescente interesse e análises de viabilidade técnica de uso destes materiais. Embora os resultados obtidos nesta pesquisa sejam diferentes dos números e magnitudes obtidos por demais pesquisadores, de forma geral, as pesquisas apontam os resíduos da construção civil como uma atraente alternativa técnica. Sabe-se, no entanto, que muitos outros fatores devem ser estudados para validar adequadamente o uso desse tipo de material.

Conclui-se que o agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil ensaiado, em substituição aos materiais convencionais, é de uso promissor como insumo na construção das camadas de rolamento da enorme rede de rodovias com baixo volume de tráfego não pavimentadas. O emprego desse material colabora com a redução de impactos socioambientais que os resíduos causam. O consumo destes materiais contribui com a preservação do meio ambiente, com o compromisso de respeito pela natureza, com a busca de novas alternativas de construções sustentáveis para a sociedade e melhora das condições de rodovias rurais.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217 - Agregado: determinação da composição granulométrica, especificação. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809/83 – Agregado graúdo: Índice de Forma. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Lixiviação de Resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004e.
- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção. Florianópolis, 2003
- BERNUCCI, L. L. B. et. al. Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências, 2010a.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010b.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 27 de março de 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 049: Solos – determinação do Índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 303/97: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Pavimentação. 3ed. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Conservação Rodoviária. 2ed. Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, D.D.M.; NOSCHANG, C.R.T.; FERREIRA, L.F. Gestão de resíduos da construção civil e de demolição: contribuições para a sustentabilidade ambiental. In: V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, 2009.

MENDES, T. A.; REZENDE, L. R.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, R. C., CARVALHO, J. C.; VEIGA, R. Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado, Rio de Janeiro, 2004.

MOTTA, R. S. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PREUSSLER, E. S. et al. Retroanálise – Processos para Avaliação Estrutural de Pavimentos. In: 32ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Brasília, 2000.

SKORSETH, K.; SELIM, A. *Gravel Roads: Maintenance and Design Manual*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration – FHWA. South Dakota Local Transportation, 2000. Disponível em:

<<http://www.nijc.org/pdfs/TTAP/gravelman.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2017.  
STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. Resíduos: como lidar com recursos naturais. 1. ed. São Leopoldo: Oikos, 2008.

TRICHÊS, G.; KRYCKYJ, P. R. Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL. São José dos Campos, 1999.

## **Ecocasa popular 1.0: Uma alternativa sustentável para casas populares**

### *Ecohouse popular 1.0: A sustainable alternative to popular homes*

**Sayonara Lanna, graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.**

sayonaralanna1996@hotmail.com

**Natan da Silva, graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.**

natan\_rv\_@hotmail.com

**Emerson Gervásio de Almeida, Doutor, Universidade Federal de Goiás.**

emersongervasio@gmail.com

**Yan Alves Carvalho, graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.**

yanalvescarvalho20@hotmail.com

**Juarez Francisco Freire Júnior, graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.**

juarezffj@hotmail.com

### **Resumo**

A construção civil é uma das grandes responsáveis pelos impactos ambientais negativos na sociedade moderna, seja pela geração de resíduos ou pelo consumo exacerbado de matéria prima. O objetivo deste trabalho é apresentar um exemplo real de habitação sustentável, baseado na arquitetura de casas populares de baixo padrão, mediante uso das principais normas e certificações vigentes. A metodologia utilizada se caracteriza dentro do gênero aplicada, não desconsiderando a investigação documental e bibliográfica, além da utilização dos softwares Revit, Sketchup e Lumion na produção de um exemplo prático de uma ecocasa. Como resultado, ficou nítido o crescimento e a importância do tema, principalmente nos últimos anos, inclusive sob a ótica de normatização, tornando-se uma das principais tendências no âmbito da construção, o que pode ser intensificado por projetos de baixo impacto ambiental, que agreguem economia à construção sustentável, como o que ora se produziu (ecocasa popular 1.0).

**Palavras-chave:** Habitação; Construção civil; Sustentabilidade; Normatizações.

### **Abstract**

Civil construction is one of the main responsible for the negative environmental impacts in modern society, either by the generation of waste or by the exacerbated consumption of raw material. The

objective of this work is to present a real example of sustainable housing, based on the architecture of popular low standard houses, through the main norms and certifications in force. The methodology used is characterized within the applied genre, not disregarding the documentary and bibliographic research, beyond the use of the software Revit, ®Sketchup and ®Lumion in the production of a practical example of an ecocasa. As a result, the growth and importance of the theme has been clear, especially in recent years, including from the viewpoint of standardization, becoming one of the main trends in construction, which can be intensified by projects of low environmental impact, adding economics to sustainable construction, such as what has now been produced (ecohouse popular 1.0).

**Keywords:** Housing; Construction; Sustainability; Normatizations.

## 1. Introdução

O axioma da engenharia civil é aplicar os conhecimentos teóricos de diversos campos de estudo de forma a contribuir com o desenvolvimento social. Todavia, o interesse em atender as carências humanas em contraste a não maleficar as proles futuras é uma reflexão contemporânea. “[...] Acreditando que o desenvolvimento sustentável implica em atender as necessidades do presente sem comprometer a necessidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades [...]” (RELATÓRIO BRUNDTLAND, 1987, p. 41 tradução nossa).

De acordo com Medeiros e Nardi (2012), existem vários parâmetros no projeto de um edifício sustentável como utilização de eco produtos, otimização de sistemas, e geração de energia renovável no local. No entanto todas essas práticas devem ser feitas de forma otimizada e econômica, para que o custo dessas residências seja acessível.

Consoante Goulart (2010), esses edifícios ainda conseguem tirar vantagem de recursos naturais e renováveis, isto é, usar a luz solar através de técnicas solares passivas e painéis fotovoltaicos; usar plantas e árvores através do uso de telhados verdes e jardins; uso de pedregulhos ou cascalhos para áreas de estacionamento, ao invés de concreto ou asfalto, para aumentar a absorção de água pelo solo e reposição de água subterrânea.

Segundo Corrêa (2009), a manutenção das edificações ao longo de sua fase operativa também é um fator básico para se garantir uma construção sustentável, já que prolonga sua vida útil, adiando ao máximo sua demolição e evitando produção de entulhos

São inúmeras as formas de contribuir para o desenvolvimento sustentável, seja obtendo certificados ou construindo conforme estatuto, e por essa razão o intuito deste trabalho é apresentar as normas vigentes e alguns certificados de relevância no âmbito, bem como um exemplo prático (mediante uso dos *softwares* ®Revit, ®Sketchup e ®Lumion) aplicado a casas de baixo padrão cedidas por programas do governo federal de modo não só a garantir que esses beneficiários tenham um teto, mas também melhores condições de vida sejam por economia de água ou luz.

O objetivo em questão é discorrido em análise dos principais fatores de impacto associados ao meio ambiente e avaliação das principais normatizações na área, visando estabelecer quais as de melhor aplicabilidade e viabilidade para o tipo de edificação considerada, sem implicar um elevado custo. Além disso, são explanadas as principais certificações, buscando demonstrar quais seriam as adaptações mais importantes relacionadas aos projetos considerados sustentáveis.

Por fim, buscou-se apresentar um projeto compatibilizado com as normas e necessidades identificados, enfatizando suas principais especificidades e diferenciações construtivas inerentes ao contexto ambiental. Com base nisso, foi feita uma avaliação quanto às certificações viáveis ao projeto e quanto à potencial aplicação em construções populares.

## **2. Metodologia**

A metodologia utilizada no trabalho foi a perquirição de fontes bibliográficas relacionadas a temas como construção sustentável, green buildings, desenvolvimento sustentável, engenharia verde, engenharia legal e outros.

Inicialmente, a pesquisa abrangeu um consistente levantamento bibliográfico para posterior análise desses textos e conclusão de aspectos legais e normativos dos temas supracitados. Por fim, fazendo-se uso das informações apresentadas, aplicou-se o que foi exposto num exemplo real de projeto com o auxílio dos *softwares* ®Revit, ®Sketchup e ®Lumion.

A escolha do software ®Revit para a realização do projeto foi ponderada no fato do programa ter como conceito a metodologia BIM (Building Information Modelling). Em meados do mês de maio de 2018 o governo Federal instituiu o Decreto nº 9.377, que visa impulsionar a disseminação do conceito BIM no Brasil. Além disso, o software possui versão estudantil, tendo sido então a versão utilizada no estudo.

## **3. Alternativas sustentáveis aplicáveis a edificações populares**

O contexto atual, atrelado ao forte processo de degradação ambiental e aos elevados índices de poluição, enfatiza a real necessidade da busca por soluções sustentáveis para as edificações no Brasil. É preciso, no entanto, alinhar essas alternativas com a viabilidade econômica para tornar os projetos mais palpáveis e acessíveis à diversidade populacional do país, especialmente no que se refere às populações financeiramente desfavorecidas.

### **3.1 Impactos ambientais da Construção Civil**

De acordo com Mattes (2014), o setor de construção civil está entre os que mais consomem recursos naturais no mundo, sendo responsável por uma parcela entre 40% a 75% desse consumo. Dentre os materiais mais consumidos pelo setor, destacam-se dois que também são os materiais mais consumidos no mundo: a água e o concreto, sendo que esse último tem o primeiro como uma de suas matérias primas, juntamente com o cimento, a areia e a brita. No entanto, segundo Diana Scillag, diretora do CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, apenas uma parcela entre 20% a 50% dos recursos naturais extraídos pelo setor é realmente aproveitada nas obras.

Diante desse elevado consumo de recursos naturais, a indústria de construção civil se caracteriza também como uma das maiores produtoras de resíduos do mundo, gerando cerca de 25% do total mundial (MOURA e MOTTA, 2013).

Outra problemática recorrente envolvendo os impactos gerados pelo setor de construção é o uso e consumo de energia, já que, segundo José Goldemberg, em torno de 40% da energia gasta mundialmente é destinada à construção e ao funcionamento de casas e apartamentos.

No entanto, diversos autores argumentam que o setor possui grande potencial para reverter tal conjuntura, na direção da sustentabilidade (MOURA e MOTTA, 2013).

### **3.2 Construção sustentável: princípios básicos**

Segundo o Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB, 2002, p.8), construção sustentável pode ser definida como um processo holístico que visa o reestabelecimento e manutenção da harmonia entre os ambientes naturais e os ambientes construídos, criando estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica. Nesse âmbito, a ideia de construção sustentável deve estar presente no decorrer de todo o ciclo de vida do empreendimento, desde sua concepção, passando por sua construção, até sua desconstrução ou demolição.

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura – AsBEA, juntamente com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS e outras instituições definem diversos princípios básicos relacionados à construção sustentável, dentre eles pode-se ressaltar:

- O aproveitamento das condições naturais;
- Integração ao ambiente natural, utilizando-se o mínimo possível do terreno;
- Estudo do entorno do local de construção, de modo a não provocar grandes impactos à paisagem, à temperatura e a sensação de bem-estar;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável de execução da obra;
- Adaptação às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Utilização de matérias primas eco eficientes;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;
- Redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos;
- Introdução de inovações tecnológicas, sempre que for possível e viável;
- Conscientização de todos os envolvidos no processo, disseminando a educação ambiental.

A concepção do projeto de uma construção sustentável deve ter por objetivo aumentar o tempo de vida útil do edifício, especificando os materiais adequados para que isso seja possível e mitigando os desperdícios de insumos, ocorridos muitas vezes por falhas no projeto ou por método de execução inadequado [...] (CORRÊA, 2009).

## **4. Certificações**

Dentre as diversas iniciativas emergentes para se promover o desenvolvimento sustentável na Indústria da Construção Civil, pode-se destacar também os métodos de certificação ambiental para edificações sustentáveis. Tais métodos estabelecem parâmetros e metas que possibilitam a verificação do desenvolvimento das questões de sustentabilidade nos mais diversos países.

Uma das características mais importantes a serem ressaltadas a respeito dos sistemas de certificação ambiental, que vem se configurando como uma tendência mundial, é a existência de uma abordagem de desempenho intimamente ligada aos mesmos e que implemente a prática de se visar os fins ao invés dos meios, ou seja, enfocando-se no cumprimento de diversos requisitos que os produtos ou serviços devem adotar. No entanto, além da abordagem de desempenho do produto, as maiores partes dos sistemas de certificação exigem também o atendimento de determinados requisitos na fase produtiva, como por exemplo, redução nos níveis de poeira, ruído e consumo de energia no canteiro de obras (MOURA, 2017).

Com relação ao panorama brasileiro, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, as duas certificações ambientais para edificações mais utilizadas atualmente são o LEED™ - *Leadership in Energy and Environmental Design*, emitida pelo *United States Green Building Council*, contando com 437 projetos certificados acumulados até o ano de 2017, e o Processo AQUA© (Alta Qualidade Ambiental), certificação brasileira que tem por base a certificação francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*), com 255 certificações acumuladas até o ano de 2016. Além desses, algumas iniciativas brasileiras como o Selo Casa Azul e o PROCEL EDIFICA vem ganhando cada vez mais espaço no mercado nacional atual (CORRÊA, 2011).

No Quadro 1, a seguir, são mostradas as descrições dos principais tipos de certificação sustentáveis, adotadas em edificações, aplicáveis no Brasil.

<b>Certificação</b>	<b>Processos de certificação</b>	<b>Área de atuação</b>
LEED	Certificatated (Certificado LEED - mais simples); Silver (Prata); Gold (Ouro); Platinum (Platina).	Avalia características de um bairro ou edifício. São certificados: projeto, construção, operação, manutenção de edifícios saudáveis, econômicos, com alto desempenho e eficiência em termos de recurso (MOURA, 2017).
AQUA-HQE	O Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e a avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE).	Definição e avaliação da qualidade ambiental; avaliação, em diferentes fases, do atendimento ao perfil desejado a priori.
Casal Azul CAIXA	Selo ouro, prata e bronze.	Reconhecimento de projetos que adotem soluções eficientes na construção, uso, ocupação e manutenção dos edifícios.
Selo PROCEL Edificações	Avaliação feita por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) do Inmetro.	Promoção do uso racional de energia elétrica em edificações.

**Quadro 1: Principais certificações aplicáveis no Brasil. Fonte: elaborado pelos autores.**

## 5. Normatizações técnicas para edificações sustentáveis

Em relação a construções sustentáveis, o grande desafio está em superar a distância entre a teoria e a prática. Nesse tocante, as normas técnicas servem como ferramentas indispensáveis para o desenvolvimento da construção sustentável, na medida em que elas detêm os meios para os profissionais e construtoras desenvolverem seus projetos, de forma econômica que em seus parâmetros levem em consideração a criação e manutenção de um ambiente digno, resguardando sempre os princípios ecológicos e promovendo o uso eficiente dos recursos (ABNT, 2014).

Visando esses princípios, a ABNT disponibiliza diversas normas para tornar sua construção sustentável, como seguem no Quadro 2 abaixo:

ABNT NBR 12284/1991	Áreas de vivência em canteiro de obras
ABNT NBR 15112/2004	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
ABNT NBR 15114/2004	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem
ABNT NBR 13969/1997	Tanque séptico – Unidade de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação
ABNT NBR 15215/2005	Iluminação natural
ABNT NBR 15527/2007	Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisito
ABNT NBR 10834/1994	Blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural – Especificação
ABNT NBR 8491/2012	Tijolo de solo-cimento – Requisitos
ABNT NBR 15747-1/2009	Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares
ABNT NBR 15569//2008	Sistema de aquecimento solar de água em circulação direta – projeto e instalação
ABNT NBR 11877/1991	Sistema fotovoltaicos – Especificações
ABNT NBR 15575/2013	Edificações habitacionais – Desempenho

**Quadro 2: Normatizações ABNT para construções sustentáveis. Fonte: ABNT NBR (2018).**

## 6. EcoCasa popular 1.0

Mesmo com o avanço tecnológico na construção civil, ao ponto de serem encontradas habitações completamente ecológicas e sustentáveis, os altos custos envolvidos na concepção inviabilizam sua popularização. Contudo, é possível construir moradias nesse

perfil com menor custo, utilizando matérias-primas sustentáveis aliada a uma arquitetura inteligente e eficiente que aproveite os elementos naturais, como radiação solar, ventilação e aproveitamento da água da chuva.

Um bom exemplo de habitação popular sustentável, desenvolvida no Brasil é a casa modular para Amazônia, cujo projeto da casa compreende coleta e aproveitamento da água da chuva, telhado verde, tratamento ecológico do esgoto, e utilização de bambu como material de construção civil (Sá Ribeiro e Sá Ribeiro, 2018).

A partir do exposto, foi idealizada a EcoCasa popular 1.0, que além dos aspectos sustentáveis e ecológicos, foi projetada para atender as exigências de conforto térmico do Centro-Oeste do Brasil. A casa foi projetada com cerca de 60 m<sup>2</sup> de área construída, e consiste em uma residência unifamiliar de interesse popular que possui dois quartos, um banheiro social, sala, cozinha e área de serviço.

As estratégias sustentáveis adotadas nesse projeto foram: sistema de aquecimento solar de água, telhado verde, painéis fotovoltaicos, aberturas de janelas grandes, jardim vertical, sistema de reuso de água e materiais sustentáveis a serem adotados na execução do projeto.

O sistema estrutural adotado em questão foi o tradicional de viga pilar e laje impermeabilizada, no entanto a vedação será de tijolos de solo cimento vazado, por conter baixo teor de cimento e sua composição ser em quase sua totalidade de solo que é uma matéria-prima abundante, com bom comportamento térmico, reciclável, reutilizável e incombustível, o que aponta este material como uma das alternativas para a construção sustentável (FERREIRA, LUSO e CRUZ, 2018). As dimensões dos tijolos a ser utilizadas são de 25 x 12,5 x 7 cm como o rendimento de 57 peças/m<sup>2</sup> (WEBER, CAMPOS, BORGA, 2017). Segundo Grande (2003),

Dentre as características positivas desse material tem-se: menor consumo de argamassa de assentamento e revestimento; comportamento térmico e durabilidade equivalente aos tijolos cerâmicos; pode ser utilizada como alvenaria de vedação ou estrutural; possibilidade de incorporação em sua fabricação de agregados oriundos de entulho reciclado e rejeitos industriais e; economia com gasto de energia e menor taxa de poluição, decorrente da ausência de necessidade de queima do tijolo.

O sistema de telhado verde foi incorporado nesse projeto por apresentar benefícios como aumento da biodiversidade; redução da velocidade de escoamento da água da chuva no telhado; aumento da retenção da água da chuva; filtragem da água pluvial; redução da emissão de carbono; e auxílio na diminuição da temperatura do micro e macro ambiente externo (MEDEIROS & NARDI, 2012). O telhado verde conforme Sá Ribeiro e Sá Ribeiro, (2018), tem a capacidade de diminuir em até 4 °C a temperatura interior de uma residência. Na execução dessa tecnologia é necessário fazer impermeabilização da laje, colocação de manta geotêxtil, instalações do sistema de drenagem, terra e plantas nativas (Figura 1 e 2). Para a EcoCasa serão utilizadas plantas rasteiras que não necessitam de poda, nem de irrigação constante como: onze-horas, rosinha-de-sol e tagedes.



**Figura 1: Sistema de telhado verde. Fonte: elaborado pelos autores.**



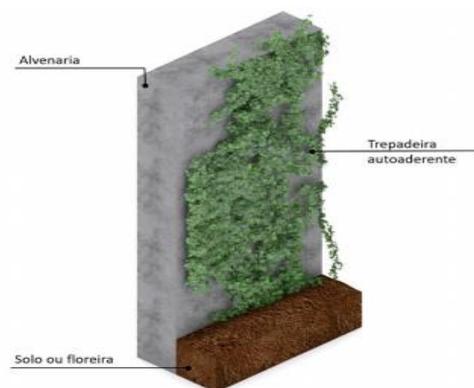
**Figura 2: Montagem dos componentes do Sistema de telhado verde. Fonte: Scherer; Alves e Redin (2018).**

Foi adotado também a tecnologia de coletores solar, que são amplamente utilizados para aquecimento de água a temperaturas relativamente baixas (inferiores a 100°C). O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, e já existem programas de habitação popular que aderem à implantação desses sistemas em várias cidades goianas (Anápolis, Goiânia, Rio verde), vide Figura 1.

Ainda foi previsto na implantação do projeto um jardim vertical com a perspectiva de melhorar o conforto térmico na moradia, purificar e embelezar as instalações. Conforme Queiroz (2013), os jardins verticais proporcionam um maior conforto térmico, provocando uma redução de cerca de 30% de energia proveniente de utilização de ar-condicionado e ventiladores. Dentre as vantagens desse jardim temos a produção de oxigênio, redução dos ruídos urbanos e ajuda a combater o efeito de ilha de calor embora, à primeira vista, a estética chame mais a atenção do que a função ecológica (MEDEIROS & NARDI, 2012). Algumas das espécies mais comuns para a implantação da fachada verde direta, são a *Parthenocissus tricuspidata* (hera japonesa ou falsa-vinha), *Hedera helix* (herainglesa) e a *Ficus pumila* (unha-de-gato ou falsa-hera). A Figura 3 representa o jardim vertical na casa e nos muros, sendo que a ideia do muro verde é plantar cultivares do tipo trepadeira. E a Figura 4 está representando os componentes do sistema do jardim vertical.



**Figura 3: Jardins verticais. Fonte: elaborado pelos autores.**



**Figura 4: Montagem dos componentes do Sistema de telhado verde. Fonte: Scherer; Alves e Redin (2018).**

O aproveitamento da água da chuva gera uma economia de até 50% do consumo de água tratada em uma casa. Para a adoção desse recurso, a residência precisa de calhas para o direcionamento da água até tubos de queda ligados diretamente a um reservatório, além da necessidade de filtros que impeçam a passagem de folhas, sujeiras e sementes para dentro do reservatório (FELIPE, 2011). A Figura 5 representa um sistema simplificado de um sistema de captação de água pluvial.

A norma NBR 15527/2007: Água da Chuva - Aproveitamento de Coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis determina os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas. São inúmeras as atividades que podem ser realizadas com essa água, os principais exemplos são: descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas e limpeza de pátios.

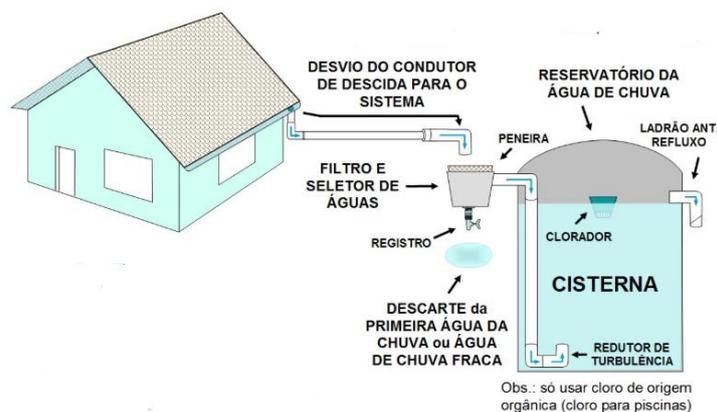


Figura 5: Sistema de captação de água da chuva. Fonte: SORIANO (2013).

Além do aproveitamento das águas da chuva o projeto conta também com um poderoso sistema de reutilização de água que consiste no tratamento biológico, por meio de zona de raízes, das denominadas águas cinzas claras. Esse sistema de tratamento biológico é conhecido como leito construído ou *wetland* (LAMBERTS et al, 2010).

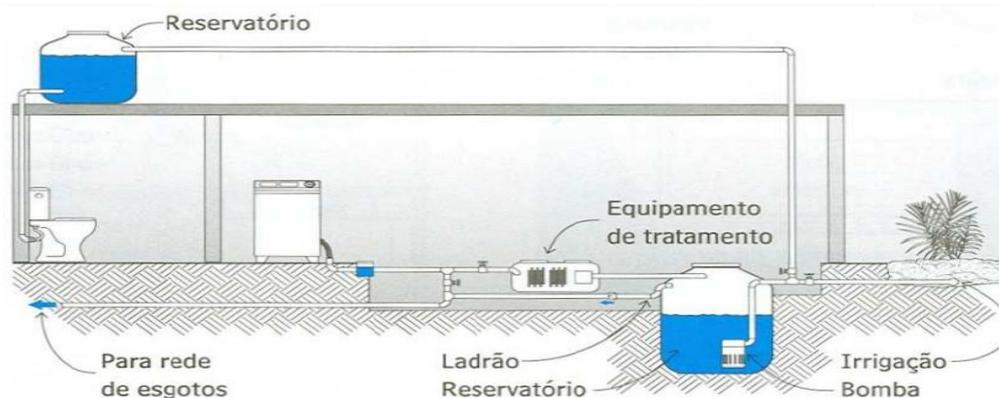


Figura 6: Sistema de tratamento de águas cinzas. Fonte: SELLA (2011).

Nesse modelo, as águas cinza claras são transportadas para um reservatório enterrado, onde também estarão localizadas, as águas da chuva coletadas e descartadas para uso no sistema não potável. A água desse tratamento poderá ser usada para jardinagem e como elemento decorativo.

Segundo Sella (2011), o sistema de coleta de águas cinza deve atender a NBR 8160/1999, ao passo que o sistema de distribuição desse mesmo sistema deve seguir a NBR 5626/1998.

Os chamados ECOPRODUTOS, são produtos que estão ganhando mercado na atualidade e deverão fazer parte das construções habitacionais mais integralmente no futuro, devido às leis ambientais mais rígidas e conscientização da população e dos profissionais da construção civil. Esses materiais, normalmente certificados, não poluem, não são tóxicos, são benéficos para o meio ambiente e ainda ajudam a desenvolver o modelo sustentável de edificações.

Os produtos adotados para elaboração da Ecocasa popular 1.0 são: Areia reciclada, produzida a partir de entulho; Cimento CPIII; Formas para moldagem de estrutura de concreto armado utilizando madeira certificada, plástico reciclado ou aço; Pavimentação permeável; Lâmpadas de LED; Tijolos de solo-cimento; Cerâmicas de baixo impacto, azulejos hidráulicos de material reciclado e pastilhas de fibras naturais (coco e bambu); Pisos emborrachados produzidos a partir de pneus usados; Telhas fabricadas a partir de materiais reciclados; Vernizes e tintas à base de água (MEDEIROS & NARDI, 2012). A Figura 5 mostra as fachadas frontal e posterior da Ecocasa 1.0.



**Figura 7: Fachadas frontal e posterior. Fonte: elaborado pelos autores.**

## **7. Considerações finais**

Tratando-se de um tema bastante em voga na atualidade é indiscutível sua importância no âmbito mundial. Investir em formas de mitigar os impactos da construção civil em contrapartida que modere o uso dos recursos sem gerar gastos demasiados é o grande objetivo do mercado. Por isso a necessidade de projetos inteligentes que façam uso dos recursos naturais presentes e torne sua subsistência o mais desoneroso possível, assim como a proposta da Ecocasa popular 1.0.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Boletim ABNT. 2014. Disponível em: <<http://abnt.org.br/paginampe/biblioteca/files/upload/anexos/pdf/8bd598dcf01122b42fd9cd03a0079afd.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- BRASIL. Decreto nº 9.377, de de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Diário Oficial, Brasília, DF, 18 maio de 2018. Seção 1, p. 3. Acesso em: 13 mar. 2018.
- CORRÊA, Aline Perdigão. Caminhos para adaptação de certificação de qualidade ambiental de edifícios no Brasil: reflexões. 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Base Minerva Disponível em: <<http://objdig.ufrj.br/21/teses/776623.pdf>> Acesso em: 20 dez. 2018>. Acesso em: 20 de dez. 2018.
- CORRÊA, Lázaro Roberto. Sustentabilidade Na Construção Civil. 70p. Monografia - Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia – UFMG, 2009.
- DEMONTINI, Rogers. Efeito fotovoltaico. 1998. Disponível em: <<http://marioloureiro.net/ciencia/FotoVolt/cogeraoafotovolt.pdf>>. Acesso em 20/12/2018.
- FELIPE, Maria Regina. Saiba como reaproveitar água da chuva. 2011. Disponível em: <<https://www.hagah.com.br/roteiros/saiba-como-reaproveitar-a-agua-da-chuva.>> Acesso em: 28/09/2018.
- FERNANDESA, Eunice Mancebo Rodrigues; LONGO, Orlando. INFORMAÇÃO, ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE: REQUISITOS PARA UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão. Volume 10, Número 3. 2015. pp. 458-467 DOI: 10.7177/sg.2015.v10.n3.a9. Disponível em: <<file:///D:/Meus%20documentos/Downloads/829-3374-1-PB.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- FERREIRA, Débora; LUSO, Eduarda; CRUZ, Maria. BLOCOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS. In: REHABEND, 7., 2018, Caceres (espanha). Anais dos trabalhos aceitos. Si: University Of Cantabria, 2018. p. 1368 - 1376. Disponível em: <<https://www.rehabend.unican.es/2018/>>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- GOULART, Solange. Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano. UFSC. Sd. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161\\_Sustentabilidade\\_apostila\\_0\\_0.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Sustentabilidade_apostila_0_0.pdf)> . Acesso em: 30/09/2018.
- GRANDE, Fernando Mazzeo. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/publico/Digital.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

JOHN, Vanderley Moacyr; PRADO, Racine Tadeu Araújo. Selo Casa Azul CAIXA – Boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas & Letras – Editora e gráfica, 2010. Realização CAIXA. Disponível em:

<[http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo\\_casa\\_azul/Selo\\_Casa\\_Azul.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/Selo_Casa_Azul.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2018.

LAMBERTS, Rodrigo et al. Casa Eficiente: Uso racional da água. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. 78 p. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente\\_vol\\_III\\_WEB.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_III_WEB.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2018.

MEDEIROS, Virgilio Almeida; NARDI, Vivianne. Casa Sustentável. 2012. Disponível em: <[http://sengeba.org.br/wp-content/uploads/2014/04/21-08-2012\\_construcao\\_sustent.pdf](http://sengeba.org.br/wp-content/uploads/2014/04/21-08-2012_construcao_sustent.pdf)>. Acesso em: 28/09/2018.

MOURA, Vinicius Silva. Certificação Ambiental De Edificações: Modelos De Conformidade E Processos De Implantação. 124p. Tese – Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

PROCEL INFO. PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética nas Edificações.

Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46>. Acesso em: 21 dez. 2018.

Relatório BRUNDTLAND: “Nosso futuro comum”. 1987. p. 41. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2018

SÁ RIBEIRO, Marilene Gomes; SÁ RIBEIRO, Ruy Alexandre. CASA SUSTENTÁVEL MODULAR PARA A AMAZÔNIA. Brasília: IBICIT, v. 12, n. 1, 1 jul. 2018. Disponível em:<[revista.ibict.br/inclusão/article/download/4398/3855](http://revista.ibict.br/inclusão/article/download/4398/3855)>Acesso em: 5 mar. 2018.

SCHERER, Minéia Johann; ALVES, Thales Severo; REDIN, Janaína. Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. Revista de Arquitetura Imed, [s.l.], v. 7, n. 1, p.84-101, 11 out. 2018. Complexo de Ensino Superior Meridional S.A.. <http://dx.doi.org/10.18256/2318-1109.2018.v7i1.2693>. Acesso em: 12 mar. 2019.

SELLA, Marcelino Blacene. Reúso de águas cinzas: Avaliação de viabilidade da implantação do sistema em residências. Porto Alegre: [s.n.], 2011. 87 p. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34521/000789725.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

TRIANA, Maria Andrea; GHISI, Enedir. Benefícios para aplicação do Selo Casa Azul. Categorias, Eficiência Energética, Projeto e Conforto. Realização: CAIXA, DUX Arquitetura e Engenharia Bioclimática e GIZ. 2013 Disponível em: [http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo\\_casa\\_azul/Beneficios\\_selo-casa-azul.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/Beneficios_selo-casa-azul.pdf) Acesso em: 14 nov. 2018.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação, [s.l.], v. 2, n. 6, p.18-34, ago. 2017. Semestral. Disponível em: <<https://periodicos.uniarp.edu.br/ignis>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

## **Biodeposição – selagem de poros com a aspersão de bactérias em argamassa.**

*Biodeposition - fill of pores with asperation of bacteria in mortar.*

**Jupira Almeida, Doutoranda, PPGEng – UPF.**

jupira@upf.br

**Roberto De Carli De Martini, acadêmico do curso de Engenharia Civil, UPF.**

robertodecarlidemartini@yahoo.com.br

**Laura Dall’Igna Favretto, acadêmica do curso de Engenharia Civil, UPF.**

142607@upf.br

**Fabiana Tonial, Doutora, PPGAgro - UPF.**

fabianatonial@upf.br

**Antonio Thomé, Doutor, PPGEng - UPF.**

thome@upf.br

### **Resumo**

A busca por materiais sustentáveis e de desempenho semelhante ao cimento tem aumentado, visto as complicações ambientais causadas pela produção do material. Uma das opções de material “substituto” são os microrganismos produtores de uréase, capazes de precipitar carbonato de cálcio, responsável pela cristalização. Esses microrganismos podem ser utilizados de diferentes formas para aumentar a resistência de argamassas. A biodeposição é o processo de aspersão de uma solução bacteriana em corpos de prova endurecidos. Neste estudo foram realizadas aspersões semanais de solução bacteriana em amostras de argamassa, e deixadas outras amostras como referência, com aspersão apenas de água, com o objetivo de verificar se a precipitação de carbonato de cálcio produziria aumento na resistência da argamassa. Ao romper os exemplares à compressão e tração, verificou-se aumento significativo nos que tiveram adição de bactérias, indicando que houve preenchimento de poros.

**Palavras-chave:** Bioargamassa; Biodeposição; *Sporosarcina pasteurii*; Aspersão; Precipitação de carbonato de cálcio.

## **Abstract**

*The search for sustainable materials and cement-like performance has increased, given the environmental complications caused by the production of the material. One of the options for "substitute" material is urea-producing microorganisms, capable of precipitating calcium carbonate, responsible for crystallization. These microorganisms can be used in different ways to increase the strength of mortars. Biodeposition is the process of sprinkling a bacterial solution on hardened test bodies. In this study, weekly spraying of bacterial solution on mortar samples was carried out, and other samples were left as reference, with only water spray, to verify if the precipitation of calcium carbonate would increase the resistance of the mortar. When breaking the specimens to compression and traction, there was a significant increase in those with bacteria addition, indicating that there was pore filling.*

**Keywords:** *Biomortar; Biodeposition; Sporosarsina pasteurii; sprinkling; precipitation of calcium carbonate.*

## **1. Introdução**

A construção civil é uma indústria de constante evolução em suas técnicas, materiais e conhecimentos. Inúmeras são as áreas de pesquisa na ciência dos materiais de construção. Um dos materiais que se tornou mais importante construtivamente é o cimento. Atualmente o cimento constitui argamassas, concretos, reforços de solo, pavimentos, estruturas, entre outros.

O que passou a preocupar as entidades responsáveis pelo meio ambiente são os ônus que a fabricação do cimento proporciona para a natureza. A produção de cimento no país em 2014 foi responsável pela emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera de 26.845 tCO<sub>2</sub>e (toneladas de dióxido de carbono equivalentes), segundo publicado na 3ª edição de dados sobre estimativas anuais de gases de efeito estufa no Brasil, do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do governo federal.

No intuito de contribuir para a diminuição de tais emissões, tornam-se então objetos de pesquisa, materiais que tenham propriedades semelhantes às do cimento, mas que sejam menos nocivos ao meio ambiente. Com a necessidade de reutilização de resíduos e visando ampliar a relação entre a engenharia civil e a microbiologia, os estudos envolvendo bactérias com propriedades cimentantes estão aumentando.

Existem vários conceitos ligados ao tema. A biomineralização, por exemplo, é a capacidade que os microrganismos têm de se transformar em minerais, ocasionando assim a semelhança com o cimento.

Esses microrganismos podem ser utilizados na argamassa de maneiras diferentes. Quando usados na mistura de argamassa ainda em estado fresco, o processo denomina-se biocimentação. Também podem ser dispostos sobre a argamassa depois que a mesma estiver sólida, processo que se chama biodeposição, que é o caso deste trabalho.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1 Conceitos de biomineralização

O processo que se denomina biodeposição, em sua essência, é oriundo da biomineralização. A biomineralização, segundo De Muynck et al. (2010), é o processo de produção de minerais por microrganismos, que pode depender ou não de fatores do ambiente externo, e pode acontecer de maneira induzida em mistura ou em disposição sobre estruturas existentes, se dividindo, então, em biodeposição e biocimentação.

Segundo De Muynck et al. (2010), a biodeposição consiste na aplicação de produtos biomineralizantes que são lançados a estruturas já existentes, geralmente para reparação de trincas, fissuras ou algum outro tipo de manifestação patológica existente, por meio da capacidade que tem de cristalizar-se, garantindo, assim, resistência mecânica e solidez.

Já o conceito de biocimentação, caracteriza o processo de formação de cristais de calcita em microrganismos, incorporados nas misturas de concreto e argamassa ainda no estado fresco, para que posteriormente sejam aplicadas formando estruturas sólidas, também por meio da capacidade de cristalização.

Da mesma maneira que outros processos de biomineralização, a precipitação de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) pode ocorrer de duas maneiras diferentes: biologicamente controlada ou induzida (LOWENSTAN e WEINER, 1988).

Wong (2015) define de forma bem simplificada o processo de cimentação microbiana para as bactérias tipicamente ureolíticas do gênero *Bacillus*, como mostra a Figura 1.

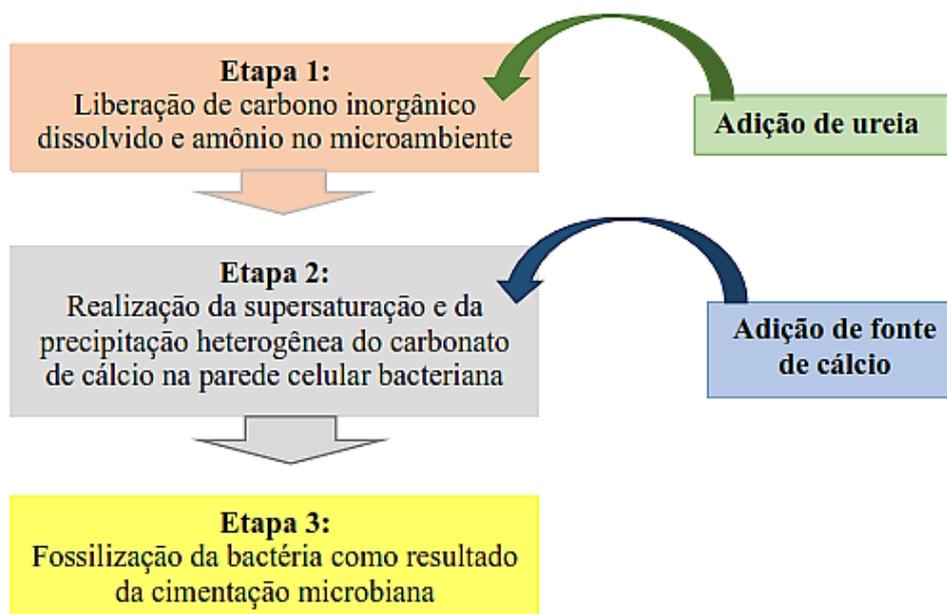


Figura 1: Etapas de cimentação de bactérias ureolíticas do gênero *Bacillus*. Fonte: Adaptado de Wong, 2015.

## 2.2 Microrganismos biomineralizantes

Ao longo dos anos, estudos envolvendo diversas bactérias e microrganismos foram apresentados, indicando que os mesmos têm potencial de precipitar o carbonato de cálcio e produzir calcita. Os locais de extração dos microrganismos responsáveis pela biocimentação variam desde o solo até as próprias estruturas existentes na construção civil.

A precipitação de carbonato deve, teoricamente, ocorrer em ambientes naturais pelo aumento da concentração de cálcio e/ou carbonato em solução ou pelo decaimento da solubilidade de cálcio e/ou carbonatos. A precipitação de calcita pode ocorrer abioticamente pela evaporação ou variação na temperatura ou pressão, ou bioticamente pela ação de microrganismos (WHIFFIN, 2004).

O Quadro 1 explicita, de acordo com o estudo de Sarayu et al. (2014), alguns microrganismos que já foram utilizados em pesquisas de biocimentação nos últimos anos.

Microrganismos	Referência
<i>Bacillus subtilis</i>	Tiano et al., 1999.
<i>Pseudomonas putida</i>	May, 2005.
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Baskar et al., 2006.
<i>Acinetobacter sp.</i>	Ferrer et al., 1988.
<i>Sporosarcina pasteurii</i>	Achal et al., 2011a; Bang et al., 2001; Ramachandran et al., 2001; Ramakrishnan, 2007; Day et al., 2003; Bang, 2001; Ramachandran Ramakrishnan, 2007.
<i>Bacillus pseudifirmus</i>	Jonkers et al., 2010.
<i>Shewanella sp.</i>	Ghosh et al., 2005.
<i>Mytilus californianus</i>	Heyrman et al., 1999 Heyrman et al., 1999.
<i>Micrococcus sp.</i>	Rodriguez-Navarro et al., 2003.
<i>Proteus vulgaris</i>	Whiffin, 2004.
<i>Bacillus megaterium</i>	Lian et al., 2006.
<i>Aerobacter aerogenes</i>	Chen et al., 2012.
<i>Synechococcus leopoliensis</i>	Aloisi, 2008.
<i>Calothrix sp.</i>	Riding, 2009.
<i>Phormidium crobyanum</i>	Kremer et al., 2008.
<i>Schizothrix sp.</i>	Foster et al., 2009.

Quadro 1: Microrganismos utilizados na biomineralização. Fonte: Adaptado de Sarayu et al., 2014.

## 2.3 Biodeposição aplicada à construção civil

Utilizam-se os conceitos e métodos da biodeposição, há décadas, na estabilização de solos, solo-cimento, argamassa, concreto entre outros. O uso do método também vem

crescendo devido a questão da sustentabilidade, que se faz cada vez mais presente em todas as indústrias, inclusive a da construção civil.

Segundo Dhami et al. (2013) as evidências de envolvimento bacteriano na precipitação de carbonato de cálcio culminaram em uma revolução na área da microbiologia, bem como na área da construção civil, se mostrando capaz de recuperar manifestações patológicas em estruturas de concreto, bem como ter propriedades cimentícias próprias. A aplicação destas células bacterianas em misturas de argamassa depende de um fator muito importante que é o seu meio de crescimento, o qual, muitas vezes, torna o uso em grande escala economicamente inviável, pelo seu custo elevado.

Os produtos oriundos da biomineralização estão em constante desenvolvimento para gerar materiais ecologicamente corretos ao redor do mundo. Como exemplos, pode-se citar cimentos microbianos, grautes, biopolímeros e bioplásticos de baixo custo, os quais são sustentáveis e ecológicos, além de úteis na engenharia civil. Os materiais e processos de base biológica ou bioinspirados podem ser utilizados para diversos fins na construção civil, dentre eles a melhoria das propriedades de materiais cimentícios, como também sua remediação em caso de patologias (AKAT'EVA, 2016).

No estudo de Salazar et al. (2018), diversas bactérias foram isoladas de amostras de concreto e argamassa retiradas de prédios na universidade Nacional da Colômbia. Ao visualizar as mesmas microscopicamente, constatou-se que tiveram papel cristalizante na estrutura.

## 2.4 Mecanismos bioquímicos da biocimentação

Achal e Mukherjee (2015) esclarecem que a precipitação microbiana de carbonato induzida envolve reações bioquímicas complexas regidas por duas enzimas importantes: a urease e anidrase carbônica, produzidas por microrganismos utilizando ureia como substrato e fonte de cálcio para mineralização, sendo descrita abaixo apenas as reações da urease, considerada a mais pesquisada. Durante a atividade da urease, 1 mol de ureia consumida contribui para 1 mol de amônia e 1 mol de carbamato, conforme apresentado na Equação 1, que espontaneamente hidrolisa para formar um adicional de 1 mol de amônia e ácido carbônico, como mostra a Equação 2, também conhecida como atividades ureolíticas.



Esses produtos formam, subsequentemente, bicarbonato e 2 mols de íons de amônio e hidróxido, apresentados nas Equações 3 e 4, após equilibrar em água, que dá origem a um aumento no pH e, finalmente, deslocar o equilíbrio de bicarbonato, resultando na formação de íons carbonato, definido na Equação 5 (ACHAL; MUKHERJEE, 2015).





Devido ao aumento do pH na célula, uma alta concentração de íons cálcio extracelular e uma baixa concentração extracelular de prótons são necessárias para a secreção de íons carbonato. Condição de pH elevado favorece a formação de  $\text{CO}_3^{2-}$  a partir de  $\text{HCO}_3^-$ . Finalmente, a concentração de carbonato aumenta, induzindo um aumento no nível de supersaturação, levando à precipitação de  $\text{CaCO}_3$  ao redor da célula na presença de íons de cálcio solúvel, mostrados nas Equações 6 e 7 (ACHAL; MUKHERJEE, 2015).



### 3. Materiais e Métodos

O trabalho experimental foi dividido em quatro etapas, conforme apresentado na Figura 2, e descritas na sequência.

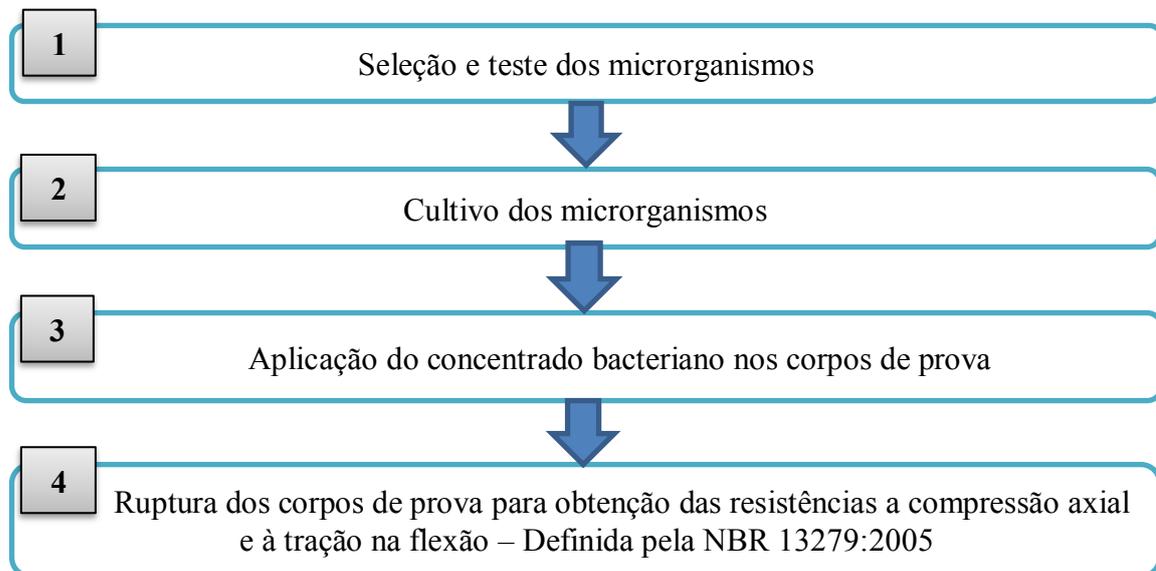
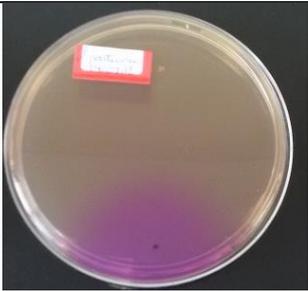
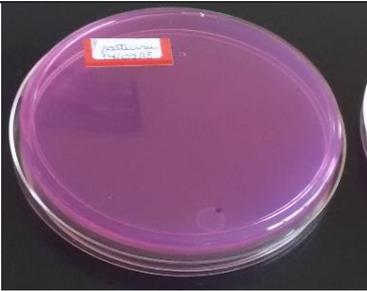
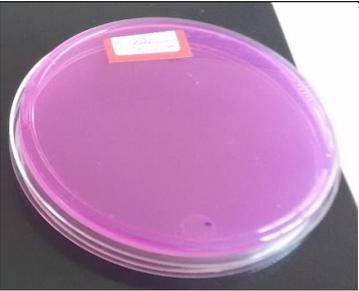


Figura 2: Etapas da pesquisa experimental. Fonte: elaborado pelos autores.

Na etapa 1 foi selecionado um microrganismo que, segundo pesquisas, possui um bom potencial ureolítico, uma bactéria gram-positiva do gênero *Bacillus*, denominada *Sporosarcina pasteurii* (CCT 0538 ATCC 11859). Foi testada sua produção de urease em teste de quantificação de urease usando ágar ureia e atividade enzimática através de curva de crescimento, mostrada na Figura 3.

24 horas			48 horas			72 horas		
								
1,2 cm	2,0 cm	2,1 cm	8,0 cm	8,0 cm	8,0 cm	8,0 cm	8,0 cm	8,0 cm

**Figura 3: Teste de quantificação de uréase da *Sporosarcina pasteurii*. Fonte: elaborado pelos autores.**

Na etapa 2 foi realizado o cultivo dos microrganismos, utilizando como alimento o caldo nutriente até a medida intermediária da fase log, fase de intensa atividade metabólica. O cultivo se deu por meio de agitação aquecida em um meio de cultivo de caldo nutriente. As células foram deixadas nessas condições durante 24h, e depois foi efetuada uma leitura em um espectrofotômetro, medindo a absorbância da substância, a qual diz respeito à turbidez do meio, que tem relação com a quantidade de microrganismos existente. A absorbância utilizada foi de 0,438 em densidade ótica de 600nm (OD<sub>600</sub>), mostrada na Figura 4, e à substância foi acrescido 2% de ureia, fonte de alimento dos microrganismos produtores de urease, e então passada para um recipiente tipo spray, com capacidade de borrifar ou aspergir o líquido contendo os microrganismos, ao passo que as amostras referencias foram aspergidas apenas com água.



**Figura 4: Solução bacteriana pronta para aspersão. Fonte: elaborado pelos autores.**

Na etapa 3 houve a aspersão para dispor sobre os corpos de prova de argamassa, que tinham sido moldados a 90 dias. Os corpos de prova continham argamassas no traço 1:1:2:6 e 1:1,5:2:6, sendo cinza de casca de arroz, calcário calcítico, cal hidratada e areia, respectivamente em cada traço, em volume. Foram realizadas 4 aplicações, sendo uma

aspersão por semana até completar 28 dias, e, a cada aplicação, os corpos de provas eram colocados em estufa com temperatura controlada de 30°C, até a próxima aplicação.

Simultaneamente foram deixadas amostras de referência, com aplicação apenas de água, sem microrganismos, controladas da mesma forma que as demais amostras durante 28 dias, para comparar os resultados das rupturas posteriormente.

Na etapa 4 foi realizada a ruptura dos corpos de prova com microrganismos e sem, realizando os ensaios de resistência a compressão axial e à tração na flexão aos 28 dias, definida pela norma técnica ABNT NBR 13279:2005, comparando os resultados.

#### 4. Resultados e discussão

Os corpos de prova foram ensaiados quanto a resistência à compressão axial e à tração na flexão, através de norma técnica NBR 13279:2005, sendo os resultados comparados aos diversos usos estabelecidos na norma técnica NBR 13281:2005.

Os resultados são apresentados na Tabela 1 (resistência à compressão) e na Tabela 2 (resistência à tração), na sequência representados em gráficos, na Figura 5 para resistência à compressão e na Figura 6 para resistência à tração.

Traço		Resistência a compressão (Mpa)		Comp. Média	Classe (Norma)
		Lado A	Lado B		
Referência	1:1,5:2:6	0,95	0,80	0,88	P1
		0,93	0,86		
	1:1:2:6	0,71	0,76	0,80	
		0,86	0,89		
Biodeposição	1:1,5:2:6	1,56	1,52	1,31	
		1,46	1,72		
		1,08	1,01		
		1,11	1,06		
	1:1:2:6	0,92	1,08	0,95	
		0,76	1,00		
		1,14	0,99		
		0,91	0,76		

Tabela 1: Resultados à compressão. Fonte: elaborado pelos autores.

O gráfico da Figura 5 expressa as diferenças de resistência à compressão entre os corpos de prova em que passaram pela biodeposição e os de referência, nos dois traços testados. Observa-se que o traço 1:1,5:2:6, que possui mais calcário calcítico, apresentou maior resistência que os demais, pois, apesar de serem testados traços sem cimento e utilizando cinza de casca de arroz como agente pozolânico, obteve-se um bom resultado de resistência a compressão.

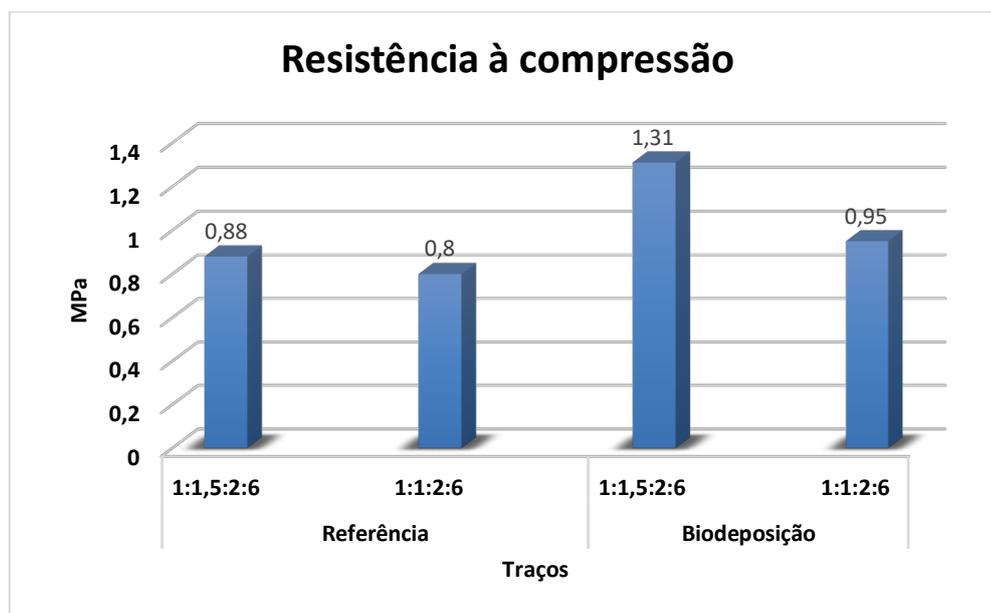


Figura 5: Resistência à compressão axial das amostras. Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 2 e a Figura 6 apresentam os resultados de resistência à tração na flexão das amostras testadas.

Traço		Resistência à tração (Mpa)	Tração Média	Classe (Norma)
Referência	1:1,5:2:6	0,030	0,035	R1
		0,040		
	1:1:2:6	0,028	0,029	
		0,030		
Biodeposição	1:1,5:2:6	0,054	0,053	
		0,040		
		0,066		
		0,052		
	1:1:2:6	0,038	0,036	
		0,033		
		0,030		
		0,042		

Tabela 2: Resistência à tração na flexão das amostras. Fonte: elaborado pelos autores.

O gráfico da Figura 6 expressa as diferenças de resistência à tração nos corpos de prova em que foram aplicados os microrganismos em comparação com os de referência, nos dois traços testados. Observa-se que, assim como na compressão, houve aumento de resistência nas amostras com traço com maior quantidade de calcário calcítico, em que foi realizada a biodeposição.

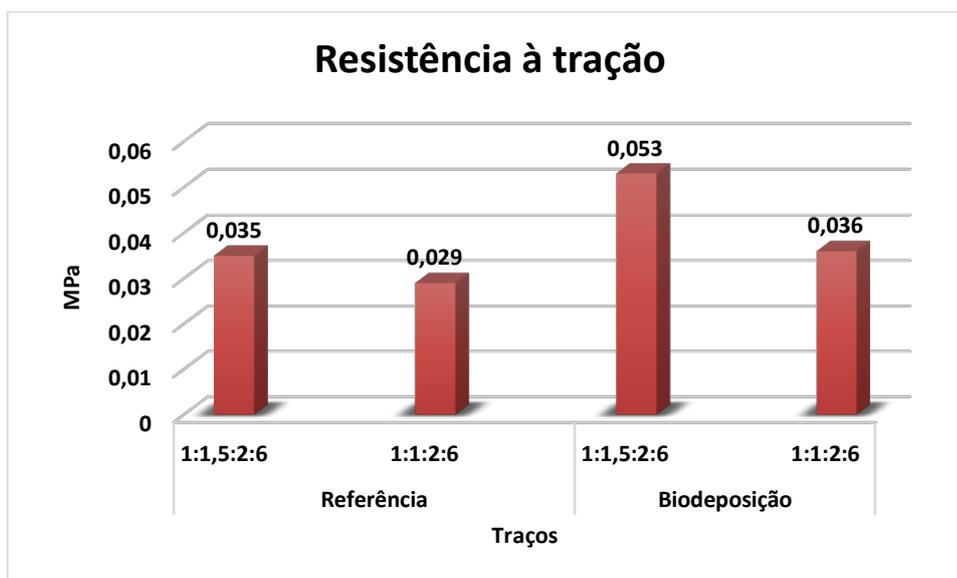


Figura 6: Resistência à tração na flexão das amostras. Fonte: elaborado pelos autores.

Observando os resultados dos ensaios e os gráficos gerados, percebe-se um nítido aumento na resistência, tanto à tração quanto à compressão nas amostras em que foi aplicado a aspersão bacteriana. Quando comparados com os requisitos da norma, os corpos de prova não atendem aos requisitos mínimos para o uso em assentamento e/ou revestimento.

O acréscimo de resistência nos corpos de prova tem grande probabilidade de ser devido à biodeposição, uma vez que os outros de mesmo traço, mas que não sofreram a aplicação, permaneceram com resistência inferior.

## 5. Considerações finais

O estudo teve como objetivo avaliar o processo de biomineralização, testando a biodeposição de microrganismos em corpos de prova feitos de argamassa sem a adição de cimento, verificando a influência na resistência de corpos de prova de argamassa já em estado endurecido. Obteve-se um ganho significativo de resistência em ambos os traços, mas o traço que continha mais calcário calcítico teve o melhor resultado. Para a ocorrência do processo de cimentação biológica necessita-se de um alimento aos microrganismos, que no caso é a ureia, material introduzido no concentrado bacteriano aspergido nos corpos de prova. Além disso, é necessária uma fonte de cálcio, representada pelo calcário calcítico. Com estes materiais unidos aos microrganismos e com temperatura adequada, no experimento fixada em 30° C, temperatura ideal de crescimento da maioria dos microrganismos do gênero *Bacillus*, pode-se observar que houve a produção de calcita nas amostras.

Novos experimentos são ainda necessários, no intuito de testar outros traços de argamassas, com a adição de cimento e/ou outros materiais pozolânicos, além de controle do crescimento bacteriano, como também a utilização de outras bactérias produtoras de urease.

De maneira geral os resultados foram satisfatórios, alcançando as expectativas. O processo foi realizado de acordo com as referências bibliográficas e por métodos inovadores, explorando a interdisciplinaridade da engenharia civil com a biologia.

## Referências

- ACHAL, V.; MUKERJEE, A. **A review of microbial Precipitation for sustainable construction**. Construction and Building Materials, v. 93, may 2015, pg. 1224-1235.
- AKAT'EVA, L.V.; IVANOV, V. K.; KOZYUKHIN, S.A.; GLADUN, V.D.; BARANCHIKOVA, A. E.; ZHILOV, V. I.; KHOL'KIN, A. I. Using extraction and sorption processes to obtain nanosized powders of calcium silicates and functional materials on their basis. **Theoretical Foundations of Chemical Engineering**, v. 50, n. 4, p. 490-497, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1329**: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa Para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil**. 3. ed. Brasília, 2016. Disponível em:  
<[http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO\\_MCTIC\\_EstimativaDeGases\\_Publica%C3%A7%C3%A3o\\_210x297mm\\_FINAL\\_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINAL_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd)>. Acesso em 16 abr. 2018.
- COSTA, J. J. S. **Biotecnologia e Biomimetismo: Contributos Inovadores para a Eco-eficiência da Indústria da Construção**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Lisboa, 2014.
- DHAMI, N. K.; MUKHERJEE, A; REDDY, M.S. Viability of calcifying bacterial formulations in fly ash for applications in building materials. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 40, n. 12, p. 1403-1413, 2013.
- DE MUYNCK, W.; DE BELIE, N.; VERSTRAETE, W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 2, p. 118-136, 2010.
- LOWENSTAN, H.A.; WEINER, S. **On Biomineralization**. Oxford: Oxford University Press, 1989.
- SALAZAR, S. M.; MARRIAGA, J. L.; BRANDÃO, P. Isolation and potential biocementation of calcite precipitation inducing bacteria from colombian buildings. **Current Microbiology**, v. 75, n. 3, p. 256-265, 2018.
- SARAYU et al. Soil Bacteria for the Strength Enhancement of Cement Mortar. **Journal Of Construction**, Chennai, v. 2, n. 4, p.51-54, jan. 2014.

WHIFFIN, Victoria S.. **Microbial CaCO<sub>3</sub> precipitation for the production of biocement**. Tese de doutorado. School of Biological Sciences & Biotechnology. Murdoch University. Western Australia, 2004. 162 pg.

WONG, Leong Sing. **Microbial cementation of ureolytic bacteria from the genus *Bacillus*: a review of the bacterial application on cement-based materials for cleaner production**. Journal of Cleaner Production, v. 93, 15 abr. 2015, p. 5-17.

## **Contêiner e a arquitetura do reuso: Proposta de instalação sanitária autônoma W-Eco**

### ***Shipping container and the architecture of re-use: proposition of an autonomous sanitary facility W-Eco***

**Rafaela de Souza Brasileiro, Graduada, Faculdade Brasileira**

rafaelabrasileiroarquitetura@gmail.com

**Sandra Moscon Coutinho, Mestre, Faculdade Brasileira**

sandramoscon@gmail.com

**Aline Silva Sauer, Mestre, Faculdade Brasileira**

alinesisa@hotmail.com

#### **Resumo**

Atualmente o Brasil tem se direcionado para os valores sustentáveis nos diversos setores do mercado, inclusive na construção civil. No âmbito da arquitetura, o reuso de contêineres representa muito mais do que uma estética diferenciada, ele representa a ressignificação de materiais obsoletos que contribuem para o acúmulo de lixo no planeta. O objetivo desta pesquisa é apresentar uma proposta arquitetônica de um modelo de instalações sanitárias públicas autônomas, tendo como principal diretriz o reuso de contêineres marítimos e a implantação de tecnologias sustentáveis pertinentes ao uso destinado à edificação. A metodologia consiste em pesquisa bibliográfica relacionada ao uso do contêiner e suas características e conhecimento das técnicas e soluções ambientais eficientes. Como resultado apresenta-se um projeto arquitetônico que engloba tecnologias ambientalmente amigáveis, sua transportabilidade e modulação, permitindo conhecer as possibilidades dessa solução e sua aplicação em eventos e áreas públicas.

**Palavras-chave:** Instalação sanitária autônoma; Contêiner; Tecnologias sustentáveis.

#### **Abstract**

*Brazil has been focusing on sustainable values in the various market sectors, including construction. In architecture, reuse of containers represents much more than a differentiated aesthetic, it represents the re-signification of obsolete materials that contribute to the accumulation of garbage on the planet. The objective of this research is to present an architectural proposal of a model of autonomous public sanitary facilities, having as main guideline the reuse of marine containers and the implantation of sustainable technologies pertinent to the use destined to the edification. The methodology consists in bibliographic review related to the use of the container, its characteristics and knowledge of efficient environmental techniques and solutions. As a result the*

*presented project encompasses environmentally friendly technologies that guarantee user comfort, its transportability and modulation, allowing knowing the possibilities of this solution and its application in events and public areas.*

**Keywords:** *Autonomous sanitary facility; Shipping containers; Sustainable technologies.*

## 1. Introdução

Ao longo dos anos, metas para reduzir o impacto das atividades humanas no meio ambiente vem sendo definidas por diversas convenções internacionais, buscando o controle das emissões e redução no consumo de recursos. Partindo disso, a construção civil, consumidora de uma parcela significativa dos recursos naturais, vem buscando soluções que atendam às necessidades de crescimento com menor impacto ao meio ambiente. Dessa forma, a arquitetura tem buscado, dentre outras estratégias, a reutilização de materiais descartados. O uso do contêiner marítimo como elemento arquitetônico atende esta nova demanda, garantindo o reaproveitamento desses elementos. Mas, além de ser uma solução sustentável, o contêiner se destaca pela facilidade no deslocamento e expansão do projeto.

Os espaços de uso público são uma forma eficaz de difundir os conceitos e valores sustentáveis da arquitetura à comunidade em geral. Em se tratando de banheiros públicos, sua versão móvel, mais conhecida como banheiros químicos, possui uma importante característica que é a efemeridade, porém essa tipologia raramente oferece uma atmosfera higiênica e confortável para seus usuários. Nesse sentido, em resposta a busca por novas alternativas, surge a oportunidade de incentivar a sustentabilidade através do reuso de objetos descartados e obsoletos, como os contêineres marítimos. O seu uso em banheiros públicos itinerantes pode oferecer melhores resultados, como a capacidade de ser transportado e adaptado a diversas locações, além da possibilidade de resignificação desses materiais, contribuindo para a minimização do acúmulo de lixo no planeta.

No caso de um banheiro público móvel e autossustentável, suas possibilidades envolvendo as tecnologias sustentáveis permitem um desempenho ainda melhor e mais limpo no que diz respeito ao seu impacto no meio ambiente, se comparado à maneira tradicional de construir. Guedes e Buoro (2015) citam algumas estratégias que podem ser implantadas ao projeto, tais como: captação de água pluvial, uso de telhas do tipo sanduíche de poliuretano ou telhado verde, técnicas de ventilação cruzada, utilização de equipamentos economizadores, uso de energia solar fotovoltaica, dentre outras.

Dessa forma, o presente trabalho visa apresentar uma proposta arquitetônica de instalação sanitária pública, sustentável e autônoma, a partir da utilização de contêineres marítimos, possibilitando a apresentação de uma opção diferenciada aos banheiros químicos transportáveis encontrados no mercado. A metodologia consiste em pesquisa bibliográfica relacionada ao uso do contêiner e suas características, levantamento das deficiências nas estruturas públicas existentes no que tange ao conforto e salubridade e ainda conhecimento de técnicas e soluções ambientais eficientes que possam ser utilizadas no projeto arquitetônico proposto.

## 2. Uso do contêiner na arquitetura

A partir da realização da II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992, a sustentabilidade na construção civil passou a ter maior visibilidade, bem como assuntos relacionados ao uso racional de recursos naturais como água e energia, redução de resíduos e extração de matéria prima. Essas discussões enfatizaram a necessidade de implantar novas formas de construir pelo mundo, colocando como prioridade a responsabilidade com o meio ambiente, que os profissionais da área devem possuir, além de expandir os horizontes dos consumidores quanto a uma nova modalidade de arquitetura que possibilita a utilização de objetos obsoletos e a redução do uso de recursos naturais (OCCHI, ROMANINI, 2014).

Neste contexto, o contêiner marítimo intermodal possui forma similar a um paralelepípedo, sua finalidade é o transporte de cargas, através de navios ou trens. Segundo Guedes e Buoro (2015), este elemento pode ser empilhado em até oito unidades. Seu formato facilita seu empilhamento, manuseio e transporte. É composto por chapas corrugadas horizontais e verticais de aço, tendo seus cantos como pontos de suporte e apoio estrutural. No Brasil, de acordo com Occhi e Almeida (2016), os modelos mais utilizados para a construção de edificações são os da categoria Dry de 20 pés e o modelo High Cube de 40 pés, que possibilita um pé direito mais alto (Quadro 1).

20 PÉS - STANDARD		Medidas Internas (mm): 5.900 x 2.352 x 2.386 Abertura de portas (mm): 2.340 x 2.280 Cubagem (m <sup>3</sup> ): 33,1 Peso máximo (kg): 24.000 Tara (kg): 2.240 Carga (kg): 21.760
40 PÉS - HIGH CUBE		Medidas Internas (mm): 12.033 x 2.352 x 2.694 Abertura de portas (mm): 2.340 x 2.580 Cubagem (m <sup>3</sup> ): 76,3 Peso máximo (kg): 30.480 Tara (kg): 3.800 Carga (kg): 26.68

Quadro 1: Dimensões e características. Fonte: *Safe Logistics*, 2018; adaptado.

Cowand, Hill e Frank (2013) fazem a comparação de contêineres com brinquedos de empilhar que instigam a criatividade, fazendo alusão a uma arquitetura um tanto lúdica. A partir desse pensamento, a arquitetura voltada para o reuso visa dar um novo propósito a objetos pensados para outras funções, que não a arquitetura. O contêiner marítimo é um exemplo que permite diversas possibilidades dentro de sua capacidade estrutural. De Paula e Tibúrcio (2012) enfatizam que ainda não existem estudos que determinem o ciclo de vida útil quanto ao seu uso na arquitetura, mas ele permanece como uma forma sustentável e vantajosa de se construir, pois por ser fabricado de aço o contêiner se torna um produto reciclável.

### 3. Diretrizes e estratégias sustentáveis

Com o intuito de se utilizar efetivamente dos conceitos de sustentabilidade junto à construção civil, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) frisam a importância de que as diretrizes e soluções sustentáveis devem ser dispostas desde as etapas preliminares do projeto arquitetônico. Para tanto, neste item serão expostos como esses fatores podem ser trabalhados possibilitando que o conforto seja garantido, através da implantação de materiais e estratégias apropriadas, de acordo com o uso da edificação em questão.

Em se tratando do reuso dos contêineres metálicos, o isolamento térmico deve ser estrategicamente implantado, pois a condutividade do calor, pertinente a esse material exige tal solução, permitindo que o calor incidido externamente na estrutura não seja dissipado para dentro da edificação com a mesma intensidade. Occhi e Almeida (2016) descrevem que este isolamento térmico pode ser realizado a partir de diversos materiais disponíveis e de fácil acesso, tais como as lãs de vidro, de pet ou de rocha, além de painéis de poliestireno. Esse isolamento deve abranger todas as superfícies de vedação como paredes, lajes e pisos. A cobertura também é um objeto de extrema importância para qualquer tipo de edificação. No caso do contêiner, técnicas comuns são as dos telhados verdes e telhas termoacústicas, impedindo que a incidência solar possibilite o superaquecimento interno dos ambientes.

Geralmente, em edificações fixas realizadas a partir de contêiner são utilizados painéis de gesso acartonado para o fechamento desse sistema e efeito de isolamento termoacústico. Contudo, a instalação proposta será constantemente transportada e, por isso, o gesso pode apresentar fissuras ao longo do tempo. Dessa forma, a utilização de painéis de compensado naval na vedação interna pode ser vantajosa pelo fato deste ser um material resiliente, resistente e apropriado para uso em áreas molhadas, possibilitando o assentamento de revestimentos de forma simplificada, próxima ao convencional.

Ainda se tratando das vedações, dentro dos parâmetros de conforto voltado para o olfato dos seres humanos, deve-se considerar a salubridade. Esta condição pode ser associada à umidade excessiva, promovendo a disseminação de agentes que prejudicam a saúde das pessoas. Dessa forma, “o objetivo da ventilação nas edificações é diluir e remover os contaminantes” (KEELER; BURKE, 2010, p. 88). Além disso, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que o ar quente se desloca e se aglomera na parte mais alta dentro da edificação, sugerindo que as aberturas sejam feitas em diferentes níveis, possibilitando a movimentação desse ar eventualmente para fora da edificação, outra estratégia a ser considerada é a de aberturas em superfícies opostas dando oportunidade à ventilação cruzada.

Ressalta-se que as aberturas proporcionam não somente a ventilação, mas também a entrada de luz, logo no momento da concepção projetual, deve-se preocupar com a implantação desses sistemas de iluminação natural ou misto no período de funcionamento diurno. Assim, projetar aberturas e ambientes internos com o intuito de tirar proveito máximo da luz natural permite a redução da necessidade das fontes artificiais durante o período de luz do dia e de carga térmica interna (GRUPO..., 2012).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) consideram como estratégias para uso de iluminação natural a forma do edifício, isso é determinante para os tipos de aberturas projetadas, sejam elas janelas ou aberturas zenitais. Nesse caso, as aberturas da instalação sanitária devem ser projetadas cautelosamente, permitindo a entrada máxima de iluminação natural, sem

abrir mão da privacidade e conforto térmico do usuário. As claraboias permitem a entrada de uma quantidade eficiente de iluminação natural e, quando bem utilizadas parte das lâmpadas ou todas elas poderão ser dimerizadas ou desligadas (KEELER; BURKE, 2010).

Quanto aos aspectos e soluções tecnológicas ambientalmente amigáveis, além das técnicas já discutidas, ainda podem ser expostas estratégias como a captação de águas pluviais. A maneira mais popularmente conhecida é por meio da cobertura, direcionando a água recolhida através de calhas a um tanque de armazenamento. Em relação à filtragem de águas pluviais, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) declaram que o destino de reuso dessa água pode ser a descarga sanitária e irrigação de jardins, mas, dependendo do sistema de filtragem e purificação implantado, pode torna-la útil também para a lavagem de mãos.

A água de chuva captada, quando passa apenas por um filtro que separa a sujeira proveniente das coberturas, não é potável e é imprópria para consumo, mas a partir da cloração da água, seu uso se torna apropriado para assepsia. Essa filtragem das águas pluviais pode ocorrer por meio de um filtro clorador, através da inserção da pastilha de cloro ou esse sistema pode ser encontrado já integrado ao reservatório de água, podendo compor modelos compactos e modulares, fáceis de adaptar a diversos ambientes e edificações (BRASIL, 2014).

Ainda se tratando de águas, porém de natureza diferente, Bazzarella (2005) *apud* Otterpohl (1997) descreve águas cinzas como as águas servidas, excluindo o efluente dos vasos sanitários (águas negras), podendo ser entendidas como as águas de lavatórios. Sendo assim, o acúmulo de águas negras, quando coletadas e armazenadas isoladamente poderão ser posteriormente direcionadas ao seu descarte periódico nas estações de tratamento de esgoto tradicionais. Enquanto as águas cinzas podem ser tratadas no local para à utilização em descargas de bacias sanitárias.

Com o desenvolvimento das chamadas “eco” tecnologias, se tornou possível encontrar estações de tratamento sustentáveis de diferentes tamanhos que permitem que as edificações de distintas tipologias realizem o processo de tratamento de água próximo aos locais de uso, para em seguida a reutilizarem. Esse processo se torna palpável por meio das miniestações que suportam pequenas demandas e as estações compactas de tratamento de esgoto que suportam maiores demandas. Essas tecnologias, se instaladas possibilitam que o tratamento *in loco* gere economia no transporte desses efluentes, além de permitir a reutilização da água após tratada, direcionando-as para as bacias sanitárias. Além do reuso das águas, no que tange a uma edificação de contêiner com características modular e autossustentável, a aplicação da energia solar através de painéis solares fotovoltaicos se faz apropriada garantindo que a estrutura se mantenha independente da rede elétrica convencional. Isso se torna possível com armazenamento de energia por meio de baterias, possibilitando sua utilização somente quando for necessária (ANTONIASSI, 2017). Ainda segundo este autor, essa acumulação é indispensável, tendo em vista que os painéis são capazes de produzir energia somente em horários de luz solar. Mesmo em dias nublados ou chuvosos, são capazes de gerar energia, porém, é preciso que exista alguma quantidade de energia reservada para sua utilização contínua, dia ou noite.

Ainda quanto ao uso racional de energia, no caso da instalação sanitária proposta, um sensor fotoelétrico deve ser implantado na parte interna junto ao sensor de presença, de forma que possam trabalhar em conjunto, fazendo uso de iluminação artificial somente quando necessário, sendo acionados quando são detectadas a presença de pessoas, e a

iluminação natural interna não seja suficiente para seus usuários. Permitindo, dessa forma, a utilização eficiente das fontes limpas e renováveis de energia.

Além da eficiência na captação de recursos naturais, seu uso e manejo devem ser feitos de forma responsável, sendo assim, equipamentos como descargas a vácuo também são consideradas soluções conscientes de economia dos recursos hídricos, visto que utilizam ar e apenas 1 litro de água para a realização da limpeza da bacia sanitária, gerando uma economia de água em torno de 90% se comparada as bacias convencionais (JETS, 2018). Segundo Archdaily (2013), o mercado dispõe também de mictórios de “funcionamento a seco”, livres de descarga, que não utilizam de água para a realização de sua própria limpeza, esses equipamentos fazem uso de sistemas desodorizadores, impedindo cheiros desagradáveis.

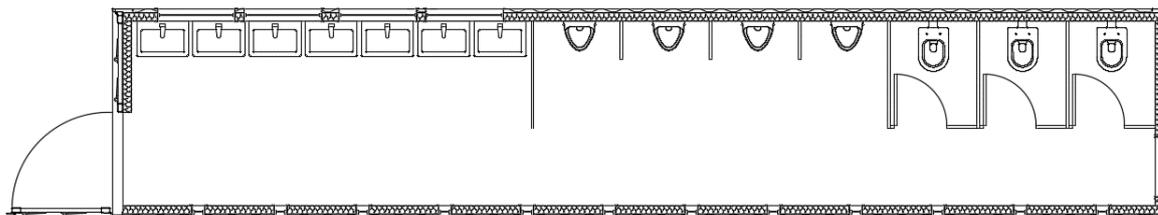
Em relação às torneiras dos lavatórios, sistemas como o redutor de vazão permitem o controle de fluxo de vazão para 4 litros por minuto. Essa peça redutora quando aliada ao uso do arejador podem resultar em uma economia ainda maior, de forma que a torneira irá utilizar apenas 2 litros por minuto (IDRAL, 2018). Além desses acessórios para metais, tecnologias como sensores de aproximação permitem que o controle do ligamento e desligamento da água seja imediato, evitando desperdícios. As soluções de economizadores voltadas para as louças e metais sanitários geram um efeito positivo em cadeia, visto que agem não somente na economia de água, mas também resultam na redução do volume de efluentes gerados.

No projeto em questão propõe-se a compartimentação técnica dentro do contêiner, possibilitando o armazenamento dos equipamentos necessários para o bom funcionamento das soluções tecnológicas, como por exemplo, o tanque de filtração e cloração da água de chuva, além dos tanques de armazenamento de água auxiliar, de água negra e água cinza compactos (compatíveis com as dimensões do contêiner) e os bancos de baterias necessárias para o armazenamento de energia, tornando possível a autonomia da instalação sanitária.

#### **4. Proposta de Instalação Sanitária autônoma *W-Eco***

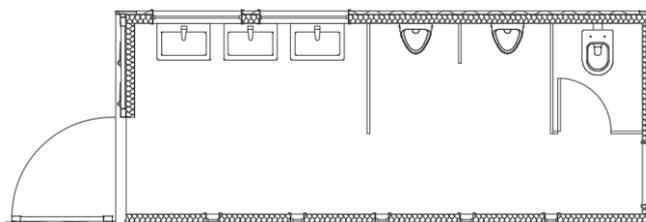
Baseado nos conceitos e soluções de projeto visando à sustentabilidade, a Instalação Sanitária autônoma *W-Eco* foi projetada como unidades de instalação sanitária móvel e autossuficiente. Elaborada a partir da adaptação de contêineres metálicos como uma modalidade de sanitário público, podendo ser transportado repetidamente. Sua localização é indefinida e, assim como banheiros químicos, seu intuito é serem alocados em espaços onde se fizerem necessários, desde os mais variados eventos, parques, praças, orlas das praias, entre outros. Os cinco módulos do *W-Eco* (Módulo 01, 02, 03, 04 e 05) foram projetados com o intuito de reaproveitamento dos contêineres nos modelos Dry High Cube de 40 pés e o de 20 pés modelo Standart, sendo os Módulos 01, 02 e 03 destinados a sanitários e os módulos 04 e 05 a compartimentos técnicos. Seu formato e usos diversos possibilitarão diferentes modulações e implantações atendendo a necessidade de diferentes públicos e locais.

Para o Módulo 01 foi utilizado o contêiner de 40 pés, que possui sete conjuntos de peças sanitárias, sendo o feminino com sete lavatórios e sete bacias sanitárias, e o masculino com sete lavatórios, quatro mictórios e três bacias sanitárias (Figura 1).



**Figura 1: Planta Baixa Módulo 01 - Masculino. Fonte: elaborado pelos autores.**

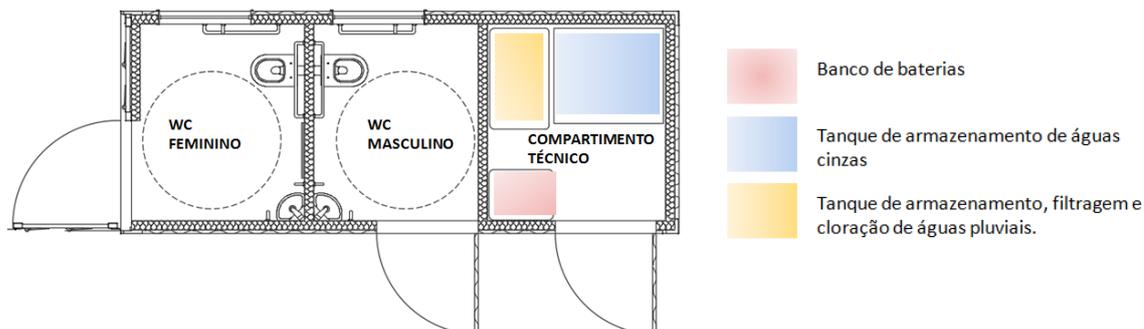
Já o Módulo 02 elaborado a partir de um contêiner de 20 pés, possui três conjuntos de peças sanitárias, sendo o módulo feminino com três lavatórios e três bacias sanitárias, e o módulo masculino três lavatórios, dois mictórios e uma bacia sanitária (Figura 2).



**Figura 2: Planta Baixa Módulo 02 - Masculino. Fonte: elaborado pelos autores.**

Para os Módulos 01 e 02 a circulação se inicia na porta de entrada e permeia até os fundos do banheiro, de forma retilínea e contínua, dando ênfase a uma circulação confortável. Ao longo dessa circulação estão dispostas aberturas que se assemelham a rasgos verticais alongados fechados com policarbonato fosco, direcionando o caminho da circulação do sanitário, além de distribuir luz natural ao longo de toda a sua extensão, permitindo a privacidade.

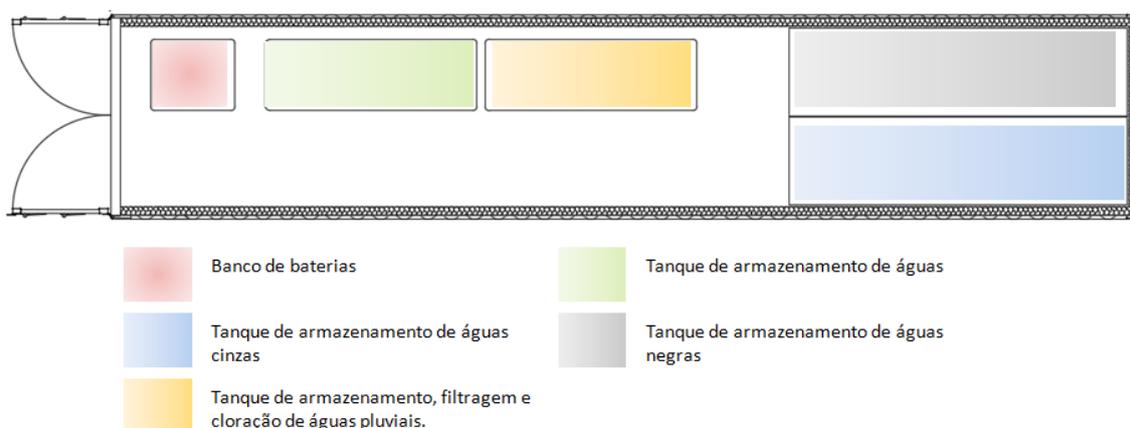
O Módulo 03, elaborado a partir de um contêiner de 20 pés abriga os sanitários acessíveis, tendo como base a NBR 9050 (ABNT, 2015), com sanitários feminino e masculino individuais proporcionando autonomia e segurança para os usuários. Este módulo possui também um compartimento técnico próprio (Figura 3). O acesso aos sanitários feminino e masculino se dará através de uma rampa metálica dobrável que poderá ser transportada dentro da própria edificação e sendo também modular.



**Figura 3: Planta Baixa Módulo 03 - Acessível. Fonte: elaborado pelos autores.**

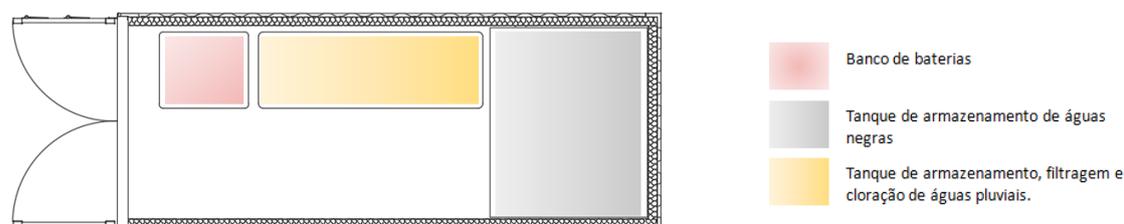
Os Módulos 04 e 05 abrigam a compartimentação técnica que permite o funcionamento dos sanitários de forma autônoma, eles serão necessários de acordo com a demanda de cada instalação e o tamanho do público que irá atender. Dessa forma, conforme a demanda por sanitários dos Módulos 01, 02 e 03, mais módulos de compartimentação técnica serão necessários para garantir seu funcionamento adequado.

O Módulo 04, projetado a partir de um contêiner de 40 pés conta com tanques de armazenamento de efluentes (águas negras), mini estações de tratamento de efluentes ou estações compactas de tratamento (águas cinzas), bancos de baterias, tanque de coleta e filtragem de água de chuva e tanque auxiliar de alimentação de água (Figura 4).



**Figura 4: Planta Baixa Módulo 04 - Compartimento Técnico 40 pés. Fonte: elaborado pelos autores.**

Já o Módulo 05, conta com os mesmos atributos de suporte aos sanitários que o Módulo 04, porém será elaborado com um contêiner de 20 pés e as dimensões de seus tanques e banco de baterias são menores que o outro módulo técnico (Figura 5). Ambos os módulos técnicos possuem a compartimentação adequada, garantindo estanqueidade e possibilitando que as instalações sanitárias sejam salubres e confortáveis aos usuários, além de serem protagonistas em fazerem com que a idealização da autonomia dos sanitários seja possível. Os compartimentos técnicos (Módulos 04 e/ou 05) estarão localizados adjacentes aos sanitários (Módulos 01, 02 e 03), sendo que a ligação entre eles se dará pelos fundos, através de saídas para as tubulações, que funcionarão como conectores necessários ao seu funcionamento e distantes do acesso de usuários.

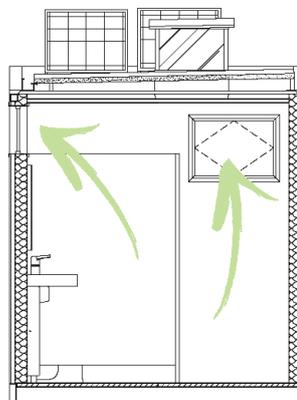


**Figura 5: Planta Baixa Módulo 05 - Compartimento Técnico 20 pés. Fonte: elaborado pelos autores.**

Todos os contêineres a serem utilizados serão avaliados previamente em função de possíveis contaminações por conta de seu uso anterior. Além da realização de lanternagem do material, serão devidamente cortados e preparados com materiais como *primer* e pintura anticorrosiva apropriadas para material metálico. Quanto às vedações, seu isolamento termoacústico contará com a solução de vedação original do contêiner associada a montantes metálicos tubulares de metalon, cobertos por lã de pet de 50 mm de espessura e vedados por painéis de compensado naval de 20 mm com amarração em montantes de metal galvanizado. Internamente, as paredes serão revestidas em porcelanato e rejuntadas em epóxi, apropriadas para a instalação em sanitários. Externamente serão utilizadas cores claras objetivando a absorção de menor quantidade de radiação solar.

As coberturas dos módulos contarão com a utilização de telhas termoacústicas, feitas a partir de chapas de aço galvanizado e espuma de poliuretano rígido de 50 mm de espessura, calhas metálicas para o direcionamento das águas de chuva ao tanque de armazenamento integrado a um filtro clorador. Por toda a extensão da cobertura são dispostos os painéis solares fotovoltaicos. Os Módulos 01, 02 e 03 dos sanitários receberão claraboias para possibilitar a entrada de uma quantidade eficiente de iluminação natural. Internamente os módulos receberão forro de painel de MDF naval de 30mm, revestido em lâminas de fórmica branca.

Com intuito de permitir a remoção de odores por meio da ventilação natural, as aberturas possuirão peitoris mais altos, em diferentes níveis garantindo a inexistência de zonas de ar quente dentro do espaço, a troca do ar quente por um ar fresco e mais resfriado, permite a remoção de poluentes do ar, possíveis odores e vapor d'água presentes no interior das edificações, podendo dessa forma garantir melhor salubridade (KEELER; BURKE, 2010).



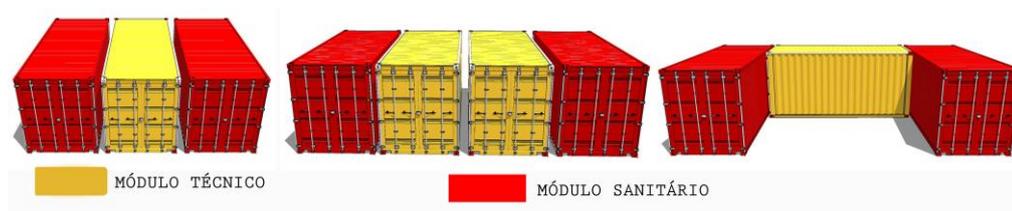
**Figura 6: Corte com esquema de ventilação para retirada de odores. Fonte: elaborado pelos autores.**

Serão mantidas as portas originais dos contêineres nos módulos propostos, porém no Módulo 03, as portas laterais serão executadas a partir das chapas metálicas corrugadas previamente retiradas para a realização da abertura das mesmas. As janelas, incluindo as claraboias, serão projetadas de Policloreto de Vinila (PVC) e recebem seu fechamento em Policarbonato fosco e translúcido. Estão dispostas em todas as laterais do contêiner, possuindo alturas de peitoris distintos. O piso dos contêineres não possui isolamento térmico, deverão ser instalados elevados e estarem sobre uma forração de brita. Internamente serão assentados revestimentos de porcelanato sobre o original do contêiner (compensado naval), mais manta impemeabilizadora e rejunte epóxi.

Para o seu funcionamento sustentável, a infraestrutura sanitária dos banheiros conta com torneiras com sensores de aproximação, além de redutores de vazão e arejadores instalados juntos aos metais. Os mictórios selecionados são do tipo “seco”, possuem sistema desodorizador e são livres de descarga, as bacias sanitárias são a vácuo. Quanto à iluminação projetada, essa ocorre através de luminárias de *Light Emitting Diode* (LED), associadas a sensores de presença e sensores fotoelétricos, alimentados por energia solar armazenada em baterias.

## 5. Possibilidades de modulações

Por se tratar de uma arquitetura modular e transportável, as Instalações Sanitárias *W-Eco* oferecem diversas possibilidades de modulações, que poderão atender às diversas situações e necessidades, dependendo também das condições de acesso ao local e espaço físico disponível para implantação (Figura 7).



**Figura 7: Possibilidades de modulações das unidades. Fonte: elaborado pelos autores.**

Conforme a quantidade de pessoas a serem atendidas, faz-se necessária a utilização de um ou mais compartimentos técnicos (Módulos 04 e 05). As cores representadas nas figuras 7 e 8 são meramente ilustrativas, visto que serão utilizadas cores claras, objetivando a absorção de menor quantidade de radiação solar (Figura 8).



**Figura 8: Possibilidades de modulações das unidades Fonte: elaborado pelos autores.**

As diversas possibilidades de modulações permitem que as unidades além de itinerantes, sejam também adaptáveis às diversas situações, possibilitando o atendimento a as diferentes demandas por infraestruturas sanitárias.

## 6. Considerações finais

Além da falta de qualidade nas estruturas urbanas, o uso indiscriminado dos recursos naturais tem deixado marcas na natureza e nas cidades. Sendo assim, surge a necessidade de se projetar novas soluções utilizando-se de objetos já existentes, o contêiner possui a mobilidade em comum ao banheiro químico, já que também é uma estrutura projetada para suportar seu transporte repetitivo. Aliado a ele, as diretrizes de projeto e as tecnologias sustentáveis possuem a função de garantir o melhor e mais limpo funcionamento da construção civil, desempenhando a função de reduzir os impactos causados por esse setor além de incentivar uma infraestrutura urbana de qualidade.

A problemática envolvendo o trabalho pode ser solucionada, em vista que a união das tecnologias já existentes em prol de uma arquitetura pública de qualidade evitam problemas como os de banheiros químicos convencionais, além de possibilitar a difusão de uma arquitetura responsável e consciente quanto às necessidades voltadas para a sustentabilidade. A característica de autonomia foi respaldada pelas tecnologias sustentáveis que permitem um desempenho autossustentável e independente. Desde as fontes de energia limpa, como a radiação solar, até mesmo as águas de chuva e efluentes como fonte hídrica dos equipamentos.

Como resultado, além de propor um projeto arquitetônico, o presente trabalho contribuirá para o enriquecimento no que diz respeito ao conhecimento das tecnologias que podem funcionar como incentivo a uma arquitetura de reuso e racional.

## Referências

- ANTONIASSI, R. D. **Desenvolvimento de contêiner escritório autossustentável para execução de obras em locais isolados**. 69 p. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Sul de Santa Catarina UNISUL, 2017. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/3695>>. Acesso em junho de 2018.
- Archdaily. 2013. **Banheiros ecotransportáveis**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-151617/banheiros-ecotransportaveis-slash-sj2a>>. Acesso em junho de 2018.
- BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 165 p. 2005. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo UFES, Vitória 2005. Disponível em <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/6149>>. Acesso em junho de 2018.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela FUNASA / Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: Funasa, 2014. 36 p. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf)> Acesso em outubro de 2018.
- COWAND. J.; HILL K.; FRANK M. A. Adaptive re-use: the architecture of repurposing existing objects. In: Conferência e exposição anual ASEE. Atlanta, Geórgia, 2013. **Anais...** Disponível em: <<https://peer.asee.org/adaptive-re-use-the-architecture-of-re-purposing-existing-objects>>. Acesso em junho de 2018.

DE PAULA, K. A.; TIBÚRCIO, T. M. S. Estratégias inovadoras visando a sustentabilidade: um estudo sobre o uso do contêiner na arquitetura. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (XIV ENTAC). Juiz de Fora. 2012. **Anais...** Juiz de Fora, MG, 2012. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1188.pdf>> Acesso em outubro de 2018.

GRUPO DE TRABALHO SUSTENTABILIDADE ASBEA. **Guia sustentabilidade na Arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes**. São Paulo. 2012. Disponível em: < <http://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2017/05/asbea-sustentabilidade.pdf>> Acesso em outubro de 2018.

GUEDES, R.; BUORO, A. B. **Reuso de contêiners marítimos na construção civil**. (Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística Edição Temática em Sustentabilidade Vol. 5 nº 3, Agosto de 2015, São Paulo: Centro Universitário Senac ISSN 2179-474X). Disponível em <[http://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/128\\_IC\\_corre%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%B5es-do-autor.pdf](http://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/128_IC_corre%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%B5es-do-autor.pdf)>. Acesso em maio de 2018.

Idral. **Sistemas de economia de torneiras e chuveiros**. Disponível em: <<https://idral.com.br/economizadores-agua-chuveiros-torneiras/>>. Acesso em maio de 2018.

Jets Sanitary Systems made to please. **Bacia a vácuo**. Disponível em: <<http://standard.jetsgroup.com/en/Sanitary-systems/Buildings/Larger-buildings/Jets-no-Brasil.aspx>>. Acesso em maio de 2018.

KEELER, Marian, BURKE Bill – **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis** – Porto Alegre: Bookman, 2010; 362 p.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura** (3ª edição). ano: 2014. Editora: ELETROBRAS/PROCEL. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/livros/>>. Acesso em maio de 2018.

OCCHI, T.; ALMEIDA, C. C. O. Construções em contêineres: soluções sustentáveis para isolamento. In: Seminário Nacional de Construções Sustentáveis. V SNCS, 2016, Passo Fundo, RS, 2016. **Anais...** Passo Fundo, RS, 2016. Disponível em: < [https://www.imed.edu.br/Uploads/5\\_SICS\\_paper\\_86.pdf](https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_86.pdf)> Acesso em outubro de 2018.

OCCHI, T.; ROMANINI, A. Reutilização de contêineres de armazenamento e transporte como espaços modulados na arquitetura. In: Seminário Nacional de Construções Sustentáveis. III SNCS. Passo Fundo, RS, 2014. **Anais...** RS, 2014 Disponível em: < <https://www.imed.edu.br/Uploads/Reutiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20contêineres%20de%20armazenamento%20e%20transporte%20como%20espa%C3%A7os%20modulados%20na%20arquitetura.pdf>> Acesso em outubro de 2018.

SAFE LOGISTICS. **Tabela de contêineres marítimos**. Disponível em: < [http://safelogistics.com.br/imgs/tabela\\_contêineres.pdf](http://safelogistics.com.br/imgs/tabela_contêineres.pdf)>. Acesso em maio de 2018.

TAVARES, A. S.; MONTENEGRO, G. N.; SILVA, C. M. A. Mobiliário urbano acessível: não basta ostentar o título, deve ser acessível. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 2009. Bauru, SP, 2009. **Anais...** Bauru, SP, 2009. Disponível em: <<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/MobiliarioUrbanoAcessivel.pdf>>. Acesso em maio de 2018.

## **Estudo de viabilidade no uso de filmes fotovoltaicos orgânicos: Estudo de caso em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado**

### ***Feasibility study on the use of organic photovoltaic films: Case study on glazed facades at the University of Contestado***

**Bruna Rogovski, Graduanda em Engenharia Civil pela UnC**

brunarogovski@gmail.com

**Mari Aurora Favero Reis, Doutorada em Ensino de Ciências e Matemática**

mariaaurorafavero@gmail.com

#### **Resumo**

Avanços na ciência e na tecnologia fotovoltaica, com o uso de diferentes aplicações na engenharia, proporcionou evolução nos processos e produtos nas edificações. Os filmes finos fotovoltaicos orgânicos (OPV) podem ser encontrados no mercado como terceira geração fotovoltaica. Com o objetivo de avaliar a viabilidade no uso do OPV, um estudo foi realizado em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado, em Concórdia SC. Após ser realizada uma pesquisa bibliográfica, de mercado e do local de estudo, realizamos os cálculos de viabilidade para o uso de filme OPV para geração de eletricidade. O estudo demonstrou oportunidades significativas e promissoras para a construção civil, porém inviável economicamente, se tratando de tecnologia recente no mercado.

**Palavras-chave:** Orgânicas Fotovoltaicas (OPV); Sustentabilidade; Efeito Fotovoltaico.

#### ***Abstract***

*Advances in photovoltaic science and technology, with the use of different applications in engineering, provided evolution in processes and products in buildings. Organic photovoltaic thin films (OPVs) can be found on the market as third generation photovoltaic. With the objective of evaluating the feasibility of the use of OPV, a study was carried out on glazed facades at the University of Contestado, in Concórdia SC. After carrying out a bibliographical, market and study research, we performed the feasibility calculations for the use of OPV film for electricity generation. The study demonstrated significant and promising opportunities for civil construction, but economically unviable, when it comes to recent technology in the market.*

**Keywords:** Solar energy; Photovoltaic technology; Viability study.

## 1. Introdução

A energia solar é mundialmente considerada fonte de energia abundante, com promessa de baixo impacto ambiental. Fundamentada no efeito fotovoltaico, através da conversão da luz em eletricidade em semicondutores de silício, a tecnologia foi impulsionada a partir das aplicações nas engenharias (Jenkins, 2005). O efeito da luz nas células solares fotovoltaicas ocorre pelo processo conhecido como fotocondutividade e a quantização da energia, de modo que os elétrons possam ser ejetados para a banda de valência do material, produzindo o que chamamos o efeito fotocondutor ou fotovoltaico (Demming, 2010).

Nos últimos anos, nos cursos de engenharia da Universidade do Contestado (Campus de Concórdia), a temática é explorada em ensino de física e em pesquisa, como aplicação de contexto para os conteúdos explorados na disciplina de Física III. Especialmente no ensino, como tema de contexto no trabalho de doutoramento da professora orientadora da pesquisa desenvolvida no período. Consequentemente, pesquisas com uso da tecnologia fotovoltaicas começava a ser vinculadas ao Grupo de Pesquisa em Energias Alternativas e Renováveis da Universidade do Contestado e Grupo de Estudos em Pesquisas no Meio Ambiente (GEMA) e, recentemente, Grupo de pesquisa em Engenharia - Desempenho e Qualidade Ambiental – (GEDEQ).

A articulação entre ensino, pesquisa e extensão proporcionou desenvolvimento de estudos contemplando as três gerações da tecnologia fotovoltaica: (a) tecnologia da primeira geração com painéis rígidos de silício policristalino (Ampese e Reis, 2015; Falkoski e Reis, 2015); (b) tecnologia da segunda geração com silício amorfo em toldos (Schönell, 2016) e, (c) mais recente, a terceira geração com filmes finos orgânico (Rogovski e Reis, 2017), neste último estaremos apresentado neste trabalho. Os projetos de pesquisa citados tiveram sua origem na disciplina de Física III, como tema de contexto do trabalho de doutorado da professora da disciplina, na produção transformação da luz em ensino de física nas engenharias no uso de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

Quanto à pesquisa iniciou em 2017, para uso de células fotovoltaicas orgânicas (OPV), foram realizadas com o objetivo de avaliar o uso da tecnologia em fachadas envidraçadas. Trata-se de filmes finos com estruturas em espessuras na escala inferior à micrometros, comumente constituídos de silício amorfo, impressos em camadas ultrafinas em nanoescala em superfícies flexíveis como plástico, por exemplo (Yu, Zheng e Huang, 2014). Células fotovoltaicas orgânicas, conhecidos como OPV (do inglês *Organic Photovoltaics*), podem ser encontrados no mercado como terceira geração de células solares (Darling e You, 2013).

Segundo Darling e You (2013), os OPVs atuam de maneira diferente da maioria das outras células solares. Nos fotovoltaica inorgânica a transformação da luz em energia ocorre da seguinte forma: quando um fóton é absorvido, são criados portadores de carga livre (elétron e espaço livre) e a constante dielétrica (desses materiais orgânicos) favorece para que dois materiais diferentes na camada ativa, um doador de elétrons e um receptor de elétrons, possam ter alto potencial de ionização e afinidade eletrônica.

Esse artigo apresenta resultados parciais de um estudo de viabilidade para o uso de OPV em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado, onde simulamos com modelagem matemática a viabilidade no uso da tecnologia para a produção de energia elétrica, a fim de

responder a seguinte pergunta de pesquisa: *Qual a viabilidade no uso de filmes finos de silício em paredes envidraçadas em Concórdia SC?*

### **1.1 A tecnologia fotovoltaica como tema de contexto em ensino e pesquisa na engenharia**

Trabalho publicado na década de 70 apresenta uma explicação simplista para a dopagem do silício, contribuiu para o uso de semicondutor na produção de painéis fotovoltaicos (Greaves, 1970). A teoria proposta por o autor é que cada átomo de silício tem quatro elétrons na última camada de valência, que participam da ligação com quatro átomos vizinhos, produzindo um potencial elétrico na região de junção controlada pelo número de átomos de impureza do tipo *p* (receptores) e do tipo *n* (doadores).

Quatro décadas mais tarde, na Universidade *Rutgers* (USA), pesquisadores utilizam a explicação de Greaves (1970) em ensino de ciências, oportunizando aos estudantes um entendimento para o processo de ligação *n-p* nas células solares com semicondutores de silício dopado, a partir do uso de uma dinâmica com atividade sinestésica (Richards e Etkina, 2013).

Paralelo aos avanços na ciência nas academias, a tecnologia fotovoltaica oportunizou o desenvolvimento de vasto campo na indústria da energia por intermédio do uso de células fotovoltaicas. Consequentemente, a integração dessa tecnologia à ciência nas Engenharias tem demonstrado ser um atrativo à aprendizagem durante a formação desses estudantes. Com esse propósito, nos Estados Unidos da América (EUA), Marta Dark (2011) sugere que os acadêmicos interessados em carreiras na ciência da tecnologia e engenharia nos próximos dez anos devem encontrar muitas oportunidades na área. Também, nos Emirados Árabes Unidos (EAU) que possuem larga dependência nos combustíveis fósseis, o tema “energia solar fotovoltaica” passou a ser utilizado inclusive em instituições de educação básica, ao introduzir o assunto fontes renováveis de energia nos currículos de ciências (Molki, 2010).

Os artigos acima citados, que foram estudados em pesquisa bibliográfica anterior (Reis e Serrano, 2017) sugerem o uso experimental da tecnologia, no ensino de ciências. Nos últimos anos o uso da tecnologia foi impulsionado por dois fatores: as tratativas acordadas no protocolo de Quioto (2008 a 2012), em reduzir os gases de efeito estufa (SARK, 2007) e do movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), com foco na educação para o desenvolvimento de competências na liderança global do conhecimento (DARK, 2011).

O movimento STEM tem como propósito, proporcionar ao estudante o desenvolvimento de competências e habilidades para o desenvolvimento profissional para as Engenharias, proporcionado que o estudo quântico da luz tenha um contexto de aplicação significativo para o ensino e aprendizagem da ciências (Reis e Serrano, 2017). Como consequência, as aplicações passaram a tornar-se temas de interesse em projetos de pesquisa e nos trabalhos de conclusão de curso (TCC) em instituições de ensino superior, especialmente nos cursos engenharia. Entre os aspectos motivadores dessa realidade, inclusive na Universidade do Contestado, pode ser destacado programas de eficiência energética que possibilitam instalações elétricas de modo sustentável. E, nesse enfoque, surgia esse projeto de pesquisa que está sendo apresentado neste artigo.

## 1.2 Filmes finos de silício na transformação da luz em eletricidade.

Conforme anteriormente relatado, a tecnologia utilizada na fabricação dos filmes de silício amorfo teve origem na evolução das técnicas aplicadas à energia fotovoltaica, como justificativas a facilidade de produção, redução no consumo energético e tempo gasto na produção, sendo que inicialmente precisava-se de silício com certas características físicas e químicas que ocasionava alto consumo. Tais vantagens elencadas contribuíram para que a evolução tecnológica tornasse possível a produção de filmes finos fotovoltaicos com espessuras na escala micrométrica, podendo ser impressos em substratos flexíveis (como o plástico).

A principal desvantagem no uso dessa tecnologia é o baixo rendimento, em comparação às células solares tradicionais, sendo um dos principais desafios para sua aplicação. Como vantagem da tecnologia, os processos contribuem para a redução dos custos energéticos e a sustentabilidade em seus processos de fabricação, uma vez que sua produção ocorre de forma contínua, diminuindo custos de mão-de-obra e proporcionando a fabricação em grande escala. Em larga escala esta tecnologia é difícil de ser avaliada quanto a seu desempenho, devido aos seguintes fatores: tecnologia pouco difundida e utilizada, dificultando o acesso à mesma; sofre alta influência de parâmetros ambientais (irradiação solar e temperatura); apresenta baixo desempenho na produção de energia elétrica.

A terceira geração fotovoltaica com uso de filmes finos se diferencia da segunda pela não utilização de cádmio que é prejudicial ao meio ambiente e por proporcionar maior variedade de apresentação, uma vez que são fabricados em grandes impressoras, permitindo que o comprador possa escolher o designer dos filmes OPV. E para avaliar sua viabilidade, Belmili e colaboradores (2010) utilizaram programa computacional para avaliar a conversão fotovoltaica, utilizando princípios ópticos e quânticos da luz.

## 2. Material e métodos

Após uma pesquisa bibliográfica e acesso a fornecedores da tecnologia, utilizando a rede mundial de computadores, foram avaliadas as principais opções da tecnologia disponíveis no mercado, bem como custos e características no funcionamento e uso de filmes finos orgânicos para a geração de energia elétrica fotovoltaica a ser aplicada em fachadas envidraçadas, na sustentabilidade da construção civil. Na posse das informações teóricas e técnicas da tecnologia, foi realizada a avaliação do local para o estudo. Inicialmente foi avaliada a superfície de aplicação e suas características. Posteriormente realizamos a modelagem matemática da potência gerada e viabilidade financeira para a instalação dos OPV (*Organic Photovoltaics*).

O ambiente de estudo foi a Universidade do Contestado (UnC), instituição de ensino superior no município de Concórdia SC. O estudo foi realizado com objetivo de avaliar a viabilidade de aplicar a tecnologia OPV em fachadas envidraçadas na Universidade. A instituição possui uma área construída de 13.746,61m<sup>2</sup>, pela qual foram delimitadas e avaliadas as diferentes áreas envidraçadas, a fim de definir o ambiente mais apropriado para a aplicação dos filmes. Na avaliação das condições ambientais foram contempladas as coordenadas no posicionamento solar e localização geográfica, bem como as condições

físicas das fachadas, como mobilidade e estrutura (recortes), utilizando como ambiente conforme relatado anteriormente.

Após a identificação do local de estudo, na posse de informações dos fornecedores para a tecnologia, realizamos os cálculos para a potência de geração da energia elétrica a ser produzida durante um ano. E, na posse desses resultados, realizamos o estudo da viabilidade econômica.

### **3. Resultados e discussões**

Após uma avaliação dos locais com fachadas envidraçadas para possível aplicação da pesquisa, verificamos que algumas fachadas eram impróprias devido as interrupções metálicas, resultando em pequenas áreas de aplicação e, nesse caso, inviabilizava por necessitar de muitos recortes nos filmes. Por conta disso, foi escolhido como ambiente de estudo a fachada envidraçada que localizada no acesso à biblioteca da Universidade do Contentado, Campus de Concórdia, SC.

Trata-se de uma área ampla para aplicação (Figura 1), com um total de 35,45 m<sup>2</sup> de área envidraçada, dividida em três andares, sendo que a fachada apresenta poucos recortes e com excelente localização em relação às coordenadas solares. Para os cálculos foi considerado a produção por iluminação artificial, os fabricantes da tecnologia afirmam que OPVs podem gerar energia também por intermédio da transformação da luz natural ou artificial, por se tratar de superfícies transparentes.



**Figura 1: Perspectiva da fachada para aplicação do OPV. Fonte: A pesquisa (2018).**

Os resultados dos cálculos da produção, para o primeiro andar (térreo) onde temos uma área de 5,75 m<sup>2</sup> (considerando 8 horas diárias de luz), resultou em uma potência de geração diária de aproximadamente 1600 W, totalizando 587 KWatt/ano (Tabela 1).

1º andar						
vidraça da direita		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m <sup>2</sup>	em watt/m <sup>2</sup>	Horas dia	em watt	em Kwatt	em Kwatt
Largura = 2,5 Altura = 2,3	5,75	35	8	1610	48,3	587,65

**Tabela 1: Potência na geração da energia elétrica estimada para o primeiro andar. Fonte: Elaborada pelas autoras.**

No segundo andar as superfícies de vidraça apresentam da seguinte forma: uma com 5,75 m<sup>2</sup> e a outra 7,35 m<sup>2</sup>, totalizando 14,85 m<sup>2</sup>, onde pode ser gerada e uma potência diária de 4158 Watts/h e 1517 KWatt/ano (Tabela 2).

2º andar						
vidraça da direita		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m <sup>2</sup>	em watt/m <sup>2</sup>	Horas dia	em watt	em Kwatt	em Kwatt
Largura = 2,5 Altura = 3	7,5	35	8	2100	63	766,5
vidraça da esquerda		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m <sup>2</sup>	em watt/m <sup>2</sup>	Horas dia	em watt	em Kwatt	em Kwatt
Largura = 2,45 Altura = 3	7,35	35	8	2058	61,74	751,17

**Tabela 2: Potência de geração estimada para o segundo andar. Fonte: Fonte: Elaborada pelas autoras.**

E, no terceiro andar, há uma estrutura semelhante à do segundo, possibilitando também gerar uma potência diária de 4158 Watts/h, totalizando 1517 KWatt/ano. Portanto, a área total da fachada é de aproximadamente 35,47 m<sup>2</sup>, utilizando dados fornecidos pelo representante da tecnologia, e considerando 8 horas diárias de iluminação, é possível gerar aproximadamente 3,6 MW/ano de energia elétrica (Tabela 3).

Resumo dos andares 1, 2 e 3						
vidraça da direita		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m <sup>2</sup>	em watt/m <sup>2</sup>	Horas dia	em Kwatt	em Kwatt	em Kwatt
Largura Total = 12,4 Altura Total = 14,3	35,45	35	8	9,93	297,78	3.622,99

**Tabela 3: Resultados do dimensionamento da fachada e potência gerada com a tecnologia OPV. Fonte: A pesquisa realizada (Rogovski e Reis, 2017).**

Para o estudo de viabilidade econômica foi realizado em 2017, onde utilizamos os valores obtidos na pesquisa de mercado (em R\$ por m<sup>2</sup>), custos para a instalação dos filmes finos e valores a serem economizados com a geração de energia elétrica. Os resultados demonstraram que o custo médio foi de R\$ 1375,00 por m<sup>2</sup> (filme + vidro externo), com produção de energia elétrica de 35 Watt por m<sup>2</sup>/hora, totalizando uma produção de energia elétrica médio

anual (considerando todas as áreas) de aproximadamente 3,62 Megawatts, com valor estimado de R\$1.880,00/ano.

Supondo como taxa de juros 4% ao ano para o financiamento do investimento inicial, o retorno sobre o investimento foi estimado em 22 anos, no ano de 2039 (Tabela 4), considerando somente a energia elétrica gerada e supondo que o valor da energia elétrica tenha aumento de 5% ao ano. Considerando como tempo estimado de vida útil da tecnologia a garantia do fabricante, para esse período de retorno do investimento inicial, os dados inviabilizam a implantação.

Taxa Retorno usina fotovoltaica em 6%		6%	
Investimento usina fotovoltaica	R\$	44.512,50	
Custo adicional	R\$	4.431,25	
Energia gerada ano	Kwatt	3820	
Valor de Kwatt		0,51941	
Valor gerado ano	R\$	1.880,26	

Valores de 2017 - R\$ 0,51941 Kwatt/h - até 150Kwatt/h
Valores de 2017 - R\$ 0,6489 Kwatt/h - maior que 150Kwatt/h

**Análise simples**

Ano	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Investimento	R\$ 48.743,75	R\$ 48.813,24	R\$ 48.791,49	R\$ 48.718,50	R\$ 44.541,86	R\$ 42.256,38
Equipamento	R\$ 44.512,50	-	-	-	-	-
Instalação	R\$ 4.431,25	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.940,75	R\$ 1.952,53	R\$ 1.951,66	R\$ 1.868,74	R\$ 1.781,67
Energia gerada ano	-	R\$ 1.880,26	R\$ 1.974,28	R\$ 2.072,59	R\$ 2.176,64	R\$ 2.285,47

Ano	Transporte	2023	2024	2025	2026	2027
Investimento	R\$ 42.256,38	R\$ 41.546,89	R\$ 40.689,01	R\$ 39.670,87	R\$ 38.479,70	R\$ 37.101,48
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.698,26	R\$ 1.681,88	R\$ 1.627,56	R\$ 1.586,83	R\$ 1.519,19
Capital em 20 anos	R\$ 2.285,47	R\$ 2.399,75	R\$ 2.519,73	R\$ 2.645,72	R\$ 2.779,01	R\$ 2.916,91
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Ano	Transporte	2028	2029	2030	2031	2032
Investimento	R\$ 37.101,98	R\$ 35.523,31	R\$ 33.728,35	R\$ 31.700,89	R\$ 29.423,32	R\$ 26.877,45
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.484,08	R\$ 1.420,93	R\$ 1.349,11	R\$ 1.268,03	R\$ 1.176,93
Capital em 20 anos	R\$ 2.916,91	R\$ 3.062,75	R\$ 3.215,89	R\$ 3.376,68	R\$ 3.545,52	R\$ 3.722,79
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Ano	Transporte	2033	2034	2035	2036	2037
Investimento	R\$ 26.877,45	R\$ 24.943,62	R\$ 20.900,98	R\$ 17.427,42	R\$ 13.599,44	R\$ 9.392,08
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.075,10	R\$ 961,74	R\$ 836,04	R\$ 687,10	R\$ 543,98
Capital em 20 anos	R\$ 3.722,79	R\$ 3.908,93	R\$ 4.104,10	R\$ 4.309,60	R\$ 4.525,08	R\$ 4.751,33
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Ano	Transporte	2038	2039	2040	2041	2042
Investimento	R\$ 9.392,08	R\$ 4.778,87	R\$ 268,33	R\$ 5.779,32	R\$ 11.785,77	R\$ 18.521,24
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 375,68	R\$ 191,15	R\$ 10,73	R\$ 231,17	R\$ 471,43
Capital em 20 anos	R\$ 4.751,33	R\$ 4.988,00	R\$ 5.238,35	R\$ 5.500,26	R\$ 5.775,28	R\$ 6.064,04
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Tabela 4: Cálculo da viabilidade econômica para uso de filmes finos na fachada da Universidade.  
 Fonte: Elaborada pelas autoras

Nossa intenção é buscar junto a fornecedores da tecnologia recursos a fim de testar a influência da tecnologia na sustentabilidade energética, considerado indicadores no conforto térmico e luminoso, a fim de viabilizar o uso da tecnologia em edificações.

#### 4. Considerações finais

Por esta tecnologia não ser muito difundida, apesar de ter um custo de produção baixo, ela ainda chega muito cara para o consumidor, fazendo com que ela não seja viável economicamente, somente considerando a energia elétrica gerada. Os cálculos realizados demonstram que demora 26 anos para o retorno do investimento caso considere-se somente o custo da energia produzida.

Qualitativamente ela poderia proporcionar atrativos na sustentabilidade da edificação. Por exemplo, um meio de incentivar a aplicação desta tecnologia é com o estudo dos impactos ao conforto térmico, luminoso e acústico que esta aplicação proporcionaria à edificação, aos quais não encontramos nenhuma informação até o momento.

Portanto, como perspectivas futuras pretendemos prosseguir com a pesquisa, tendo como foco de investigação na sustentabilidade para a construção civil, investigando a viabilidade no uso da tecnologia em prol do conforto térmico e luminoso em fachadas envidraçadas. O estudo proposto será realizado com intenção declarada de viabilizar, economicamente, a sustentabilidade no uso da tecnologia.

#### Referências

AMPESE, E. S.; REIS, M. A. F. **Estudo de viabilidade para uso de painéis fotovoltaicos com a finalidade de bombeamento de água de reúso armazenada em cisternas na Universidade do Contestado** (UnC/EMBRAPA, Ed.) Anais da IX Jornada de Iniciação Científica (JINC). **Anais...** Concórdia SC: UnC, 2015

BELMILI, H. *et al.* Design and development of a data acquisition system for photovoltaic modules characterization. **Renewable Energy**, v. 35, n. 7, p. 1484–1492, 2010.

DARK, M. L. A photovoltaics module for incoming science, technology, engineering and mathematics undergraduates. **Physics Education**, v. 46, n. 3, p. 303–308, 2011.

DARLING, S. B.; YOU, F. The case for organic photovoltaics. **RSC Advances**, v. 3, n. 39, p. 17633, 2013.

DEMMING, A. Solar harvest. **Nanotechnology**, v. 21, n. 49, p. 490201, 2010.

FALKOSKI, C.; REIS, M. A. F. **Estudo de viabilidade na geração e utilização da energia solar fotovoltaica.** Pesquisa Destaque. **Anais...** Mafra SC: Universidade do Contestado, 2015 Disponível em: <[http://www.unc.br/pesquisadestaque/Anais\\_Melhores\\_Pesquisa.pdf](http://www.unc.br/pesquisadestaque/Anais_Melhores_Pesquisa.pdf)>

GREAVES, C. The direct conversion of solar light energy into electricity. **Physics Education**, v. 5, p. 100, 1970.

JENKINS, T. A brief history of . . . semiconductors. **Physics Education**, v. 40, n. 5, p. 430–439, 2005.

MOLKI, A. Dust affects solar-cell efficiency. **Physics Education**, v. 45, n. 5, p. 456–458, 2010.

REIS, M. A. F.; SERRANO, A. Pesquisa bibliográfica em historicidade, conceitos e contextos na produção e transformação da luz com a teoria quântica. **Acta Scientiae**, v. 19, n. 3, p. 493–516, 2017.

RICHARDS, A. J.; ETKINA, E. Kinaesthetic learning activities and learning about solar cells. **Physics Education**, v. 48, n. 5, p. 578, 2013.

ROGOVSKI, B.; REIS, M. A. F. **Uso de filmes finos de silício em fachadas envidraçadas com estudo matemático da viabilidade econômica** (UnC/EMBRAPA, Ed.)XI Jornada de Iniciação Científica (JINC). **Anais...Concórdia SC: UnC, 2017**Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/11jinc/docs/anais2017.pdf>>

SCHÖNELL, R. **Estudo de viabilidade para instalação de tecnologia fotovoltaica em toldos: Estudo de caso na Universidade do Contestado – Campus Concórdia**. [s.l.] Universidade do Contestado, 2016.

YU, J.; ZHENG, Y.; HUANG, J. Towards high performance organic photovoltaic cells: A review of recent development in organic photovoltaics. **Polymers**, v. 6, n. 9, p. 2473–2509, 2014.

## **Sustentabilidade energética: proposta de um simulador de geração distribuída de energia renovável**

### ***Energy sustainability: proposal of a simulator of distributed generation of renewable energy***

**Júlio César Pinheiro Pires, Dr., Universidade Federal de Santa Maria**

julio.pires@ufsm.br

**Branca Freitas de Oliveira, Dra., Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

branca@ufrgs.br

#### **Resumo**

A geração distribuída de energia pode ser considerada benefício sustentável, porém ainda não é uma prática disseminada no Brasil. Entre alguns dos entraves que minimizam sua utilização está a desinformação a respeito do assunto. Este artigo descreve os procedimentos para desenvolvimento de um simulador de geração de energia no formato web-based, a partir de um simulador existente. O sistema existente permite simular apenas energia eólica, ao passo que o proposto considera simulação de energia eólica, solar fotovoltaica e híbrida (solar + eólica). Na elaboração do novo simulador levou-se em conta a leveza e velocidade de uso, além de uma nova identidade visual diferente do aplicativo original. O produto resultante conta com uma organização em abas, permitindo alternar entre as partes e etapas, melhorando a experiência de simulação em relação ao aplicativo de referência. O aplicativo foi disponibilizado gratuitamente na web no período de 22/12/2017 a 09/06/2018 e obteve 208 simulações feitas por diferentes usuários, auxiliando na divulgação de benefícios da geração distribuída de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Geração distribuída; Energia eólica; Energia fotovoltaica; Sustentabilidade energética; Energias renováveis.

#### **Abstract**

*Distributed energy generation can be considered a sustainable benefit, but it is not yet widespread in Brazil. Among some of the obstacles that minimize its use is the misinformation about the subject. This article describes the procedures for developing a simulator of power generation in web-based format, from an existing simulator. The existing system allows to simulate only wind energy, while the proposed one considers wind, solar photovoltaic and hybrid (solar + wind) simulation. The new simulator takes into account the lightness and speed of use, as well as a new visual identity different from the original application. The resulting product has an organization in tabs, allowing to switch between the parts and steps, improving the simulation experience in relation to the reference application. The application was made available free on the web in the period 12 / 22 / 2017 to 06 / 09 / 2018 and obtained 208 simulations made by different users, aiding in the dissemination of benefits of distributed generation of electric power.*

**Keywords:** *Distributed power generation; Wind energy; Photovoltaic energy; Energy sustainability; Renewable energy.*

## 1. Introdução

Geração distribuída de energia é aquela que é feita descentralizada, gerando alguns benefícios como a redução de dependência de concessionárias de energia elétrica, economia financeira, entre outros.

A conversão de eletricidade feita por TEPP (Turbina Eólica de Pequeno Porte) ou por FV (painéis Fotovoltaicos) pode ser considerada, dependendo da potência dos equipamentos de conversão e da energia gerada, geração distribuída. De acordo com ANEEL, 2016, geração distribuída e geração compartilhada de energia se dão quando são utilizados equipamentos de conversão local, com potência igual ou inferior a 75kW.

A Resolução Normativa 687, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2016), especifica que qualquer proponente que queira gerar sua própria energia elétrica pode solicitar a ligação de seu conversor na rede da concessionária de energia elétrica que o abastece. Desta maneira é possível fornecer energia para rede gerando créditos de energia em caso de geração excedente. Ao mesmo tempo, esses créditos podem ser usados quando ao proponente não for possível gerar ou quando a geração não for suficiente para seu consumo total.

Entende-se que exista uma falta de interesse na divulgação desses benefícios, por isso os mesmos podem não estar claros o suficiente para incentivar pessoas a aderir a esta prática. O número de investimentos em sistemas de microgeração é considerado baixo no Brasil. Até junho de 2017, o país registra apenas 7.208 unidades consumidoras com geração distribuída. Destas, 51 são por TEPP e 10.957 por FV, totalizando 96.185kW de potência instalada (ANEEL, 2017). Ao mesmo tempo, destaca-se a produção norte americana, que em 2014 registrava conversão na ordem de 5.251MW de energia somente por sistema solar fotovoltaico (ELECTRICITY MONTHLY UPDATE, 2014).

A desinformação é uma das principais causas da baixa adesão, porém o desinteresse das fornecedoras de energia em divulgar tais benefícios colabora para baixa procura em investimento para produção própria de energia.

Se por um lado a falta de informações restringe o crescimento da geração distribuída no Brasil, por outro lado existem ações para minimizar este fato. Um número cada vez maior de sistemas de informação na área de energia pode ser encontrado na web, em páginas de institutos ligados a sustentabilidade, páginas de empresas de equipamentos, laboratórios de pesquisas e etc. A tendência de tais sistemas é informar aos usuários como melhorar o uso da eletricidade, torna-lo mais racional, bem como informar sobre geração própria de energia elétrica, principalmente por fontes renováveis.

O presente artigo apresenta um sistema web-based onde se pode realizar simulações na área de energia elétrica. A partir de um aplicativo existente desenvolveu-se dois novos módulos, incrementando as possibilidades de realização de simulações por fontes renováveis eólica, solar e híbrida (eólica + solar).

## 2. O aplicativo existente

Em 2016 foi publicado o aplicativo de simulação SIEólica no portal da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este aplicativo (fig. 1) permite realizar simulações para verificar a carga elétrica de uma residência, assim como saber características de uma turbina eólica para suprir esta carga. Além disso é possível simular o tempo do retorno financeiro ao investir em uma entre quatro opções de turbinas eólicas disponíveis no aplicativo. Este aplicativo faz parte de um sistema de informação homônimo no formato de página de internet, que conta com informações sobre energia eólica (PIRES E OLIVEIRA, 2016).

**SIEólica**  
 Sistema de Informações para Geração de Energia Eólica

### Simulação de Sistema de Geração

Preencha com seus dados e saiba como gerar sua energia com uma turbina eólica

#### 1. Dados gerais

Preço kWh\*    Velocidade média vento\*\*    Conversor de km/h para m/s

RS     m/s     km/h =  m/s   

\*Os valores resultantes das simulações não consideram incidência de impostos nem taxas de qualquer natureza, apenas o valor do kWh informado pelo usuário.  
 \*\*Velocidade média no sul do Brasil de 5.5m/s a 6.5m/s de acordo com o Atlas Eólico Brasileiro

#### 2. Dados da instalação elétrica

Quantidade de aparelhos	Tempo de uso por dia (em horas)	Uso
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Ar cond. 7500 BTU - 1100W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Ar cond. 12000 BTU - 1900W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Aspirador de pó - 1000W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Boiler elétrico - 5000W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Chuveiro verão - 3200W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Chuveiro inverno - 5400W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Computador - 350W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Estufa - 1500W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Ferro de passar - 1000W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lav. roupas A. Cuenle - 1500W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lava jato - 350W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Microondas - 1300W
<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="24"/>	Refrigerador - 75W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Secadora roupas - 3500W

Quantidade de aparelhos	Tempo de uso por dia (em horas)	Uso
<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="24"/>	Freezer - 120W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Fritadeira Elétrica - 1200W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lâmpadas incandesc. - 100W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lâmpadas incandesc. - 60W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lâmpada eletrônica - 13W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lâmpada eletrônica - 20W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lâmpada fluorescente - 32W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lavadora pratos - 2700W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Lav. roupas A.Fria - 600W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Torneira elétrica - 3500W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	TV 32" a 40" - 200W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Ventilador comum - 100W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Ventilador de teto - 200W
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Potência adicional em W

Legenda gráficos de consumo:    igual ou menor de 10% do total    entre 11% e 15% do total    maior de 15% do total

#### 3. Resultados de cargas, consumo e valor

Carga instalada	Carga demandada (Conf. RIC)	Carga de uso real/mês (kWh)	Consumo médio/mês (30 dias)
RS			

Figura 1: Interface do SIEólica

O Aplicativo SIEólica foi implementado inicialmente como protótipo funcional, utilizando-se JavaScript, HTML (Hypertext Markup Language) e CSS (Cascading Style Sheets), priorizando-se leveza e não necessidade de banco de dados. Para usuários, a

principal característica pretendida no aplicativo foi a usabilidade (PIRES E OLIVEIRA, 2016).

### 3. Proposta de um novo simulador

A partir da experiência com o aplicativo web-based SIEolica, cujo funcionamento está vigente desde o início de 2016, constatou-se, através de dados de acessos, que a realização de simulações pode auxiliar na obtenção de informações sobre geração de energia (geração distribuída e geração compartilhada). Por este fato, o acréscimo de outros módulos, diversificando as fontes de conversão, representam um ganho em relação ao aplicativo original. A realização de simulações de geração de energia por fonte solar fotovoltaica significa um incremento em um simulador como SIEolica. Além disso a elaboração do módulo solar permite ou facilita a implementação de outro módulo, onde usuários possam simular geração híbrida, ou seja, utilizando ambas as fontes de energia.

#### 3.1. Revisão do leiaute

O Aplicativo original conta com uma identidade visual caracterizada por símbolos e cores específicos. Esta caracterização ajuda usuários a identificar o aplicativo, contribuindo para associação do conteúdo com o próprio leiaute.

Apesar disso, propõe-se uma mudança em tais características para facilitar uma desvinculação deste aplicativo, pois pretende-se que usuários tenham experiência nova, ficando apenas algumas características do formulário do SIEolica iguais. Desta maneira o leiaute do aplicativo revisado (fig. 2) conta com abas laterais onde o usuário poderá escolher e alternar entre elas na realização de simulações. Algumas destas abas devem ser utilizadas sequencialmente, pois resultados de umas são utilizados por outras.



Figura 2: Leiaute revisado proposto

Foram implementadas 7 abas com conteúdo independente. Algumas destas abas (Introdução, Ajuda e Sobre o sistema) estão inseridas como iframe no arquivo index HTML, liberando este arquivo principal para programação do conteúdo dos simuladores. Esta separação faz parte do sistema de separação implementado em SIEolica para arquivos de funções tipo JavaScript e arquivos de apresentação visual tipo CSS, assim como outros conteúdos que não fazem parte dos simuladores.

O sistema de abas conta com o seguinte conteúdo:

- 1) Aba Introdução: Boas-vindas ao aplicativo, texto explicando do que se trata o sistema, três figuras que remetem aos três tipos de simulações possíveis e alguns links institucionais.
- 2) Aba Instalações Elétricas: Esta aba apresenta a parte de SIEolica onde usuários fornecem o preço do kWh de sua concessionária e escolhem aparelhos e tempo de uso de cada um para simular seu consumo de eletricidade em um mês.
- 3) Aba Energia Eólica: Simulador de energia eólica. É o mesmo de SIEolica, com todas suas funcionalidades.
- 4) Aba Energia Solar: Implementado a partir desta pesquisa. Formulário onde o usuário simula geração de energia solar a partir de algumas escolhas como local onde se encontra no Brasil e tipo de painel fotovoltaico.
- 5) Aba Híbrido: Módulo novo também. Consiste em um simulador considerando energia eólica e solar. O usuário poderá escolher alguns parâmetros e solicitar ao aplicativo para calcular a proporção mais econômica.
- 6) Aba Ajuda: Contém o Guia do Usuário, nos moldes de SIEolica, para auxiliar a realização de simulações durante a experiência do usuário no aplicativo.
- 7) Aba Sobre o Sistema: Conteúdo inserido como iframe para relatar informações sobre o sistema, sobre seus autores e sobre a pesquisa que gerou tal produto.

### **3.2. Energia solar**

A simulação de conversão fotovoltaica inicia pela escolha da região onde o usuário instalará seu sistema. Foi implementado um mapa do Brasil com 5 regiões (norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul) possibilitando a escolha por clique (figura 3). Ao selecionar uma região, o sistema mostrará a radiação global média em kWh/m<sup>2</sup>, de acordo com o Atlas de Energia Solar do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil.



**Figura 3: Aba energia solar**

Após a escolha da região, o usuário segue com a simulação preenchendo ou não campos com os três últimos valores de carga consumida. Nesta parte, se preferir, o usuário poderá considerar o valor da carga preenchida previamente na aba Instalações Elétricas. Para isso, basta preencher o conteúdo da referida aba que a parte de energia solar, assim como a eólica, herdar os resultados de cargas para simulação.

Os resultados da simulação serão apresentados de duas maneiras: sistema para suprir toda a demanda do usuário e escolha de tipos diferentes de painéis. Na primeira maneira será apresentada a energia produzida por metro quadrado de sistema, de acordo com a região selecionada, a área de painéis e a quantidade de painéis (considerando um tamanho padrão de painel de 1,63x0,98m). Na segunda maneira o usuário poderá escolher um entre quatro tipos de painéis para seu sistema (silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo e telureto de cádmio), conforme figura 4. Além disso o sistema informa a quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente emitida na atmosfera que se evita pela adoção do sistema selecionado.



**Figura 4: Resultados de simulação energia solar**

### 3.3. Simulação híbrida

O sistema proposto considera simulação de conversão de energia por fonte eólica, solar e híbrida. A parte híbrida trata de conversão pelas duas fontes. Assim, foi implementada a aba Sistema híbrido, onde esse tipo de simulação pode ser realizada.

A simulação de sistema híbrido apresenta resgate de valores de cargas da aba Instalações Elétricas e/ou possibilidade de preenchimento dos três últimos valores de cargas consumidos, assim como na simulação eólica e solar fotovoltaica. Além disso, também há o resgate das informações fornecidas nas abas Energia Eólica e Energia Solar. Dessa maneira o usuário não precisará preencher formulários novos, uma vez que já informou seus dados nas referidas abas. Entretanto, para simulações que serão realizadas somente na modalidade híbrida, o usuário terá que voltar à aba Instalações elétricas se quiser considerar resultados daquela parte. O restante dos dados necessários para este tipo de simulação podem ser preenchidos diretamente nesta aba.

Após definidos os parâmetros, o sistema irá considerar a melhor relação custo-benefício, onde o retorno financeiro do valor investido se dará em menor tempo. Os resultados da simulação híbrida são apresentados conforme a fig. 5.



Figura 5: Resultados de simulação híbrida

Ao realizar a simulação híbrida, o usuário depara-se com quatro opções de sistemas, cada um mostrando características diferentes. Os sistemas implementados nesta parte apresentam os seguintes dados: diâmetro da turbina, eficiência eólica, painéis solares, valor total investido (em Reais) e retorno em meses. Na figura 5 é possível ver os resultados de uma simulação para sistemas híbridos que considerou uma carga a suprir de 290kWh, com preço por quilowatt de R\$ 0,49. Nesta simulação a melhor escolha para o usuário foi o Sistema 3, onde é considerada uma turbina eólica de pequeno porte, com diâmetro entre 1,5m e 2m. Esta turbina poderá suprir, se for instalada em um local com vento médio de 6m/s, até 69% da carga informada pelo usuário. O restante (31%) será suprido por 3 painéis fotovoltaicos, instalados na região sul do Brasil, onde a Radiação global média,

segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, é de 5,2kWh/m<sup>2</sup>. As escolhas da localização do usuário e da velocidade média de vento são feitas por ele mesmo, clicando na região do mapa inserido nesta parte do simulador e preenchendo o campo de velocidade média de vento.

#### 4. Funções em JavaScript

A parte lógica do sistema foi implementada em linguagem JavaScript, com arquivos externos, com atributo tipo src para ligar ao arquivo Index.html, que renderiza a página no navegador do usuário.

A organização do sistema é fundamental para entendimento parcial e global. A utilização de métodos de separação caracteriza ganho quando a elaboração e manutenção do sistema são feitos por grupos de pessoas (times de desenvolvimento).

O sistema desenvolvido nesta pesquisa utiliza método de abstração procedimental para resolver problemas de separação. Abstração procedimental, segundo Aguilar (2008), é quando subprogramas podem ter seus códigos independentes do programa principal, desde que sirvam ao propósito deste. Assim este método foi executado separando-se a parte lógica da parte visual do aplicativo de simulação.

Da abstração proposta resultaram 30 arquivos do tipo .js, que executam funções. Estes arquivos estão referenciados ao arquivo principal (index) do sistema. Do total destes arquivos, 15 são novos, implementados a partir desta pesquisa e 15 são resultantes da pesquisa de Pires e Oliveira (2016), elaborados para o SIEolica.

O quadro 1 apresenta alguns dos novos arquivos e suas funções dedicadas ao sistema.

Arquivo	Função
CalcularHibrido	Calcula a melhor solução para simulação considerando conversão de eletricidade por TEPP e Painéis fotovoltaicos. Os resultados são: diâmetro da TEPP, eficiência eólica, número de painéis solares, valor total do sistema e o tempo de retorno financeiro, em meses. Os resultados são enviados para cada um dos 4 Sistemas do aplicativo, apresentando sempre um que representa a melhor escolha para o usuário.
CalcularPaineis	Calcula, para cargas fornecidas, a área necessária e a quantidade de painéis fotovoltaicos para suprir esta carga, de acordo com as escolhas do usuário; principalmente a localização geográfica, implementada na forma de mapa do Brasil clicável.
Norte	Funções que recebem a escolha do usuário, por região, e mostram dados de Radiação Global Média. Estes dados são usados nos cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico tanto para energia solar quanto para sistema híbrido.
Sul	
Sudeste	
Centrooeste	
Nordeste	
SiAmorfo	Funções que calculam, para parte de energia solar fotovoltaica, área do sistema, quantidade de painéis, porcentagem de carga a suprir, valor de investimento e tempo de retorno financeiro.
SiMono	
SiPoli	
TelurCadmio	

**Quadro 1: Arquivos de script e suas funções**

O script CalcularHibrido (quadro 2) retorna uma série de informações na interface de interação do aplicativo.

```

199 //SISTEMA 3
200 var FatVento2 = 0.923*(Math.pow(ventoHibrido, 3));
201 percent_a2 = FatVento2/(cargareal)*100;
202 percent_b2 = FatVento2/(ValorCargaMedia4)*100;
203 if (ValorCargaMedia4==0.0) {percent_2 = percent_a2;} else {percent_2 = percent_b2;}
204 var percentualEolico3 = percent_2.toFixed(0);
205 formulario4.percentualEolico3.value = percentualEolico3;
206 //Painéis solares
207 numero1_2 = (((100-(percentualEolico3*1))*0.01)*cargareal);
208 numero2_2 = (((100-(percentualEolico3*1))*0.01)*ValorCargaMedia4);
209 if (ValorCargaMedia4==0.0) {bla2 = numero1_2;} else {bla2 = numero2_2;}
210 var cargaSolar2 = bla2;
211 //formulario4.Npainéis1.value = Npainéis1;
212 energ2 = (irradiacaoHibrido)*(0.12)*(30);
213 var energia2 = energ2;
214 area_a3 = (cargaSolar2)/(energia2);
215 var areapainéis3 = area_a3;
216 quant3 = (areapainéis3) / 1.5974;
217 if (quant3 < 0) {quantidadepainéis2 = 0;} else { quantidadepainéis2 = quant3; }
218 var Npainéis3 = quantidadepainéis2.toFixed(0);
219 formulario4.Npainéis3.value = Npainéis3;
220 //PREÇO DO SISTEMA
221 preçoTurbina2 = 12500;
222 preco_x3 = 419.01 * (areapainéis3) * (cargaSolar2 / 100);
223 if (Npainéis3<=8) {preco_inversor3 = 17.84;} else {preco_inversor3 = 10.77;}
  
```

**Quadro 2: Script que retorna dados do Sistema Híbrido**

O *script* apresentado retorna quatro dados. Na linha 200 foi implementada a equação para definir qual a eficiência eólica do sistema, ou seja, o quanto de energia será suprido por uma turbina eólica de diâmetro do rotor entre 1,50m e 2,00m. Nas linhas 201 e 202 são consideradas as cargas vindas da aba Energia elétrica ou especificadas pelo usuário na própria aba de Sistema híbrido. Na linha 205 o valor do percentual a suprir pela TEPP é enviado ao formulário no *browser* do usuário. Nas linhas 207 à 219 é calculado o número de painéis solares para suprir o restante que a TEPP não foi capaz. Pode-se ver na linha 212 que a constante “energ2” recebe valor da multiplicação entre uma variável (referente a escolha da região do usuário), os números 0,12 e 30. O número 0,12 representa a eficiência do painel, obtido por uma média encontrada na literatura através de uma pesquisa bibliográfica. O número 30 se refere aos dias de radiação em um mês. Para este caso não foi considerado, nesta parte, o número de dias de sol, pois a variável irradiacaoHibrido já está recebendo valor de Irradiação Global de acordo com a região do usuário, que considera este fator de número de dias ensolarados.

A quantidade de painéis é calculada pela área necessária dividida pela área de um painel, considerado aqui 1,5974m<sup>2</sup> (painel padrão de 1,63x0,98m).

As linhas 221 à 228 se referem ao preço do sistema (turbina eólica + painéis fotovoltaicos + diversos). O preço da turbina foi considerado constante para cada sistema, de acordo com a dimensão de seu rotor. Esses valores foram herdados da pesquisa do aplicativo SIEolica (PIRES E OLIVEIRA, 2016).

O preço do sistema de conversão fotovoltaico foi dividido para uma aproximação de valores reais. Na linha 222 do *script* do quadro 1, foi criada uma constante para o preço exclusivamente dos painéis. O valor 419.01 refere-se ao preço do metro quadrado de painel de silício monocristalino. Já para considerar o preço do inversor (equipamento para transformação de corrente contínua em corrente alternada), foi feito, na linha 223, uma condição em que se o número de painéis for igual ou menor a 8, o preço do inversor, considerando os demais equipamentos como cabos, disjuntores, braçadeiras e etc. é de 17,84/kWh. Se o número de painéis necessários para o sistema for maior de 8, o preço do inversor será de 10,77/kWh. Como este preço está em Reais e por kWh, multiplica-se este valor por uma variável que recebe o valor da carga solar, ou seja, a carga que não foi suprida pela turbina eólica. Para finalizar o preço do sistema, soma-se o preço da turbina eólica com o inversor (e demais equipamentos) e com os painéis fotovoltaicos.

O tempo de retorno, também apresentado nos resultados da simulação Híbrida, é calculado nas linhas 230 e 231 pela divisão entre o preço total do sistema e o valor da conta de luz do usuário. Para este caso é importante que o valor do kWh, preenchido pelo usuário, esteja preciso.

A implementação desta parte leva em conta a rápida edição e recálculo dos parâmetros considerando novas informações. O usuário pode substituir, por exemplo, a velocidade de vento e/ou o local onde está simulando, e clicar novamente no botão identificado para calcular o sistema. Assim os cálculos são refeitos e os resultados são apresentados a partir dos novos parâmetros.

Esta interatividade foi possível pela forma de implementação em sequência, ou seja, os dados que o usuário fornece são sempre captados (com atributo `getElementById`) para realização de novas funções. Estes dados são tratados como variáveis na organização das funções, entram em equações e/ou condições e formam as respostas às requisições que chegam a partir do usuário.

Assim como o *script* para sistemas híbridos apresentado, os outros arquivos de funções novas encontram-se em funcionamento para os formulários elaborados em cada aba ou tipo de simulação do aplicativo.

## 5. Conclusões

O aplicativo de simulação SIEólica, elaborado a partir de uma pesquisa de doutorado foi o ponto de partida para este trabalho. O produto aqui apresentado foi implementado utilizando-se dos arquivos do simulador de energia eólica daquela pesquisa.

O aplicativo de simulação SIEólica (PIRES E OLIVEIRA, 2016) foi submetido a um rastreamento com a ferramenta Google Analytics. Com isso foram obtidos dados de acessos ao sistema com objetivo de entender como se deu a interação dos usuários. Além disso, foi elaborado, para aquela pesquisa também, um questionário para avaliar condições de uso e como a experiência do usuário contribuiu para este considerar investir em um sistema de conversão de energia com turbina eólica de pequeno porte.

O aplicativo desenvolvido foi igualmente rastreado, obtendo no período de 22/12/2017 a 09/06/2018 208 acessos para realização de simulações. A média de tempo de interação de

usuários nas simulações foi 4 minutos e 32 segundos. Considera-se suficiente este tempo para realização de uma simulação completa.

A presente pesquisa objetivou a produção de um sistema de informação para geração distribuída de energia, elaborado para permitir simulações de sistema de geração com TEPP, painéis fotovoltaicos e sistema híbrido, considerando as duas fontes.

O sistema foi projetado e executado para funcionar *online*, com acesso livre e sem cadastro prévio. Esta liberdade de acesso permite um número maior de usuários, garantindo assim o objetivo de divulgar benefícios da geração distribuída de energia elétrica.

## Referências

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

Electricity Monthly Update. "Energy information administration." Resource use: february 2014.

J. C. P. Pires, B. F. Oliveira, "Sistema de informação para geração de energia eólica." Blucher Design Proceedings 2.9, 2016, pp. 4698-4710.

L. J. Aguilar, Fundamentos de Programação: Algoritmos, estruturas de dados e objetos. AMGH Editora, 2008.

## **Isolante térmico à base de sabugo de milho**

### *Thermal insulation made from empty corn cob*

**Fábio Severo da Rosa, Mestre em Eng., UFSM.**

fsevero@gmail.com

**Giane de Campos Grigoletti, Doutor em Eng., UFSM.**

giane.c.grigoletti@ufsm.br

**Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Doutor em Eng., UFSM.**

rogerio@ufsm.br

#### **Resumo**

Este trabalho apresenta um compósito à base de sabugo de milho com função de isolante térmico. Foram avaliadas condutividade térmica, densidade aparente e resistência a flexão do compósito. Os compósitos foram elaborados a partir da mistura do sabugo de milho triturado e resina comercial poliuretana derivada do óleo de mamona, como aglomerante. Três compósitos com diferentes granulometrias denominados A (26,25% moído grosso + 26,25% moído fino + 47,50% de resina), B (26,25% moído fino + 13,10% moído grosso + 13,10% moído médio + 47,50% de resina) e C (26,25% moído fino + 26,25% moído médio + 47,50% de resina) foram conformados. A partir dos resultados, observa-se que todos eles podem ser isolantes térmicos, pois apresentaram condutividade térmica inferior a 0,21 W/(m.K), atendendo a valores admissíveis para isolantes térmico. Com relação à densidade aparente, os compósitos apresentaram valores próximos a de isolantes disponíveis comercialmente.

**Palavras-chave:** isolante térmico; sabugo de milho; avaliação

#### **Abstract**

*The aim was to develop a composite based on empty corn cob with thermal insulation characteristics. Thermal conductivity, mass density and mechanical resistance were evaluated. Composite is derived from a mixture of crushed empty corn cob and industrialized resin based on castor natural oil as binder. Three different grades were defined: A (26,25% coarse + 26,25% fine ground + 47,50% resin), B (26.25% fine ground + 13.10% coarse + 13.10% medium ground + 47.50% resin) e C (26.25% fine ground + 26.25% medium ground + 47.50% resin). The results demonstrate that three composites can be used as thermal insulation since they have thermal conductivity lower than 0,21 W(m.K), reference for upper level values acceptable according references. Composite mass density were close to values of commercial insulation.*

**Keywords:** thermal insulation; empty corn cob; evaluation

## 1. Introdução

Um dos desafios mais importantes para o setor da construção civil é a redução de seus impactos ambientais. Dentre possíveis diretrizes para atingir tal objetivo, está o uso de materiais reciclados, seja da própria construção civil, seja de outros setores produtivos, como a agricultura.

A busca de soluções alternativas para as edificações, em termos de materiais e componentes, deve incentivar o uso de tecnologias que, além de reduzirem a geração de resíduos, privilegiem o emprego de produtos naturais e recicláveis, com reduzido impacto no meio ambiente, principalmente na etapa de descarte, ao final da vida útil (CUNHA, 2012).

A construção civil é a indústria que possui maior potencial para absorver resíduos e subprodutos gerados por outros setores industriais. O aproveitamento desses materiais se dá na fabricação de blocos, argamassas para sub-bases, pavimentação, concreto não estrutural, elaboração de compósitos, entre outros usos (SCHULTZ; FERREIRA, 2004).

Muitos pesquisadores têm concentrado esforços no estudo do potencial da aplicação de materiais orgânicos na construção civil (PINTO et al., 2012). O aproveitamento de subprodutos agrícolas é de grande interesse. Dentre os materiais orgânicos, o milho é produzido principalmente para a alimentação animal. O grão possibilita uma série de produtos industrializados. Entretanto, algumas partes da planta não possuem um uso direto, como o sabugo de milho, e, nesse caso, são subutilizados ou descartados no meio ambiente.

O Brasil é conhecido por seu grande potencial de recursos renováveis e recicláveis tais como produtos agrícolas, florestais e resíduos como o bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca da aveia e aparas de madeira. A produção de resíduos agrícolas é variável, dependendo da espécie cultivada, do fim a que se destina, das condições de fertilidade do solo, de condições climáticas, entre outros fatores. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a estimativa da geração de resíduos oriundos das agroindústrias associadas à agricultura, para as culturas agrícolas soja, milho e arroz, representaram um total de quase 74 milhões de toneladas de resíduos para o ano de 2009 (IPEA, 2012).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), em 2012, foram produzidos, no Brasil, mais de 70 milhões de toneladas de milho em grãos. A quantidade de sabugo fica entre 15% e 20% dessa quantidade, gerando por ano mais de 10 milhões de toneladas de sabugo (BENTO; CASARIL, 2012).

Ao combinar materiais com características e propriedades diferentes, pretende-se obter um composto onde as propriedades físicas e químicas dos constituintes se complementem, de forma a obter um material superior a qualquer um dos seus constituintes isolados e adequado aos fins pretendidos. Com materiais compósitos é possível obter produtos com diferentes propriedades, entre as quais se pode citar: leveza, ductilidade, resistência a altas temperaturas, maior dureza e resistência ao choque (MACEDO et al., 2011).

Os isolantes térmicos são utilizados com o objetivo de reduzir as trocas de calor entre dois meios. O isolamento pode ser utilizado para diversas finalidades, como o condicionamento da temperatura em um ambiente, conforto térmico, proteção de estruturas a fim de evitar dilatações em lajes, conservação, estocagem e processamento de alimentos, economia de energia, entre outros (FENILLI, 2008). Os materiais isolantes térmicos

apresentam baixo coeficiente de condutividade térmica, o que implica em baixa densidade e alta resistência térmica devido à porosidade. Portanto, quanto maior o número de poros do material, maior a presença de gases ou ar em seus vazios, o que impede a transferência de calor (BEZERRA, 2003).

### **1.1 Ensaios de caracterização de isolantes térmicos**

A condutividade térmica está relacionada à capacidade térmica de um material conduzir calor e determina o gradiente de temperatura ao longo de sua geometria. Nos compósitos, a condutividade térmica depende principalmente de seus constituintes, mas também da presença de espaços vazios e de sua homogeneidade (SILVA, 1997).

Nos materiais isolantes, a condutividade térmica varia em função da sua estrutura porosa, cujas pequenas cavidades detêm gases de baixa condutividade térmica confinados nas células fechadas. O principal fator que afeta a condutividade dos isolantes térmicos é a espessura desse material, outros fatores a serem considerados incluem a massa específica, tamanho das células do material, umidade e temperatura ambiente (MENDES, 2002).

A resistência a flexão é importante para que se conheçam as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição e como eles podem ser combinados. Pode-se considerar que as fibras naturais são abundantes e oriundas de fontes renováveis, assim, são potenciais reforços para compósitos. Johnston (1994) define que a ação das fibras no compósito tende primeiro a reforçá-lo sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração (tração indireta, flexão e cisalhamento), melhorando, conseqüentemente, a ductilidade e a tenacidade da matriz com características frágeis.

Considerando o exposto, a avaliação de um compósito à base de resíduos agrícolas deve envolver ensaios de condutividade térmica, densidade de massa aparente e de resistência mecânica à flexão.

### **1.2 Compósitos à base de resíduos agrícolas e aglomerantes**

Pesquisas apontam para o uso de resíduos agrícolas como a casca de arroz, sabugo de milho e talos de girassol, dentre outros, na formulação de compósitos para uso em revestimentos internos de forros e paredes, na forma de painéis ou adicionados na camada de reboco para contribuir com a eficiência energética das edificações, diminuindo a transmissão de calor entre os ambientes. Possuem a vantagem de serem materiais totalmente renováveis, regionais e de baixo impacto ambiental (KORJENIC et al., 2011; MENDES et al., 2010; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; ROSA et al., 2015).

Mishra, Chakraverty e Banerjee (1986) trabalharam com a aplicação da casca de arroz em placas de isolamento, materiais de embalagem e cerâmicos. Os autores avaliaram a condutividade térmica da casca de arroz inteira, com valores de 0,059 W/(m·K), e moída, 0,082 W/(m·K), com diferentes teores de umidade. O uso das cascas de arroz inteiras resultou em um material de menor condutividade térmica, corroborando a importância dos vazios para uma condutividade térmica menor nos materiais.

Rout e Satapathy (2012) avaliaram a condutividade térmica de compósitos elaborados com resina epóxi, com adição de casca de arroz em diferentes proporções. Os autores constataram que, desde a resina pura até o compósito com resina e 6,5% de casca de arroz, ocorreu uma redução média de 8,6% no valor da condutividade, resultando em 0,28 W/(m·K) como menor valor alcançado.

Adamy et al. (2016) apresentaram e compararam diferentes compósitos que possuem como base o talo de girassol, quanto às suas propriedades isolantes pertinentes aos requisitos de desempenho térmico mínimo estabelecidos pela norma ABNT 15575- 4:2013 em sistemas de vedações verticais. Assim, demonstraram que compósitos produzidos utilizando talos de girassol apresentam um futuro promissor para uso como isolante térmico em aplicações.

Rosa e Scherer (2018) avaliaram, através de simulações, os resíduos agrícolas casca de arroz e sabugo de milho em compósitos destinados ao isolamento térmico para edificações na região sul do Brasil. Concluíram que o uso da casca de arroz e do sabugo de milho são viáveis para isolamento térmico.

Todos estes estudos comprovam a viabilidade do uso de resíduos agrícolas, de diferentes origens e composições, para a elaboração de isolantes térmicos. Também comprovam a necessidade de testar estes materiais e definir sua melhor configuração, no que diz respeito à sua granulometria, umidade, resistência, dentre outras, de acordo com o resíduo a empregar na forma de compósito.

Aglomerante (ou aglutinante) é o termo adotado para designar um componente de ligação usado para unir materiais de granulação fina ou partículas, com a finalidade de se obter corpos ou fragmentos coesos. As substâncias usadas para unir materiais são também comumente denominadas ligantes, colas, adesivos e resinas.

O óleo de mamona, pela pureza e possibilidade de sua sintetização, é muito empregado na fabricação de resinas poliuretanas com finalidade de aglomerante, como demonstram alguns estudos. A versatilidade e a origem natural e renovável, alta resistência aos agentes agressivos, o torna um produto aglomerante melhor que os polímeros derivados do petróleo (CRUZ, 2009). Segundo Ramalho (2013), os polióis originados do petróleo estão sendo substituídos pelo poliál presente no óleo de mamona. Sua biodegradabilidade é uma das principais razões para a entrada deste produto no mercado, tanto que o mesmo já tem sido tratado com os termos biopolímero e polímero mais sustentável. Fiorelli et al. (2012) compararam o desempenho do uso do poliuretano (PU) de óleo de mamona e um adesivo de ureia-formaldeído, na fabricação de painéis de partículas feitos com fibra de coco. O PU de mamona apresentou resultados superiores aos da resina de ureia-formaldeído, melhorando as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Estes aspectos positivos da resina baseada em óleo de mamona orientaram sua escolha como aglomerante para o compósito desenvolvido.

### **1.3 Desempenho térmico de edificações – NBR 15.575**

O território brasileiro, pela sua extensão geográfica e grandes diferenças no clima, foi dividido em oito zonas bioclimáticas. Para cada zona, são definidas recomendações técnico-construtivas para otimizar o desempenho térmico das edificações. A Zona Bioclimática 2, objeto desse estudo, compreende boa parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa

Catarina, Paraná e alguns pontos do estado de São Paulo e Minas Gerais (ABNT, 2005). Segundo a norma ABNT NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), para essa zona, ficam estabelecidas, para vedações externas, parede leve ( $U \leq 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  e  $\text{FSO} \leq 5,0 \%$ ) e cobertura leve isolada ( $U \leq 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  e  $\text{FSO} \leq 6,5 \%$ ).

Os requisitos de desempenho térmico mínimo para sistemas de vedações verticais são estabelecidos no Brasil através da norma ABNT NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Um dos critérios adotados para avaliação do desempenho térmico desses sistemas é a transmitância térmica ( $U$ ) de paredes externas. No caso de paredes externas, para a Zona Bioclimática 2, o valor estabelecido é  $U \leq 2,5 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (ABNT, 2013). No caso da variável fator solar para paredes, a ABNT NBR15220-3 recomenda o valor  $\text{FSO} \leq 5,0 \%$  (ABNT, 2005c). Esses valores foram usados na avaliação do compósito proposto.

Este artigo tem por objetivo desenvolver um compósito a base de sabugo de milho como isolante térmico para construção e avaliar suas condutividade térmica, densidade aparente e resistência a flexão. Desta forma, além do próprio isolante, contribuir para a redução de impactos ambientais associados ao seu descarte na natureza.

## 2. Materiais e métodos

O resíduo de sabugo de milho foi doado por uma propriedade rural na localidade de Santa Eulália, distrito do município de Santa Margarida do Sul, localizado na região sudoeste do estado do RS, devido a disponibilidade e proximidade de Santa Maria, RS.

A resina oriunda do óleo de mamona usada como aglomerante é produzida pela empresa Imperveg®, tem a denominação comercial resina AGT 1315. Esse produto pode ser aplicado como adesivo ou aglomerante para formação de compósitos com fibras vegetais.

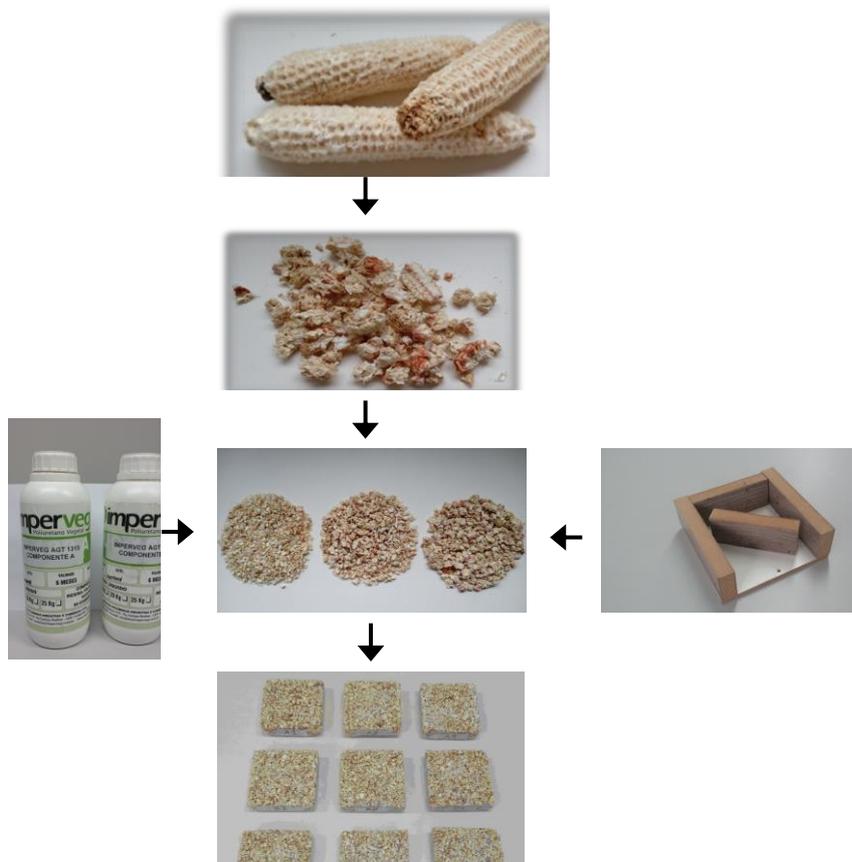
O sabugo de milho passou por uma trituração em moedor forrageiro da marca TRAPP, modelo TRF 70. Após esse procedimento, o material foi separado em peneiras com malhas 4,8 mm, 6,3 mm e 9,5 mm correspondendo a granulometrias fina, média e grossa respectivamente. Os compósitos foram elaborados utilizando sabugo de milho triturado e resina denominada AGT 1315, como material aglomerante, em diferentes proporções, originando três diferentes compósitos denominados de:

A (26,25% moído grosso + 26,25% moído fino + 47,50% de resina);

B (26,25% moído fino + 13,10% moído grosso + 13,10% moído médio + 47,50% de resina);

C (26,25% moído fino + 26,25% moído médio + 47,50% de resina).

Os compósitos foram confeccionados com medidas de 100 mm x 100 mm x 30 mm. Os corpos de prova foram preparados em moldes de madeira na mesma medida de 100 mm x 100 mm x 30 mm por exigência do ensaio de condutividade térmica. Inicialmente foram misturados os sabugos triturados de milho e misturados com a resina, conforme a Figura 1, colocadas dentro de moldes com uma espátula e, após, foi colocado para cura a temperatura ambiente por 24 horas e desenformado.



**Figura 1: Etapas de elaboração dos compósitos.**

O ensaio de condutividade térmica foi realizado no Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), da Universidade Federal de Santa Catarina, baseado na Norma Técnica ASTM C-518 (Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus) e ISO 8301 (Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus”) (ASTM, 2017; ISO, 1991).

O ensaio de densidade de massa aparente foi conduzido conforme método previsto na norma ABNT NBR 11356 (ABNT, 2016), a qual é utilizada para determinação da densidade de massa aparente de isolantes térmicos à base de fibras minerais, tais como painéis, mantas e feltros. Para determinação da densidade do compósito, foram utilizados três corpos de prova de 100mm x 100mm x 30mm, elaborados com a composição escolhida mediante os resultados do teste de condutividade térmica, seguindo as mesmas condições de fabricação descritas anteriormente. A densidade das amostras foi medida com base no seu peso (kg) e nas suas dimensões volumétricas (m<sup>3</sup>) e determinada por meio da razão entre sua massa e volume. Para a obtenção dos dados, utilizou-se um paquímetro analógico da marca Mitutoyo e uma balança digital BEL Mark L10001, com capacidade para 10 kg, ambos disponibilizados pelo CB3E da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para o ensaio de resistência mecânica à flexão, foram preparados corpos de prova nas dimensões 160mm x 40mm x 40mm, para as formulações A, B e C (três unidades de cada) (ABNT, 2005c). A tensão de ruptura (F) foi avaliada num equipamento universal de ensaios

Solotest do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria. O corpo de prova a ser avaliado é submetido à aplicação de uma carga em três pontos. A fratura do corpo de prova inicia no ponto central e inferior da amostra.

### 3. Resultados

Os resultados de condutividade térmica e densidade de massa aparente dos diferentes compósitos estão na Tabela 1.

**Tabela 1. Condutividade térmica e densidade de massa aparente dos compósitos elaborados.**

Compósitos	Condutividade térmica ( $\lambda$ ) (W/(m.K))	Densidade de massa aparente ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )
A	0,114a ± 0,05	0,369a ± 0,01
B	0,113a ± 0,02	0,362a ± 0,03
C	0,107a ± 0,02	0,334a ± 0,03

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não mostram diferença estatística em nível de 5%. N=3, A= 50% moído grosso + 50% moído fino, B= 50% moído fino + 25% grosso + 25% médio, C=50% moído fino + 50% médio.

Observa-se que os compósitos não apresentam diferença estatística entre si quanto à condutividade térmica, apresentando um valor médio de 0,111 W/(m.K).

A partir dos resultados encontrados pode-se dizer que todos os compósitos elaborados podem ser isolantes térmicos, pois apresentam condutividade térmica inferior a 0,21 W/(m.K), valor máximo admissível para isolantes térmicos segundo Oliveira (2015). Oliveira (2015) desenvolveu compósitos com sabugo de milho em diferentes granulometrias e uma resina escura chamada de AZ 4.6 comercializada pela ARA Quimica S/A na proporção de 80% em relação ao sabugo. Esses compósitos apresentaram condutividade térmica em torno de 0,186 W/(m.K), valores superiores aos encontrados neste trabalho, mostrando que os compósitos elaborados com a resina AGT 1315 e nas proporções citadas são melhores isolantes térmicos.

O conhecimento da densidade dos materiais é de fundamental importância, pois influencia no peso total do sistema ao qual o material é aplicado. A variação da densidade (Quadro 1) ficou entre 0,334 g/cm<sup>3</sup> e 0,369g/cm<sup>3</sup> sem evidenciar relação direta com a incorporação da resina, o que provavelmente está relacionado à falta de homogeneidade na distribuição das partículas no processo de fabricação dos compósitos. A densidade é uma propriedade relevante para determinação da resistência dos materiais em geral. No sabugo de milho, objeto dessa pesquisa, assim como em alguns materiais lignocelulósicos, por ser um material natural, as diferenças do tamanho dos sabugos podem interferir na sua densidade. Marinho et al. (2013) elaboraram compósitos com bambu e resina de poliuretano derivado da mamona e a densidade dos compósitos variaram entre 0,85 g/cm<sup>3</sup> e 0,96g/cm<sup>3</sup>, semelhante ao encontrado neste trabalho.

Comparando os valores encontrados aqui com os materiais comumente usados como isolantes térmicos, tais como madeira (0,620 g/cm<sup>3</sup>), asbesto (0,480 g/cm<sup>3</sup>), gesso (0,800 g/cm<sup>3</sup>) e compensado (0,615 g/cm<sup>3</sup>), observa-se que apresentam densidade menor

(INCROPERA; DEWITT, 2008). Entretanto, em relação a lã de vidro (0,02 g/cm<sup>3</sup>) e espuma de PU (0,015 g/cm<sup>3</sup>) (KREITH, 2008; GALVÃO, 2014), os valores encontrados possuem densidade maior. Dessa forma o compósito elaborado é relativamente leve e tem sua densidade dentro da faixa dos materiais considerados isolantes, facilitando seu uso em aplicações apropriadas.

A resistência mecânica à flexão dos compósitos A, B e C são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2. Resultados de resistência à flexão dos compósitos**

Compósitos	Resistência à flexão (MPa)	
	Média	Desvio-padrão
A	2,97	0,302
B	3,79	0,344
C	2,00	0,151

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não mostram diferença estatística ao nível de 5%. N=3, A= 50% moído grosso + 50% moído fino, B= 50% moído fino + 25% grosso + 25% médio, C=50% moído fino + 50% médio.

O compósito B (3,79 MPa) apresenta maior resistência a flexão que os demais. A menor resistência alcançada é a do compósito C, que possui menor densidade (0,334 g/cm<sup>3</sup>), o que era esperado.

A norma ABNT NBR 16494 (ABNT, 2017) que determina os requisitos para blocos de gesso para vedação vertical e define os valores de resistência à flexão como igual ou superior a 1,0 MPa, 1,2 MPa e 1,5 MPa, respectivamente para blocos de gesso compactos com espessura de 50mm, 70mm e 100mm (ABNT, 2017, p. 5). Levando em consideração essa norma, o compósito a base de sabugo de milho sendo avaliado nesta pesquisa é superior ao gesso nas espessuras acima mencionadas, pois possui resistência a flexão que varia entre 2,0MPa e 3,79MPa. Os resultados encontrados nesse trabalho mostram que os compósitos elaborados podem ser aplicados em materiais que não exijam grandes esforços a flexão.

#### 4. CONCLUSÕES

Os parâmetros térmicos analisados mostram que os compósitos à base de sabugo de milho podem ser usados como isolantes térmicos, pois possuem valores compatíveis com os isolantes térmicos convencionais.

Com relação à densidade aparente, os compósitos apresentaram valores próximos à isolantes disponíveis comercialmente, com vasta área de aplicação.

Dentre os compósitos elaborados o B (50% sabugo moído fino, 25% sabugo moído grosso e 25% moído médio) apresentou maior resistência mecânica, sendo similar a resistência mecânica do gesso usado usualmente na construção civil como vedante vertical.

Esse estudo mostrou que a utilização de um resíduo agrícola para preparação de material isolante térmico é possível e comercialmente viável, informação importante para os agricultores que podem usar esse material para isolamento térmico em vez da queima, além de garantir considerável economia de energia.

## Referências

- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas (2016). NBR 11356: Isolantes térmicos à base de fibras minerais — painéis, mantas e feltros — determinação das dimensões e da massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas (2005). NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas (2013). NBR 15575-4: Edificações habitacionais – desempenho parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas (2017). NBR 16494: Bloco de gesso para vedação vertical — requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.
- Adamy, A.; Rosa, F.; Rosa, L. (2016). Desempenho térmico de compósitos à base de talos de girassol em componentes de edificações. *Revista Espacios*, v.37 n.15, p.10.
- ASTM. American Society For Testing And Materials (2017). ASTM C518: Standard test method for steady state thermal transmission properties by means of the heat flow apparatus.
- Bento, C. B. P.; Casaril, K. B. P. B. (2012). Bioconversão de resíduos agroindustriais ligninocelulósicos por fungos causadores da podridão branca: uma alternativa à produção de alimentos. *Faz Ciência*, v. 14, n. 19, p. 151-180.
- Bezerra, I. A. C. (2003). Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS com agregado graúdo. 2003. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- CONAB. Companhia nacional de abastecimento. (2016). *Compêndio de estudos CONAB: análise dos custos de produção e rentabilidade da cultura do milho*. Brasília: CONAB.
- Cruz, M. P. (2009). Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico: uma proposta para utilização do poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo. 2009. 115f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Cunha, P. W. S.(2012). Estudo sobre as potencialidades de compósitos a base de gesso e fibra de coco seco para a aplicação na construção civil. 2012. 120f, Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Fenilli, R. J. (2008). Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação. *Climatização & refrigeração*. N. 94.
- Fiorelli, J.; Curtolo, D. D.; Barrero, N. G.; Savastano jr., H.; Pallone, E. M. J. A.; Johnson, R. (2012). Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: an eco-efficient product. *Industrial crops and products*. V. 40, p. 69–75.



- Galvão, A.C.P. (2014). Obtenção e caracterização de um compósito de poliuretano de mamona e pó de vidro para aplicações como isolante térmico. 2014. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Incropera, F.P. e Dewitt, D.P. (2008). Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6 ed. Rio de Janeiro: Editora ITC.
- ISO. International Standardization Organization (1991). ISO 8301: Thermal insulation - - determination of steady-state thermal resistance and related properties -- heat flow meter apparatus. Switzerland.
- IPEA. Instituto de pesquisa econômica aplicada. Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas (2012). Brasília: IPEA.
- Jonnston, C.D. (1994). Fiber-reinforced cement and concrete. In: advances in concrete technology . 2 ed. Ottawa. V.M. Malhorta, p. 603-673.
- Korjenic, A.; Petránek, V.; Zach, J.; Hroudová, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. Energy And Buildings. V. 43, n. 9, p. 2518-2523.
- Kreith, F. (2008). Princípios de transmissão de calor. 9 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher.
- Macedo, M. C.; Souza, I. G. M.; Gomes, I. R. B.; Medeiros, I. C. ( 2011). Materiais compósitos a base de gesso e isopor para a construção de casas populares. Holos. V.5, p. 95-105.
- Marinho, N.; Nascimento, E.; Nisgoski, S.; Magalhães, W.; Neto, S.; Azevedo, E. (2013). Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. Polímeros, v.23, n. 2, p. 201-205.
- Mendes, J.U.L. (2002). Desenvolvimento de um compósito biodegradável para isolamento térmico. 2002. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Brasil.
- Mendes, R. F.; Mendes, I. M.; Guimarães Junior, J. B.; Mori, F. A.; César, A. A. da S. (2010). Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de eucalyptus urophylla s.t. blake. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.34, n.3, p.610-617.
- Mishra, P.; Chakraverty, A.; Banerjee, H. D. (1986). Studies on physical and thermal properties of rice husk related to its industrial application. Journal Of Materials Science, v. 21, p. 2129-2132.
- Oliveira, M. L. (2015). Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Panyakaew, S.; Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. Energy And Buildings, v. 43, n. 7, p. 1732-1739.
- Pinto, J.; Pereira, H.; Vilela, P.; Jacinto, C.; Vieira, J.; Paiva, A.; Pereira, S.; Ferreira, J.; Cunha, V. M. C. F.; Varum, H. (2012). Camada de regularização com agregado de

granulado de caroço da espiga de milho. In: 4º congresso português de argamassas e etics, 4, 2012: Anais... Coimbra. APFAC.

Ramalho, H. F. (2013). O crescente uso de poliuretanas derivadas do óleo de mamona no mercado de polímeros. Revista virtual de química, v. 5, n. 1, p. 117-118.

Rosa, F. S.; Scherer, M. (2018). Desempenho térmico de paredes de alvenaria protegidas com revestimento de compósitos de resíduos agrícolas. Revista Gestão Industrial, v.14, n. 2, p. 96-113.

Rosa, L. C.; Santor, C. G.; Lovato, A.; Rosa, C. S.; Güths, S. (2015). Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector. Journal Of Cleaner Production, v. 104, p. 90-97.

Rout, A. K.; Satapathy, A. (2012). Computational and experimental investigation on thermal insulation capabilities of rice husk filled epoxy composites. Computational Thermal Sciences, v. 4, n. 2, p. 107-114.

Schultz, P.; Ferreira, O. P. (2004). Estudo de viabilidade da utilização de poliuretana vegetal como aglomerantes de resíduos para a produção de componentes construtivos. In: I conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. 2004: Anais... São Paulo.

Silva, S.B. (1997). Propriedades termofísicas de polpa de abacaxi. 1997. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à CAPES, pela bolsa concedida, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil – UFSM e ao Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) – UFSC, pelos ensaios efetuados, à Imperveg®, que forneceu a resina utilizada, pelo suporte a este trabalho.

## **A aerodinâmica como artifício de promoção da ventilação natural na concepção de um projeto arquitetônico vertical**

### *Aerodynamics as a device to promote natural ventilation in the design of a vertical architectural project*

**Daniel Silva Castro de Amorim, graduando em Arquitetura e Urbanismo, Centro Universitário Tiradentes (UNIT).**

danielsilvacastro10@hotmail.com

**Millena de Souza Silva Lopes, graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Centro Universitário Tiradentes (UNIT).**

millenasslopes@hotmail.com

**Sammea Ribeiro Granja Damasceno Costa, doutoranda.**

sammea\_ribeiro@al.unit.br

#### **Resumo**

O presente artigo propõe uma reflexão acerca do tema conforto térmico, com foco na discussão sobre como melhorar o aproveitamento da ventilação natural na construção civil, e as vantagens originadas desse aproveitamento, por meio da análise do projeto de um edifício residencial na cidade de Maceió, AL. O conceito de aerodinâmica, utilizado no projeto, é muito difundido na área da aviação, na indústria automobilística e de esportes, e fomentar o uso desse conceito arrojado na construção civil seria propício ao benefício humano. Analisando o comportamento da ventilação natural, é possível perceber como a geometria do projeto impacta na captação e distribuição dos ventos, propondo novas perspectivas para o seu aproveitamento, valorizando não apenas a edificação em si mas também seu entorno, configurando, assim, o principal intento do artigo em demonstrar como a volumetria do projeto traz benefícios ao conforto térmico, através dos resultados apurados que evidenciam as vantagens no uso da forma aerodinâmica para a promoção do conforto térmico.

**Palavras-chave:** Arquitetura; Aerodinâmica; Conforto térmico

#### **Abstract**

*This article proposes a reflection on the topic of thermal comfort, focusing on the discussion on how to improve the use of natural ventilation in the construction industry, and the advantages derived from this use, through the analysis of the design of a residential building in the city of Maceió, AL. The concept of aerodynamics, used in the project, is currently very widespread in the aviation, automotive and sports industry, and encouraging the use of this bold concept in civil construction*

*would be conducive for human benefit. Analyzing the behavior of natural ventilation, it is possible to see how the geometry of the project impacts on the capture and distribution of the winds, proposing new perspectives for its use, valuing not only the building itself but also its environment, configuring the main attempt of the article in demonstrating how the design volumetry brings benefits to the thermal comfort, through the verified results that evidence the advantages in the use of an aerodynamic form for the promotion of thermal comfort.*

**Keywords:** Architecture; Aerodynamics; Thermal Comfort

## 1. Introdução

O presente artigo aborda questões pertinentes ao processo de concepção do projeto designado “Edifício Aeris Residence”, proposta de edificação de caráter vertical localizada em Maceió, Alagoas, tendo como escolha conceitual a aplicação da aerodinâmica. Para elaborar esta análise, tem-se em vista que o crescimento das cidades a um ritmo acelerado, atrelado ao crescimento populacional, faz com que as habitações verticais sejam um meio de ajuste a essa expansão, e a malha urbana torna-se cenário de inúmeras construções verticais.

Desta maneira, o principal objetivo do artigo consiste em promover uma reflexão acerca do uso da aerodinâmica como base conceitual para o projeto de uma torre residencial vertical, visando atingir uma maior satisfação na promoção da ventilação natural. Trata-se, então, do aproveitamento do recurso local, a ventilação, para amenizar fatores climáticos desagradáveis, uma vez que o projeto se insere em uma cidade de clima quente e úmido, implicando, assim, em melhorias na eficiência energética.

Grande parte dos edifícios possuem, por motivos de dimensionamento, funcionalidade, praticidade ou imposições de força maior, uma arquitetura embasada numa geometria mais contida, que, por vezes, recua na intrepidez criativa e inovadora, aparentando ser, muitas vezes, um caminho mais fácil e descomplicado. No entanto, uma arquitetura inovadora mostra-se bastante inteligente, pois, além de contar com a possibilidade de adotar um viés que preze pela sustentabilidade, ao implantar formas que podem influir positivamente nos aspectos térmicos, a diferenciação arquitetônica por si só promove uma estética atrativa, chamando atenção pela envoltória da edificação, gerando uma arquitetura mais facilmente consumida.

O projeto analisado foi desenvolvido para a disciplina Ateliê Habitacionais II, do Centro Universitário Tiradentes (UNIT-AL) e foi elaborado com base no código de urbanismo e edificações de Maceió, respeitando as recomendações legais. O terreno do projeto está situado no bairro Jatiúca, na Zona Residencial 4, seguindo o uso UR-5, de acordo com o código de urbanismo e edificações de Maceió (2006). Dessa forma, acompanhando a legislação vigente, o edifício possui 10 pavimentos, o número limite para quando a taxa de ocupação for de 50%, que é a aplicada nesse caso. Considerando que o terreno é de esquina, conta-se com recuos de 7 metros nas partes frontais e 5 metros nos fundos. O coeficiente de aproveitamento do terreno é 4,0.

O artigo encontra-se disposto de maneira que, primeiramente, a aerodinâmica é conceituada e são expostos exemplos de como essa temática é inserida na arquitetura. Em

seguida a proposta conceitual é elucidada e a método utilizado é esclarecido, por fim os resultados são averiguados de maneira teórica e prática.

## 2. A aerodinâmica e sua aplicação na arquitetura

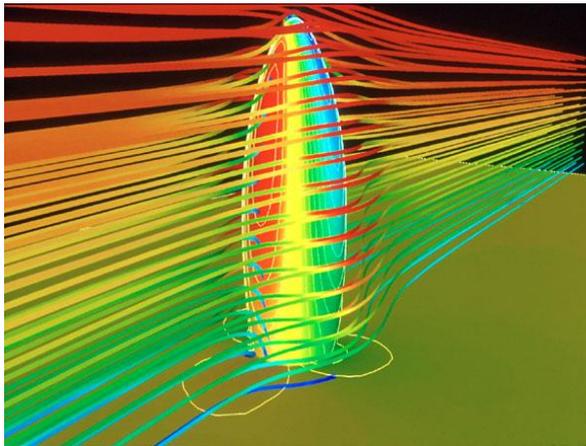
No esforço de compreender determinados fenômenos da natureza e superar limites intrínsecos a condição humana, a ciência se encaminhou para o desenvolvimento da aerodinâmica, uma área da física que estuda a movimentação do ar e sua interação com o objeto (MATOS; BOTELHO, 2008). A relação do fluido com o corpo sólido acontece de diferentes maneiras de acordo com a composição formal deste último. De forma prática, tal situação é manifestada naturalmente no modo com o qual aves e peixes utilizam-se de sua anatomia para, respectivamente, se sustentar no ar e movimentar-se com eficácia na água (RAMOS, 2012).

A história da aerodinâmica está atrelada ao desenvolvimento e evolução de moinhos de vento a veleiros, carros e aviões. Tais princípios são utilizados na concepção do design tanto para a geração de um produto mais eficiente quanto para a mecânica de funcionamento.

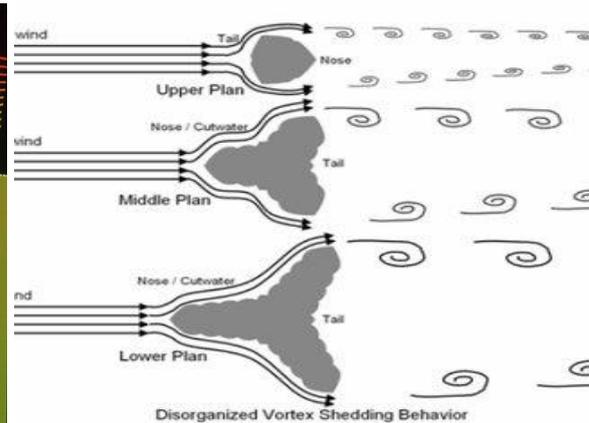
No caso do avião, por exemplo, é o movimento da aeronave no ar que cria a força de sustentação nas asas, que vai se opor a gravidade representada pela força peso, e que quando for maior que este, o avião sobe. O arrasto é a força que se opõe à tração e é causada pela resistência do ar. A partir deste conceito, os desenhos da asa e de outros componentes do avião influenciam diretamente na performance do próprio. As superfícies aerodinâmicas dependem do escoamento do ar e os dois são responsáveis pela sustentação da aeronave (MATOS; BOTELHO, 2008, p. 187).

Quando a velocidade dos automóveis aumentou, o ar passou a ser percebido com uma barreira, também, para os carros e desta maneira surgiu a necessidade de utilizar a aerodinâmica como uma solução projetual (LARICA, 2003 *apud* MATOS; BOTELHO, 2008). É contestado, por exemplo, que através da aerodinâmica veicular é possível atingir níveis significativos de economia de combustível, levando a um ganho na área da sustentabilidade. (RAMOS, 2012)

Do mesmo modo, atualmente os fundamentos desse campo da física vêm sendo utilizados em projetos arquitetônicos e de engenharia, possibilitando a concepção e construção de edificações sustentáveis e designs interessantes que desafiam, muitas vezes, a percepção ocular humana. Como exemplo se destaca o 30 St. Mary Axe, um arranha-céu localizado em Londres, assinado pelo escritório Foster and Partners, que teve sua construção concluída em 2003. Para sua elaboração foi realizado um detalhado estudo dos ventos, como mostra a figura 1, proporcionando como resultado uma torre que prioriza o conforto térmico e sustentabilidade. Salienta-se o uso da aerodinâmica para a idealização da forma, que “maximiza a quantidade de luz e ventilação natural e, portanto, diminui significativamente o consumo de energia do edifício” (CONSTRUCTALIA, 2003). Outro fator importante para o conforto ambiental é a opção por paredes lisas, que direcionam a circulação do vento pela edificação. Já o Burj Khalifa, arranha-céu localizado em Dubai, datado de 2010 e projetado pelo escritório SOM, conta com mais de 828 metros de altura e por isso, nele a aerodinâmica foi utilizada como estratégia estrutural: seu design foi projetado para amenizar as forças do vento em sua estrutura (BURJ KHALIFA, 2010), como ilustrado na figura 2.



**Figura 1:** Estudo de ventos do edifício 30 St. Axe. Fonte: CONSTRUCTALIA (2003).



**Figura 2:** Comportamento do vento no arranha-céu Burj Khalifa. Fonte: BAKER et al. (2008).

### 3. Conceito

No contexto das cidades brasileiras, é perceptível cada vez mais a iminência de grandes edificações que obstruem a circulação do vento devido à pouca rugosidade e porosidade presente nessas construções, prejudicando, assim, o conforto ambiental do local. A rugosidade está relacionada a diferença de altura das edificações e ao volume da malha urbana, enquanto a porosidade trata da permeabilidade da edificação em relação aos ventos de acordo com a dinâmica entre espaços construídos e não construídos (SANTOS, 2004). Sendo assim, tais configurações repercutem diretamente sob a circulação de ar e o microclima urbano.

Na cidade de Maceió percebe-se um aumento da temperatura nos centros urbanos em relação às áreas menos urbanizadas, em alguns locais, inclusive, esta anomalia já pode ser considerada como ilha de calor. Essa alteração climática é evidente em bairros em que a verticalização é exacerbada (SANTIAGO; GOMES, 2016). Desta maneira, é notório que a relação que uma edificação de caráter vertical tem com a malha urbana precisa ser repensada para que, então, as dinâmicas entre elas tornem-se mais harmoniosas.

Para o projeto, a definição do conceito de aerodinâmica surge da premissa da inserção de uma edificação que minimize os impactos provocados pela implantação da estrutura física na malha urbana. Trata-se, então, de permitir que a construção possua uma permeabilidade em relação aos ventos, de maneira que o ar interaja com o objeto de forma eficiente, tanto em relação ao entorno, quanto para os ambientes internos dos apartamentos. Dessa forma, a aerodinâmica permite vantagens ligadas ao conforto térmico para os possíveis moradores do local e para a região na qual o projeto está localizado.

Garantir ventilação de modo natural para ambientes internos possibilita também a diminuição do uso de aparelhos que consomem muita energia elétrica, como ar-condicionado e ventilador, o que implica na eficiência energética. Considerando a situação delicada dos recursos naturais e a relação degradante do ser humano com o meio ambiente, se faz necessário promover projetos arquitetônicos que sejam capazes de se autosustentar.

Além disso, o conceito também proporciona soluções de design interessantes, proporcionando uma estética contemporânea e inovadora. Portanto, a aerodinâmica como

ponto de partida é favorável a um projeto arrojado e contemporâneo, aliando estética ao conforto, sustentabilidade e respeito ao entorno.

#### **4. Metodologia**

Para desenvolver a análise sobre o comportamento da ventilação natural em relação ao projeto do edifício residencial foi utilizado o software Flow Design, da AutoDesk, que tem como intuito simular a ventilação natural se deslocando pela edificação. Desta forma é possível avaliar a volumetria do projeto para compreender o comportamento dos ventos em relação ao entorno da estrutura, além de analisar a planta baixa do pavimento tipo para simular a distribuição dos ventos no interior da edificação.

O estudo da geometria foi uma importante etapa na concepção do projeto, pois determinou como o conceito de aerodinâmica seria materializado de forma a atender primordialmente o conforto térmico e a estética, pois a forma final do edifício determinaria a eficácia proposta no sentido da promoção da ventilação natural, além de conferir um ar contemporâneo ao projeto.

#### **5. Resultados**

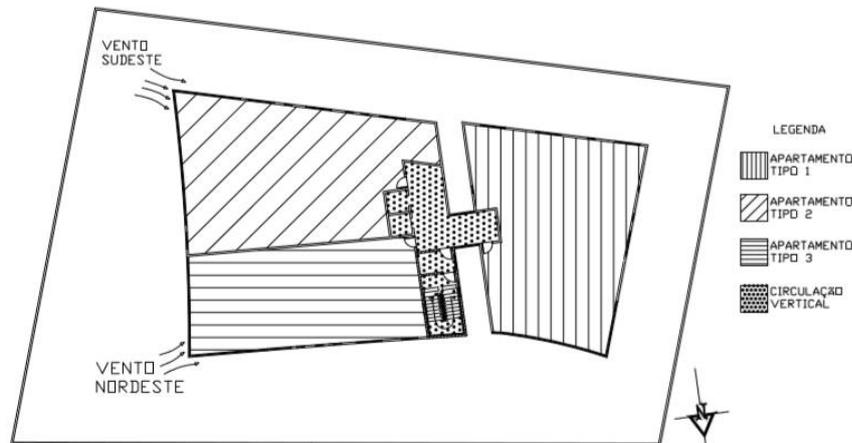
Na cidade de Maceió, há o vento proveniente da direção sudeste, que ocorre nos meses de fevereiro a outubro, e o vento que vem do nordeste, que incide nos meses mais quentes do ano, de novembro a janeiro, a simulação de ventilação foi feita para ambas situações. O clima é quente úmido. A velocidade do vento utilizada na simulação foi de 3,1 m/s, que é a média anual entre os anos de 1981 e 2010 (INMET, 2018).

O edifício conta com subsolo, pilotis, oito pavimentos tipo residenciais – com três apartamentos por andar, sendo cada um de uma tipologia diferente – e cobertura. A modelagem do edifício consiste em duas torres, separadas por um vão de dois metros e conectadas por uma passarela com uma janela em cada andar, permitindo a passagem da ventilação. A presença do vão também proporciona a adição de janelas em ambientes que poderiam ser previamente enclausurados.

Intentando propor um edifício que não possuísse um efeito de barreira na ventilação natural, uma forma que dissipasse esse vento foi almejada, desse modo, as varandas foram ponto de partida para atingir a premissa desejada. Em uma das torres, localizam-se os apartamentos tipo 2 e tipo 3, que possuem varandas acuminadas apontadas nas direções sudeste e nordeste respectivamente, de onde são os ventos provenientes na cidade de Maceió. A outra torre abriga o apartamento tipo 1, que também consegue captar o vento proveniente do nordeste, como é perceptível analisando as planta baixas do projeto.

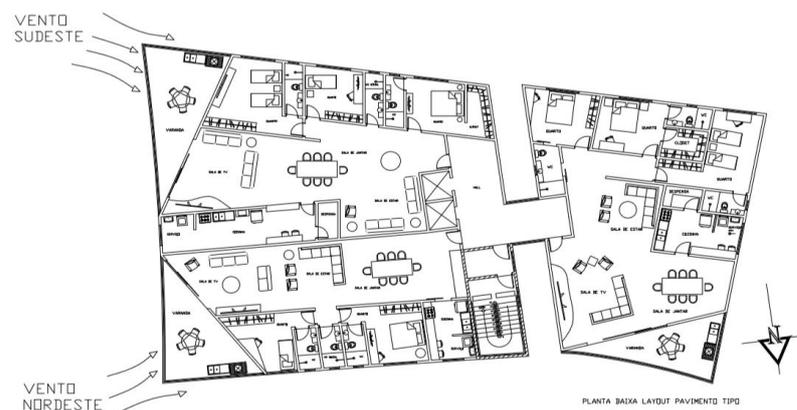
Além de facilitar a passagem do vento, as varandas permitem a entrada de ar. No apartamento tipo 1, a varanda possui 20m<sup>2</sup> e sua extensão confere destaque na fachada norte do edifício, captando a ventilação nordeste. No apartamento tipo 2, a varanda possui 27m<sup>2</sup> e seu ponto extremo encontra-se voltado diretamente na direção sudeste, provocando um efeito de dissipação do vento ao entorno quando a ventilação atinge a fachada do edifício, uma vez que a ventilação adentra o interior do apartamento, em consideração ao tamanho ao varanda. A mesma concepção ocorre no apartamento tipo 3, no entanto, a varanda deste,

com 23m<sup>2</sup>, está voltada para a direção nordeste. Abaixo, a planta baixa da lâmina demonstra a divisão dos apartamentos.



**Figura 3: Planta baixa da lâmina. Fonte: elaborado pelos autores.**

O apartamento tipo 1 possui 192m<sup>2</sup> e conta com três quartos, sendo dois suítes, um deles com closet, além de um banheiro social, reversível para um dos quartos. Possui também uma sala de jantar, uma sala de estar e uma sala de tv, além de cozinha, área de serviço, despensa e uma ampla varanda. O apartamento tipo 2 dispõe da mesma configuração interna do apartamento tipo 1, porém este contando com 208m<sup>2</sup>. O apartamento tipo 3 possui 151m<sup>2</sup> e conta com dois quartos, sendo ambos suítes, banheiro social, cozinha, área de serviço, sala de jantar, sala de estar, sala de tv e varanda.



**Figura 4: Planta baixa pavimento tipo. Fonte: elaborado pelos autores.**

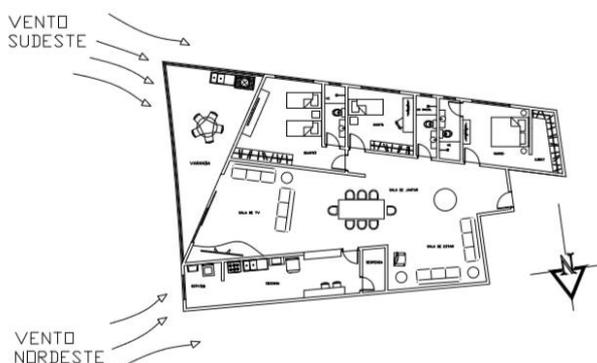
No apartamento tipo 1, a varanda capta o vento proveniente do nordeste e distribui-o para ambientes de longa permanência como a sala de jantar, sala de estar e sala de tv. Para o sul - com captação do vento sudeste - estão voltados os dormitórios e um banheiro. A fachada oeste deste apartamento, onde há maior incidência dos raios solares no período da tarde, possui janelas apenas em duas áreas molhadas, banheiro e cozinha. O banheiro social, reversível a um dos dormitórios, possui uma janela voltada para o vão entre as duas torres,

permitindo uma circulação de ar no ambiente. A implantação do apartamento permite que o mesmo estenda-se da fachada norte a fachada sul.



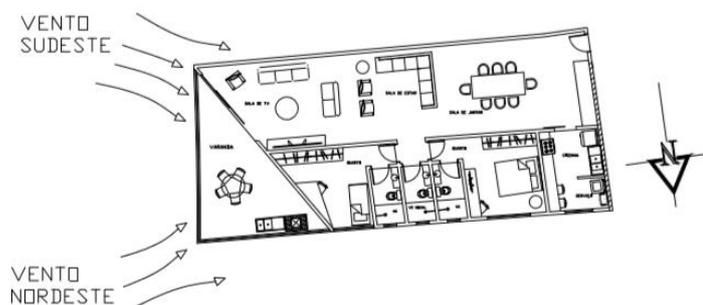
**Figura 5: Planta baixa do apartamento tipo 1. Fonte: elaborado pelos autores.**

No apartamento tipo 2, é predominante a entrada do vento sudeste, pois a varanda está totalmente voltada para essa direção, levando a ventilação às áreas comuns de longa permanência. A área de serviço possui uma abertura também voltada a essa direção que permite a circulação do ar também na cozinha, e os dormitórios estão voltados para o sul, recebendo os ventos provenientes do sudeste.



**Figura 6: Planta baixa do apartamento tipo 2. Fonte: elaborado pelos autores.**

O apartamento tipo 3 recebe principalmente a ventilação proveniente do nordeste, sua extensa varanda, que ocupa toda a porção em que o apartamento está situado na fachada leste, permite uma entrada massiva de vento no interior e ventilando as áreas da sala de jantar, sala de estar e sala de tv. Todas as outras aberturas desse apartamento estão voltadas para o norte e recebem a ventilação nordeste.



**Figura 7: Planta baixa do apartamento tipo 3. Fonte: elaborado pelos autores.**

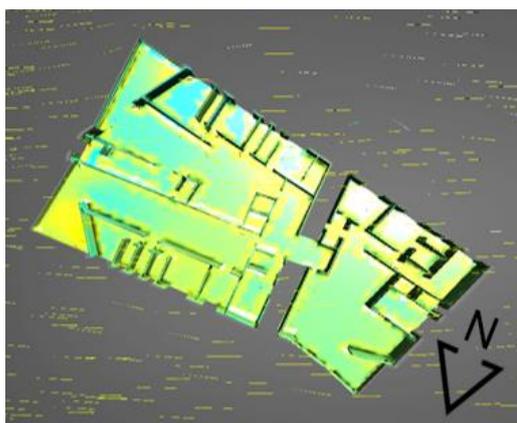
A premissa da ação aerodinâmica é compreender a interação do ar com um corpo sólido e usar esse elemento a favor da forma física a ser desenvolvida, e, com relação a arquitetura, a aerodinâmica é utilizada no projeto de modo a permitir uma interação harmônica entre a ventilação natural e a edificação, resultando em ganhos para o conforto térmico, eficiência energética, renovação do ar e no âmbito estrutural.



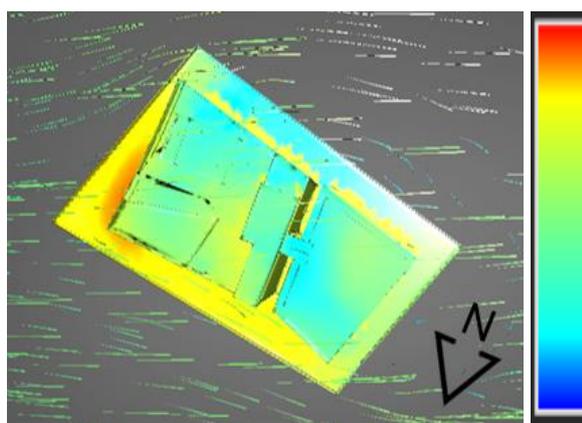
**Figura 8: Perspectivas do edifício. Fonte: elaborado pelos autores.**

A forma aerodinâmica, materializada pelas formas acuminadas, confere, além do aproveitamento da ventilação natural para o interior dos apartamentos, o efeito desejado de dissipação ao atingir as fachadas do edifício e permitir que o vento, como visível na simulação, atinja o entorno de forma eficaz. A implantação do projeto no terreno mostra, principalmente através da simulação nas plantas de cobertura, que a ventilação é direcionada pela edificação, fazendo com que sua intensidade e poder de alcance não sejam limitados, e através das plantas de pavimento tipo percebe-se a entrada e circulação de vento no interior dos apartamentos.

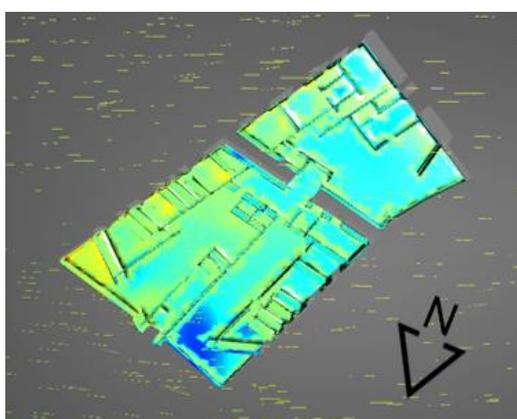
A análise através do software de ventilação permite verificar que em ambas as situações – com ventos provenientes do nordeste e do sudeste – há uma boa distribuição de ventilação nos apartamentos, especialmente naqueles que recebem a incidência direta de ventilação. Os ventos que perpassam tanto por fora, ao redor, quanto pelo interior da edificação são homogêneos e conseguem atingir com proeza os ambientes da edificação. A maior intensidade de coloração azulada, indica uma maior distribuição dos ventos, cumprindo a ideia proposta de movimentação do ar e harmonização entre a ventilação do interior e entorno da edificação, suavizando o efeito de barreira. A coloração mais amarelada indica o impacto direto do vento na superfície, onde é exercida maior pressão na estrutura.



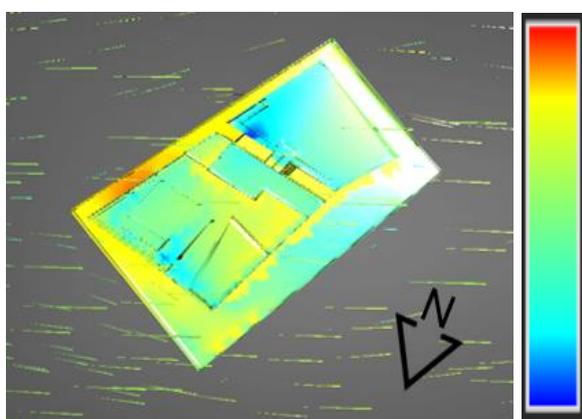
**Figura 9:** Planta baixa pavimento tipo na orientação nordeste. Fonte: elaborado pelos autores.



**Figura 10:** Planta baixa de cobertura na orientação nordeste. Fonte: elaborado pelos autores.

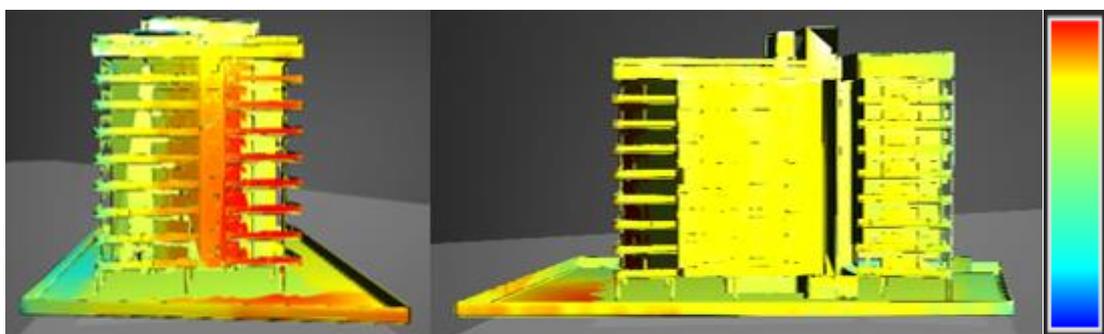


**Figura 11:** Planta baixa pavimento tipo na orientação sudeste. Fonte: elaborado pelos autores.

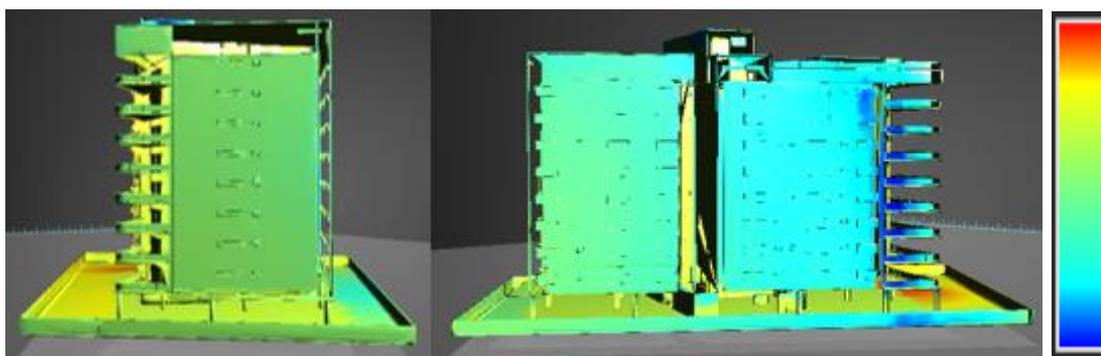


**Figura 12:** Planta baixa de cobertura na orientação sudeste. Fonte: elaborado pelos autores.

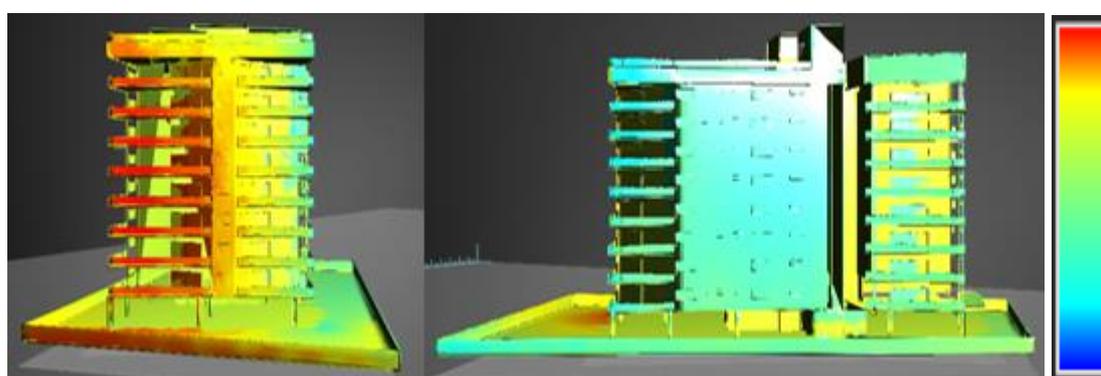
A entrada de iluminação natural também pode ser favorecida em função das aberturas presentes e promover um ganho sustentável reduzindo o uso de iluminação artificial impactando diretamente na diminuição do consumo energético. A circulação de ar no interior das edificações também promove um ambiente saudável, pois a renovação do ar diminui a quantidade de microrganismos, presentes no ambiente, prejudiciais à saúde.



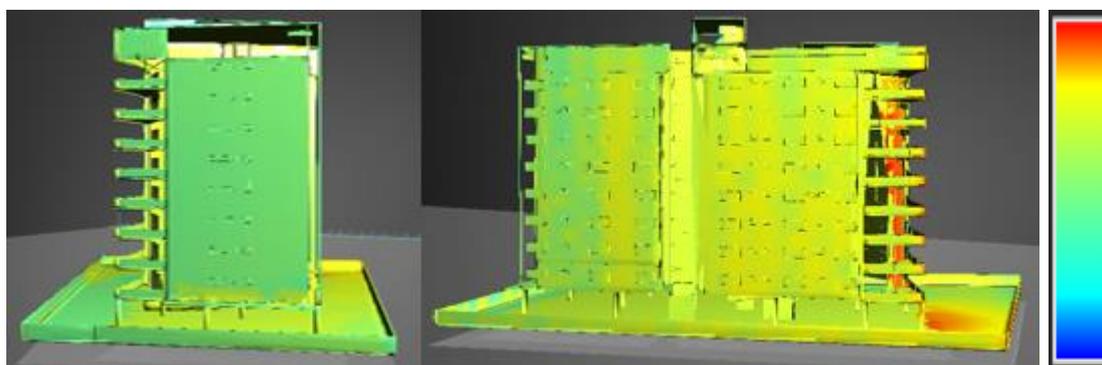
**Figura 13:** Fachadas leste e norte, respectivamente, na orientação nordeste. Fonte: elaborado pelos autores.



**Figura 14:** Fachadas oeste e sul, respectivamente, na orientação nordeste. Fonte: elaborado pelos autores.



**Figura 15:** Fachadas leste e norte, respectivamente, na orientação sudeste. Fonte: elaborado pelos autores.



**Figura 16:** Fachadas oeste e sul, respectivamente, na orientação sudeste. Fonte: elaborado pelos autores.

Analisando as fachadas, é possível perceber a incidência da ventilação na fachada leste, tanto na orientação sudeste quanto nordeste, indicada pela coloração avermelhada, afirmando a pressão exercida pelo vento. Na orientação nordeste, a fachada norte também recebe a incidência de ventilação e apresenta uma coloração alaranjada, enquanto as fachadas oeste e sul possuem, na simulação, uma superfície mais esverdeada e azulada, pois a ventilação não incide diretamente nelas na orientação nordeste e elas recebem menor pressão. A mesma dinâmica ocorre na simulação da orientação sudeste, porém com as fachadas leste e sul recebendo maior ventilação, e as fachadas norte e oeste menor pressão em consequência da ventilação incidente.

## 6. Considerações finais

A forma de uma edificação e sua implantação no terreno, bem como o uso de técnicas de resfriamento natural, podem mostrar-se elemento decisivo para seu desempenho térmico. Foi possível perceber isso através da análise do edifício proposto, que com uma volumetria arrojada, compreensível e descomplicada, conseguiu oferecer um projeto de edifício residencial que contemplasse uma distribuição harmônica da ventilação natural entre todos os apartamentos.

O conceito de aerodinâmica, muito utilizado em diversas áreas e pouco difundido no meio da construção civil, apresenta novas facetas de uso para corpos sólidos imóveis e como a movimentação do ar ao redor desses objetos pode trazer ganhos térmicos para a arquitetura e a extensão urbana.

Uma edificação que desfruta de um bom desempenho térmico oferece diversas vantagens, tanto no âmbito ambiental, quanto social e financeiro. O consumo de energia num edifício é grande, então promover a circulação do ar natural na edificação diminui o uso de aparelhos artificiais de resfriamento, propondo um melhor desempenho energético.

O conforto humano também é um fator importante, afinal, o propósito das habitações é prover uma moradia, dentre outros fatores, confortável ao seu morador, existe, então, a necessidade de conceber um ambiente confortável termicamente a permanência das pessoas no local. Propiciado pelas próprias aberturas, as janelas grandes e bem distribuídas facilitam a distribuição da ventilação interna.

A premissa da discussão consistiu também em afirmar a liberdade essencial na criação da arquitetura pós moderna atual, evidenciando o uso da ousadia criativa como método de melhora no desempenho térmico de edificações e a importância disso para a produção de uma arquitetura mais humana, seja com relação ao conforto térmico, ou acústico e lumínico, ou ao dimensionamento e estética, e que a plástica aerodinâmica não seja a regra, mas um ponto de partida a inspiração de novas formas que venham trazer essas vantagens construtivas, concebendo uma arquitetura singular.

## Referências

AUTODESK. **Get Started with Autodesk Flow Design**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/flow-design/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/FlowDesign/files/GUID-71F807F0-F3E7-4DFA-99B7-356DD8708AC8-htm.html>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

BAKER, William F.; KORISTA, D. Stanton; NOVAK, Lawrence C. Engineering world's tallest tower – Burj Dubai. In: COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT, 8, 3-5 mar. 2008, Dubai. **Proceedings of the CTBUH 8th World Congress**. Dubai: CTBUH, 2008.

BURJ KHALIFA. **Structural Elements**. Disponível em: <<http://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/structures.aspx>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

CONSTRUCTALIA. **30 St. Mary Axe**. Disponível em:  
<[http://constructalia.com/portugues\\_br/galeria\\_de\\_projetos/reino\\_unido/30\\_st\\_mary\\_axe#.XCQLalVKi7](http://constructalia.com/portugues_br/galeria_de_projetos/reino_unido/30_st_mary_axe#.XCQLalVKi7)>. Acesso em: 23 dez. 2018.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico**. 2007. 221 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Tecnologia da Construção) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília, 2018. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais2/imagens/normais/textos/1981-2010/Apresentacao.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió. **Código de urbanismo e edificações de Maceió**. Maceió: Prefeitura de Maceió, 2006.

MATOS, Cynthia Casagrande; BOTELHO, Róber Dias. A influência da aerodinâmica no design. **Actas de Diseño**, Buenos Aires, v. 4, n. 4, p. 186-189, mar. 2008. Disponível em:  
<[https://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/publicacionesdc/vista/detalle\\_articulo.php?id\\_libro=12&id\\_articulo=5610](https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_libro=12&id_articulo=5610)>. Acesso em: 23 mar. 2018.

RAMOS, Márcio de Oliveira. **Estudo das melhores práticas da aerodinâmica veicular, visando a melhoria do consumo de combustível e redução de emissões de poluentes aplicadas a veículos de passeio**. 2012. 70p. Monografia (Pós graduação em Engenharia Automotiva) – Centro Universitário Mauá, São Caetano do Sul - SP.

SANTIAGO, Dimas de Barro de; GOMES, Heliofábio Barros. Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL usando Dados Orbitais do Landsat 5. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 3, p. 793-803, 2016.

SANTOS, Rosangela Maria. **Morfologia Urbana e Conforto Térmico**. AUP 823: Seminário da Integração, UnB, 2004.

## **Identidade local e a sustentabilidade: uma relação com os espaços como estímulo de preservação ambiental**

### *Local identity and sustainability: an interface with spaces as a stimulus for environmental preservation*

**Tatiana Matucita Fabiani, arquiteta e urbanista, Universidade Federal de Uberlândia.**

tatianaafabiani@gmail.com

#### **Resumo**

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma discussão sobre como a identidade local pode contribuir para uma melhor relação com os espaços e a preservação ambiental. Nota-se que a maioria das cidades brasileiras são formadas por novos loteamentos sem que estejam ocupados, gerando espaços vazios sujeitos às ações de vandalismo e recebimento de descartes de lixo, resultando em uma degradação do espaço urbano. O mau uso e a falta de interação com o lugar pode estar ligada à ausência de identidade local, sugerindo a necessidade de conscientização da população. Estes espaços podem ter o cenário alterado desde que a comunidade identifique o local como sendo uma área em potencial de uso e poder dela mesma. Para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas pesquisas em *sites*, documentos e apresentação de um caso de inovação social cujo despertar da identidade local pela população resultou em benefícios para a própria comunidade.

**Palavras-chave:** Identidade local; Espaços urbanos de preservação ambiental; Inovação social urbana

#### ***Abstract***

*This work were made to present a discussion about how the local indentity can contributte for a better spaces relation and the environmental preservation. The majority of Brazilian cities are formed by not occupied spaces, that generates not used spaces that could receive acts of vandalism and trash discards, resulting in a*

*degradation of the urban space. The misuse and the misinteraction with the local may be linked with local identity absense, and shows that population needs more awareness. These spaces may have it's scenery changed. Once the cummunity identifies the site as an area of potential use. For this work development, was made website researches, documents and a presentation of a case of social innovation that made a local identity awake, and brought many bennefits to the community population. Spaces may be alternative, provided that a community identifies the site as being an area of potential use and power thereof. For the development of new research, the documents and the presentation of an example of social development are implicit in local identity by the population in benefits to a community.*

**Keywords:** *Local identity; Urban spaces of environmental preservation; Urban social innovation*

## 1. Introdução

A partir do século XVIII com a Revolução Industrial, houve uma expansão no consumo de produtos com a produção em larga escala.

O consumo desenfreado e as críticas à obsolescência programada geraram movimentos desde a década de 70, resultando em conferências das Nações Unidas, objetivando o chamado “desenvolvimento sustentável”.

Deu-se início a uma discussão sobre os impactos causados no meio ambiente, que obrigatoriamente influenciam na qualidade de vida humana, visto que a produção industrial em grande proporção e a falta de organização e controle ambiental causam desordem e fortes consequências para toda uma sociedade.

Este artigo busca discutir os impactos causados à natureza a partir do rumo que se dão as organizações das cidades, unidas ao consumo excessivo de produtos. Pode-se verificar como no caso citado neste trabalho um exemplo em que ações que influenciam no zelo com o ambiente está diretamente ligado à relação da população com identidade local, produzindo resultados que refletem na interação social, a partir da consciência da importância do bem comum e do cuidado com o espaço público e meio ambiente.

## 2. Produção de espaços vazios

O planejamento e a gestão do território urbano devem ser feitos a partir de atores que tenham conhecimento nos processos que envolvem o ambiente urbano. No Brasil, temos um modelo de execução de loteamentos onde a construção de ruas, quadras, saneamento e iluminação pública são feitas mesmo quando ainda não há moradores. Toda esta infraestrutura fica à espera da população, em muitos casos, por anos sem realizar a efetiva vantagem para a sociedade, causando um aumento no valor de taxas de manutenção destes locais e um aumento do desperdício de infraestrutura pública.

No Brasil, as cidades são construídas de acordo com o modelo ‘loteamento sem edificação’, ou seja, o parcelamento do solo é desvinculado da construção imediata. Os loteamentos – ruas, quadras, saneamento e iluminação – são construídos, mas não imediatamente habitados, e muitas vezes levam-se anos para que tal ocupação ocorra. Com isso permanecem diversos lotes vazios. Se por um lado, nesse modelo dissociado há o desperdício de infraestrutura, por outro restam áreas de respiração, de abandono, como lotes que permanecem vagos e disponíveis. (GANZ, 2009, p.15)

As cidades são espaços criados e geridos por uma lógica mercadológica e por especulações. Essas ações resultam em uma organização espacial, que acabam surgindo no ambiente urbano locais ociosos, vazios e que podem servir como área de degradação e descarte ilegal de resíduos.

O desenvolvimento das cidades acontece geralmente de acordo com algumas linhas de interesse, como relata Corrêa (1995), o setor imobiliário e o Estado atuam buscando a obtenção de lucro e maior renda das suas propriedades, como por exemplo podemos observar a criação de loteamentos cada vez mais distantes do centro gerando áreas vazias e desfragmentadas do tecido urbano, mesmo com a existência de áreas ociosas na região

central da cidade.

A forma urbana deve constituir uma solução para o conjunto de problemas que o planejamento urbanístico busca organizar e controlar (LAMAS, 2000). Porém a estratégia de planejar deveria ser mais uma maneira de visão de futuro, com alternativas que possibilitem a adaptações da própria comunidade local.

Esses tipos de áreas vazias acabam determinando comportamentos, enrijecendo as ações e o convívio social como relata Gomes (2002), em que o arranjo físico dos agentes urbanos é elemento determinante para ações sociais; e essas práticas são dependentes a certo modo da distribuição e da arrumação desses elementos no espaço.

Os espaços vazios na área urbana que não possuem uma integração com a área onde estão localizados podem estar sujeitos às ações de vandalismo. Estes locais ao receberem detritos e descartes de lixo, assim como o mau uso do mobiliário urbano, promovem a degradação do lugar, principalmente quando não existe relação de identidade do espaço público com a população local.

Kowaltowski descreve as ações de vandalismo diretamente ligadas à forma como o espaço é mantido. “As causas do vandalismo são complexas, mas um ambiente físico agradável e constantemente bem-mantido, com um detalhamento que iniba a ação dos vândalos, pode contribuir para diminuir esses atos.” (KOWALTOWSKI, 2011, p. 44-45).

Este artigo demonstra que o cuidado com o espaço público possui um aliado instrumento, que seria uma a relação da identidade local com o ambiente.

As experiências relatadas em casos de inovação social, com o incentivo da própria comunidade em conhecer, conscientizar e cuidar do espaço público produzem como resultado espaços que promovem o convívio social, aumentando a sensação de segurança, guarda e poder da população sobre o ambiente público.

Em análise à estudos de caso que envolvem inovação social a partir da identidade local, pode-se abrir uma discussão de como o envolvimento da sociedade a partir do estreitamento da relação com o espaço pode gerar mudanças de hábitos que auxiliam na preservação ambiental, tendo como base a conscientização dos locais corretos para descarte, evitando ações de vandalismo que ajudam a degradar o ambiente.

### **3. O lugar e sua percepção**

Apesar de esforços com a manutenção de espaços públicos, muitos não deixam de receber atos de vandalismo e demonstram sinais de abandono e desuso da própria população, que pode estar ligada à falta de interação com o lugar pela ausência de identidade local.

Para o geógrafo Milton Santos, o espaço não se qualifica da maneira tradicional como consta nos dicionários, ele adquire uma noção de tempo, permitindo o reconhecimento do movimento e apresentando as coisas de maneira heterogênea (SANTOS, 1982).

A relação com o lugar pode ser entendida como espaço que foi familiarizado, como cita Tuan: “Quando o espaço nos é inteiramente familiar, torna-se lugar.” (TUAN, 1983, p. 83).

Como função da capacidade e experiências pessoais, a percepção nos torna seres distintos uns dos outros, de modo que, diante de uma mesma situação, cada pessoa tem uma experiência única de percepção. As experiências de vida são representadas mentalmente num entrelaçamento de informações adquiridas subjetivamente, culturalmente e espacialmente. Desta forma, é interessante ver primeiramente os lugares com o olhar de quem nele habita e a partir daí olhar o

mundo, que é construído cotidianamente nesta relação dos homens com os lugares (NOGUEIRA, 2001).

Já Fábio Duarte (2002, p.65) define lugar como:

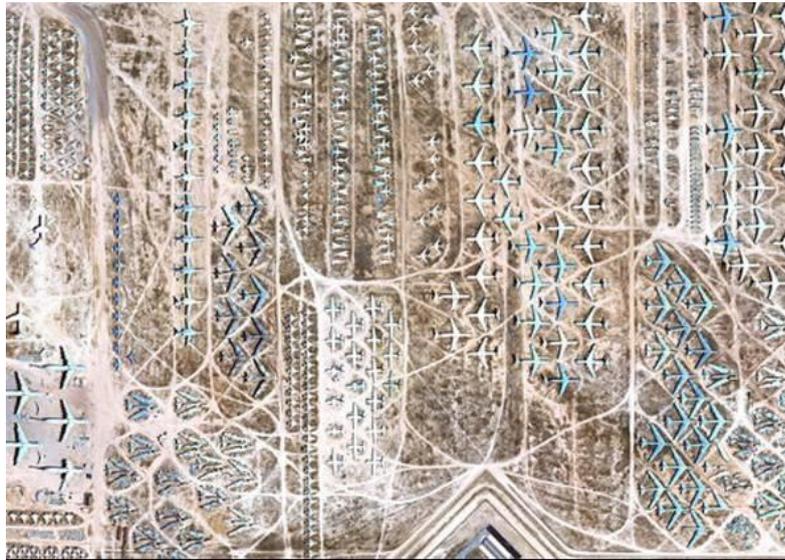
(...) uma porção de espaço significada, ou seja, cujos fixos e fluxos são atribuídos signos e valores que refletem a cultura de uma pessoa ou grupo. Essa significação é menos uma forma de se apossar desses elementos e mais de impregná-los culturalmente para que sirvam para a identificação da pessoa ou do grupo no espaço, para que encontrem a si mesmos refletidos em determinados objetos e ações e possam, assim, guiar-se, encontrar-se e construir sua medida cultural no espaço. (DUARTE, 2002, p. 65)

Para a compreensão da realidade, é crucial o papel da identidade do lugar, gerando interações sociais, transformando a experiência espacial de cada indivíduo. É possível entender que o espaço se torna uma extensão de nós mesmos quando há esse tipo de percepção e interação com o lugar.

O cuidado com o espaço e a consciência da preservação ambiental é algo novo, visto que a partir da Revolução Industrial, com a grande produção industrial, teríamos consequentemente um volume maximizado do descarte, porém ainda sem locais apropriados e sem a percepção da necessidade de diminuição da exploração dos recursos naturais que a produção em larga escala proporciona. Como podemos observar nas imagens a seguir (figuras 1 a 3), demonstram exemplos de degradação de um espaço quando a produção em larga escala de um objeto é realizada sem que se resolva o seu descarte, e tendo como fim a devolução do produto fabricado diretamente à natureza.



**Figura 1: Cemitério de bicicletas na China. Fonte: Imagem disponível no site <https://www.mdig.com.br/index.php?itemid=44016>.**



**Figura 2: Cemitério de aviões nos EUA. Fonte: Imagem disponível no site [http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL1503516-6174,00-GOOGLE+EARTH+TRAZ+IMAGEM+DETALHADA+DE+CEMITERIO+DE+AVIOES+NOS+EU A.html](http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL1503516-6174,00-GOOGLE+EARTH+TRAZ+IMAGEM+DETALHADA+DE+CEMITERIO+DE+AVIOES+NOS+EU+A.html)**



**Figura 3: Descarte de veículos na Amazônia. Fonte: Imagem disponível no site <https://correiodaamazonia.com/vereador-denuncia-cemiterio-de-carros-da-smtu/>**

Os avanços com a produção em larga escala e as melhorias tecnológicas resultaram em grandes atuações de explorações ambientais. As novas tecnologias trouxeram, além de muita praticidade, conforto e diversas vantagens, principalmente na questão do respeito ambiental, o aumento da exploração de recursos ambientais, sendo necessário minimizar os impactos de entrada (exploração) e saída (como é devolvido ao meio ambiente) das substâncias (recursos naturais).

O mundo em que vivemos não comporta mais as ações de exploração desenfreada dos recursos naturais. Além da exploração dos recursos, destacamos como o produto final é devolvido na natureza. Ainda são escassas as formas de reciclagem e conscientização do descarte em locais ambientalmente legais.

Caminhar rumo à sustentabilidade é ir contra a conservadorismo e tendências dominantes  
VII ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis – 08 a 10 de Maio de 2019

do estilo de vida de produção e consumo que vivemos atualmente. Manzini prevê um futuro catastrófico caso a população não altere seus hábitos de produção e consumo. A contradição é que para romper e mudar nossos hábitos, temos que desenvolver outros modos de vida, e nosso modo de vida está em processo de transição.

Krucken (2000) descreve que os rumos do design estão sendo modificados, de um lado existem os atores que apresentam uma função mediática, assumindo um papel de visibilidade extraordinária. Por outro lado, o design adota uma visão mais sistêmica, atuando dentro dos fenômenos da criatividade. Assim, o design torna-se parte ativa nos processos de transformação em ação e naqueles que ainda estão por vir.

Cardoso (2012) propõe o olhar como uma construção sócio-cultural definida em uma especificidade local e histórica. Logo, esses dispositivos devem atingir, de forma direta, os fatores principais que constituem o espaço (objeto, ações e seres humanos), com o objetivo de transformar a equação que resulta do olhar, a concepção do lugar e o comportamento que o configura.

Desenvolver condições para que o potencial dos recursos da região seja convertido em benefícios para a mesma, é uma necessidade que tem se acentuado com a globalização e, representa um grande desafio quando se fala em economias emergentes. É essencial pensar em formas de aproximar e articular produtores/consumidores ou outras entidades envolvidas na produção e na intermediação dos bens, serviços e informações. (SHEA, 2012).

Uma vez compreendido o problema, a comunidade local inicia a identificação do local como sendo área de uso e poder dela mesma, criando assim um comprometimento com a resolução do problema.

Essa ideia de pertencimento do espaço gera ações mais conscientes que passa a ser compartilhada com outras pessoas criando assim uma rede para preservação daquele local.

Como função da capacidade e experiências pessoais, a percepção nos torna seres distintos uns dos outros, de modo que, diante de uma mesma situação, cada pessoa tem uma experiência única de percepção. As experiências de vida são representadas mentalmente num entrelaçamento de informações adquiridas subjetivamente, culturalmente e espacialmente. Desta forma, é interessante ver primeiramente os lugares com o olhar de quem nele habita e a partir daí olhar o mundo, que é construído cotidianamente nesta relação dos homens com os lugares (NOGUEIRA, 2001).

Para a compreensão da realidade, é crucial o papel da identidade do lugar, gerando interações sociais, transformando a experiência espacial de cada indivíduo. É possível entender que o espaço se torna uma extensão de nós mesmos quando há esse tipo de percepção e interação com o lugar.

#### **4. Movimento Boa Praça: um caso de Inovação Social no contexto urbano**

Um bom exemplo de caso de inovação social que une a percepção e identidade do local com a preservação do espaço e ambiente é o “Movimento Boa Praça”. A iniciativa é de 2008 e teve como ponto de partida o desejo de uma criança de apenas 3 anos de idade chamada Alice de realizar sua festa de aniversário no parque infantil e em que frequentava na zona oeste da cidade de São Paulo. Porém o espaço estava com um cenário não muito agradável para realização de uma festa, visto que estava com os brinquedos quebrados, enferrujados, e com muito lixo. Porém, mesmo assim a criança demonstrou a vontade de realizar sua festa ali, sugerindo à mãe a possibilidade de consertar o local, o que fez que com Cecília,

propusesse à filha abrir mão dos presentes para realizar melhorias no parque.



**Figura 3:** Alice e sua mãe Cecília. Fonte: Imagem extraída do vídeo disponível no site <http://movimentoboapraca.com.br/sobre-nos-2/como-tudo-comecou/>.

A iniciativa se deu a partir da busca de contato pela mãe de Cecília com a subprefeitura da cidade, além de auxílio através de vizinhos, amigos e empresas. No dia da festa, algumas modificações no parque infantil foram realizadas, tais como: instalações de coberturas móveis e conserto de brinquedos e mobiliários. Após a festa, o local que tinha recebido tais reparos agora trazia melhorias para toda a comunidade.

O movimento criou força e se estendeu além do parque infantil na zona oeste de São Paulo, atingindo outros espaços públicos e busca promover piqueniques comunitários, revitalizações, palestras, cursos, ações educativas, instalação de mobiliário, consultorias e planejamento de ações de voluntariado. Nos piqueniques por exemplo, os vizinhos são convidados a compartilhar suas habilidades, conhecimentos e a promover melhorias. São realizados mutirões para plantio, catação de lixo, pintura, reparos, além, de atividades culturais e recreativas, como oficinas, exposições de cinema, feiras de troca, jogos, aulas, saraus, apresentações de música etc. Esse tipo de iniciativa demonstra que a participação do indivíduo se faz muito mais atuante quando se cria a proximidade e a relação com o espaço. Essa identidade local pode ter o seu pontapé inicial através da conscientização do problema para a comunidade local, através de agentes ou próprios moradores. A partir da conscientização da problemática e do poder de mudança que as pessoas podem exercer, as atividades de melhorias em um espaço urbano deteriorado acaba trazendo uma melhora na qualidade ambiental para todos.



**Figura 4: Criança no piquenique do Movimento Boa Praça. Fonte: Imagem extraída do vídeo disponível no site <http://movimentoboapraça.com.br/acao-na-praca/piqueniques-comunitarios/>**

O Movimento Boa Praça já promoveu mais de 50 piqueniques comunitários, em diversas praças de São Paulo, desde que começou a atuar, em 2008. Nesses encontros, os vizinhos são convidados a se conhecer, trocar experiências e pensar no bairro e na cidade que querem. A intenção é que as praças da cidade recuperem seu propósito inicial e voltem a ser locais de lazer, debate e inclusão. Incentivando a criação de um momento ao ar livres e que façam com as pessoas tomem consciência das consequências das suas ações com os espaços públicos, pensando sempre no bem coletivo, em prol do bairro e podendo reconhecer-se como um integrante do lugar.



**Figura 5: Brincadeiras durante o piquenique do Movimento Boa Praça. Fonte: <http://movimentoboapraça.com.br/acao-na-praca/piqueniques-comunitarios/>**

Além dos piqueniques comunitários, o Movimento Boa Praça também promove algumas ações como biblioteca comunitária e melhoria do mobiliário urbano. A Biblioteca Circulante do Movimento Boa Praça teve início, e a partir da exposição de alguns títulos na praça, onde as pessoas podem sentar e realizar a leitura, ou pegar um livro emprestado e assumindo o compromisso de devolvê-lo no próximo piquenique. Já o projeto de melhorias do mobiliário urbano surgiu em 2012 com a ajuda de um grupo de alunos e professores da Escola da Cidade, que criaram, utilizando pallets, mobiliário temporário na Praça Amadeu Decome. Durante dois meses o mobiliário ficou instalado e o movimento da praça cresceu espaço onde as pessoas tenham onde ficar, ler, sentar, apoiar-se e conversar.



**Figura 6: Assentos feitos de pallets.** Fonte: <http://movimentoboapraça.com.br/acao-na-praca/melhoria-do-mobiliario-urbano/>

Foram realizadas mudanças no mobiliário existente, como a instalação de ripas de madeiras formando encostos, visto que os bancos existentes não possuíam encosto e apresentavam assentos separados por curvas que previnem que as pessoas se deitem e se aproximem.



**Figura 7: Mutirão realizando melhorias no mobiliário.** Fonte: <http://movimentoboapraça.com.br/acao-na-praca/melhoria-do-mobiliario-urbano/>

A Intenção do movimento é mobilizar cidadãos, empresas, governos e instituições para ocupar, criar e revitalizar espaços públicos, em especial as praças da cidade, devolvendo a eles o seu propósito inicial: o de locais de convívio, lazer, debate e inclusão.

## **5. Considerações:**

O Movimento Boa Praça demonstra como o entendimento dos espaços livres públicos como extensão do território e sentimento de pertencimento do lugar é fundamental para a compreensão, manutenção e preservação destes espaços em benefício da própria comunidade.

Diante de tantas problemáticas que notamos pela falta de cuidado com o meio ambiente, podemos entender que algumas iniciativas podem pelo menos minimizar os impactos ambiental e social, e como a deterioração do espaço gera grandes malefícios numa região como um todo.

Uma vez realizada esta conscientização e o despertar do sentimento de identidade do lugar, a comunidade voluntariamente se estabelece como autora e detém de maior autonomia para cuidar e dar continuidade às mudanças no espaço. Já que a união de pessoas diferentes, processos e materiais se torna enriquecedora podendo ser um primeiro passo para a mudança da inovação social, de pequena escala para maior escala, ou que se torne um fator multiplicador, sendo disseminado de maneira tal, que esta rede se reproduza cada vez mais.

É importante salientar que a atuação e o despertar de qualquer membro da comunidade pode gerar e resultar em movimentos sociais que modificam a paisagem urbana destes espaços livres, através de casos de inovação social e que tem o poder de ser propagado para outras áreas, a partir da adoção de estratégias de conscientização e de ações cada vez mais concretas para preservação dos espaços públicos.

## Referências

- CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2012.
- CORRÊA, Roberto Lobato. **O Espaço Urbano**. 3. ed. São Paulo: Ática, 1995, 94 p.
- DUARTE, F. **Crise das matrizes espaciais: arquitetura, cidades, geopolítica e tecnocultura**. São Paulo: Perspectiva, 2002.
- GANZ, Louise; SILVA, Breno. **Lotes Vagos**. Belo Horizonte: Instituto Cidades Criativas, 2009, 111 p.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- KRUCKEN, Lia. **Design e território: valorização de identidades e produtos locais**. São Paulo: Nobel, 2000, 128 p.
- LAMAS, José Garcia. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Fundação Calouste Gulbenkian, 2000, 590 p.
- MANZINI, Ezio. **Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro, 2017.
- MDIG. **Os cemitérios de bike chinesas: a história visual de um estranho fail empresarial**. Disponível em: <<https://www.mdig.com.br/index.php?itemid=44016>> Acesso em 27 dez. 2018.
- MOVIMENTO BOA PRAÇA. **Dados do Movimento Boa Praça**. Disponível em: <<http://movimentoboapraça.com.br/projetos-2/>> Acesso em 27 dez. 2018.
- NOGUEIRA, A. R. B. **Percepção e representação gráfica: A “geograficidade” nos Mapas Mentais dos comandantes de embarcações no Amazonas**. Tese de doutorado. Departamento de Geografia. São Paulo, USP. 2001.
- SANTOS, M. O espaço geográfico como categoria filosófica. In: **5º ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS**, 1982, Porto Alegre. Disponível em: Acesso em: 27 mai. 2014.
- SHEA, A. **Designing for Social Change**. 1ª Edição. Editora Princeton Architectural Press, New York, 2012.
- TUAN, YI-FU. **Espaço e lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo: DIFEL, 1983.

## Compósitos de Poliuretano com Resíduos Industriais

### *Polyurethane Composites with Industrial Residues*

**Victor Leibnitz Hipólito, graduando, UNISUL.**

victorhipolito\_@hotmail.com

**Edivandro Giroto, Dr, UFSC.**

girottoedi@hotmail.com

**Rachel Faverzani Magnago, Dr, UNISUL.**

Rachel.magnago@unisul.br

### **Resumo**

O poliuretano (PU) é frequentemente utilizado como isolamento térmico e acústico em telhados, paredes e pisos de edificações. No entanto, o PU não exibe resistência ao fogo e sua combustão pode liberar gases tóxicos e letais. Neste estudo, foram desenvolvidos painéis de compósitos de PU utilizando resíduos industriais, onde os espécimes de PU contendo lodo de vidro, lodo da anodização de alumínio e politereftalato de etileno (PET) foram obtidas pela policondensação entre isocianato e polioliol. O espécime foi comparado com compósitos de retardantes de chama comerciais (MDH e ATH) e com PU quanto aos requisitos de inflamabilidade. Também foi realizada a análise termogravimétrica, microscopia eletrônica de varredura após teste de inflamabilidade e resistência à compressão dos espécimes desenvolvidos. O melhor resultado foi obtido quando associando lodo de vidro, PET e lodo de alumínio. O sinergismo dos mecanismos de degradação induziu desaceleração da combustão e extinção da chama, a amostra manteve a estrutura de alvéolos depois do teste de inflamabilidade e a estabilidade termogravimétrica foi semelhante ao PU. Os compósitos apresentaram resistência à compressão adequada para ser utilizado como compósito estruturado em sanduíche nas paredes.

**Palavras-chave:** Resíduos industriais; Poliuretano (PU); Retardador de chama

### ***Abstract***

*Polyurethane (PU) is often used as thermal and acoustic insulation on roofs, walls and floors of buildings. However, PU does not exhibit fire resistance and its combustion can release toxic and lethal gases. In this study, PU composite panels were developed using industrial waste, where PU sludge containing glass sludge, aluminum anodizing slurry and polyethylene terephthalate (PET)*

were obtained by polycondensation between isocyanate and polyol. The specimen was compared with commercial flame retardant composites (MDH and ATH) and PU with regard to flammability requirements. Also, thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy after flammability test and compressive strength of the developed specimens were performed. The best result was obtained when associating glass sludge, PET and aluminum sludge. The synergism of the degradation mechanisms induced combustion deceleration and flame extinction, the sample maintained the alveoli structure after the flammability test and the thermogravimetric stability was similar to the PU. The composites presented adequate compressive strength to be used as a sandwich composite on the walls.

**Keywords:** Industrial residues; Polyurethane (PU); Flame retardant

## 1. Introdução

O uso de materiais poliméricos em estruturas de edificações é cada vez mais comum por possuírem excelente capacidade de isolamento acústico e térmico utilizados entre alvenarias, telhas e estruturas de wood e steel frame. Devido a ocorrência de casos de incêndios, têm-se estabelecido através de normas regulamentadoras, orientação e controle quanto ao uso de polímeros com a finalidade de minimizar riscos, tendo em vista que a combustão desses materiais pode formar gases tóxicos e letais (VLADIMIROV, 2011; ABNT NBR 9178:2015). Um trágico incêndio ocorreu no ano de 2013 na boate Kiss na cidade de Santa Maria (RS) reforçando a necessidade de soluções seguras para isolamento de ambientes (MENDONÇA, 2014; WANG, 2014).

Existem diferentes maneiras de reduzir a inflamabilidade de polímeros, porém a introdução física de substâncias retardantes de chama é a mais usual e apresenta vantagens em relação aos custos de matéria-prima e incorporação. Os principais retardantes de chama são divididos em compostos halogenados e não halogenados. Os retardantes halogenados são mais eficientes, porém geram gases tóxicos no momento da combustão. Por sua vez, os retardantes não halogenados não produzem tais gases e dentre esses o trihidróxido de alumínio (ATH) e o dihidróxido de magnésio (MDH) se destacam (GUO et al., 2015).

Uma alternativa economicamente responsável está no uso de resíduos ou subprodutos de processos industriais como retardante de chamas incorporando como insumo secundário, quando possuem propriedades antichama, assim apresentando vantagem em relação ao custo e proporcionando novo ciclo de vida.

Neste trabalho foram escolhidos os resíduos de lodo da anodização do alumínio, lodo da lapidação de vidro e descartes de politereftalato de etileno. Os lodos apresentam nas suas constituições, material inerte ao fogo, principalmente os óxidos metálicos, imprimindo um caráter inflamável no produto que o compõem (ABAL, 2018). Enquanto que o politereftalato de etileno apresenta ponto de fulgor superior ao do PU, podendo retardar o início da ignição do material (PLASTICSINSIGHT, 2018; ABIPET, 2018; REBEHY et al., 2017; NALINI et al., 2016; PLASTICS EUROPE, 2015; KREIGER et al., 2014). Portanto, o desafio é converter os resíduos em produtos úteis, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais que permitiriam seu uso e contribuir para a proteção dos recursos naturais (REBEHY et al., 2017; TEUBER et al., 2016; TONET; GORNINSKI, 2013; NAGEL, 2013).

A construção civil é uma indústria com grande potencial para o uso de resíduos em suas formulações (MACHADO et al., 2018; MYMRIN et al., 2018; D'AMORE et al., 2017;

PIVNENKO et al., 2016; SALESA et al., 2016). Machado et al. (2018) demonstraram que os resíduos de poliuretano (PU) podem ser reciclados para produzir painéis aglomerados com um retardador de chama. Além disso, Mymrin e colaboradores (2018) desenvolveram compósitos de resíduos de concreto, lodo de anodização de alumínio e resíduos da produção de cal que poderiam ser utilizados como matéria-prima para a produção de produtos de construção, como tijolos e blocos não queimados, cujas propriedades mecânicas excedem as exigências das normas brasileiras. Em nosso grupo de pesquisa desenvolveu-se painéis isolantes para construção civil que reciclaram PET, PVC e PU (MARQUES et al., 2018; BARCELOS et al., 2016; MAGNAGO et al., 2017). No entanto, não existe nenhum estudo que examine o uso de resíduos de PET, lodo da lapidação de vidro e lodo de anodização de alumínio em compósitos de PU para melhorar a inflamabilidade. O uso desses resíduos como insumos evita seu descarte em aterros em todo mundo e resulta na produção de compósitos úteis e economicamente convenientes. O objetivo deste estudo foi desenvolver novo compósito com parte dos insumo de descartes de PET, lodo de vidro e lodo de anodização de alumínio e comparar com compósitos de retardantes de chama comerciais quanto aos requisitos de inflamabilidade de padrões internacionais e estabilidade térmica, verificando a estrutura interna do material por microscopia eletrônica de varredura após teste de inflamabilidade e a resistência à compressão dos espécimes desenvolvidos.

## 2. Materiais e Métodos

Para confecção dos espécimes foram usados os reagentes polioliolpoliéter e tolueno-2,6-diisocianato (Arinos), trihidróxido de alumínio (ATH, Huber), dihidróxido de magnésio (MDH, Huber), lodo de anodização de alumínio (AAS, Hydro), lodo de vidro (Glass, Personal Glass) e descartes de politereftalato de etileno (PET, Água Mineral Santa Catarina).

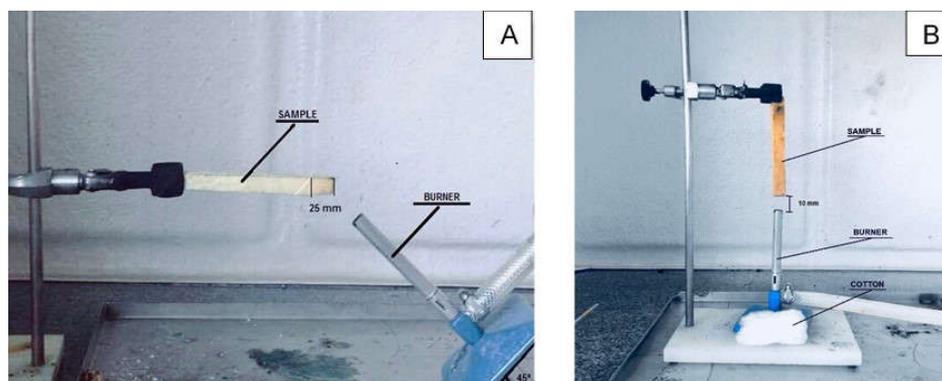
Os reagentes foram usados como recebidos e seguindo normas de segurança. Os lodos de vidro e alumínio foram lavados, secos a 100° C em estufa com circulação de ar por 24 h e tamisado em peneira inox com malha de 0,3 mm. O PET pós-industrial foi lavado, seco e utilizado com granulometria entre 1,4-1,0 mm.

### 2.1 Espécimes

Os corpos de prova foram obtidos através da mistura do polioliol com carga por 0,5 min e, então, foi adicionado isocianato e misturado por mais 0,5 min. Os moldes foram previamente revestidos com plástico para facilitar a retirada dos corpos de prova. A mistura foi vertida para molde com dimensões respectivas para cada teste. Os corpos de prova foram preparados com a incorporação de 40% de cada carga em relação a uma massa fixa de razão de 1:2 de polioliol:isocianato assim a amostra PU-GPA possui 40% de vidro, 40% de PET e 40% de lodo de alumínio. Deste modo foram desenvolvidos espécimes de PU, PU-GPA, PU-ATH e PU-MDH, sendo ATH e MDH retardantes de chama não halogenados de uso industrial.

### 2.2 Inflamabilidade e Estabilidade Térmica

Os corpos de prova foram recortados de uma placa com dimensões de 180 mm de comprimento, 100 mm de largura e 20 mm de espessura, seguindo a norma UL-94 para dois ensaios, inflamabilidade horizontal (Figura 1A) e inflamabilidade vertical (Figura 1B). Após a operação de corte, foi eliminado o pó da superfície da amostra. Os corpos de prova foram secos em estufa por 168 h a 70 °C, então foram transferidos para um dessecador com sílica gel e permaneceram por 4 h (MARQUES et al., 2018; UL94, 2017).



**Figura 1: Montagem de testes de queima horizontal (A) e vertical (B). Fonte: elaborado pelos autores.**

No teste de queima horizontal (Figura 1A), em três corpos de prova nas dimensões de 125 mm de comprimento, 13 mm de largura e 10 mm de espessura, fez-se incidir uma chama de altura de  $20 \pm 1$  mm, a  $45^\circ$  durante 30 s. Foram registrados o comprimento da amostra consumida durante a combustão (ABNT NBR 9178-15, ASTM D635-14 e UL-94).

No teste de queima vertical (Figura 1B), para cinco corpos de prova nas dimensões de 125 mm de comprimento, 13 mm de largura e 10 mm de espessura, foram realizadas as etapas: (1) a chama foi colocada sob a extremidade do corpo de prova, e mantida por 10 s; (2) quando o corpo de prova parou de queimar, a amostra foi novamente exposta a chama por mais 10 s. As seguintes observações foram anotadas:  $t_1$ , duração da chama no corpo de prova, após a primeira aplicação;  $t_2$ , duração da chama no corpo de prova, após a segunda aplicação;  $t_3$ , duração da chama mais a incandescência, após a segunda aplicação. Então, aplicou-se os critérios para classificação do material como V-0, V-1 e V-2 (ABNT NBR 9178-15, ASTM D635-14, UL-94).

O teste termogravimétrico dos espécimes foi realizado em atmosfera de nitrogênio e a uma taxa de aquecimento de  $10^\circ \text{C}/\text{min}$  entre  $20^\circ \text{C}$  e  $900^\circ \text{C}$ , utilizando um instrumento TGA Q5000 (TA Instruments).

### 2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A morfologia do compósito PU-GPA foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura (JEOL JSM-6390LV), com uma tensão de 15 kV. A amostra foi fraturada em nitrogênio líquido e revestida com ouro.

### 2.4 Resistência mecânica a compressão

Para o teste de resistência mecânica foram confeccionados quatro corpos de prova de cada espécime nas dimensões de 5 mm de diâmetro da base e 10 mm de altura. Os ensaios mecânicos foram realizados por compressão em um equipamento universal de ensaios, EMIC modelo DL 30000, com célula de carga de 5 kN. Os corpos de provas foram submetidos a incrementos de pressão até a deformação plástica do material a temperatura ambiente (ABNT NBR 5739:2007; ASTM D 638).

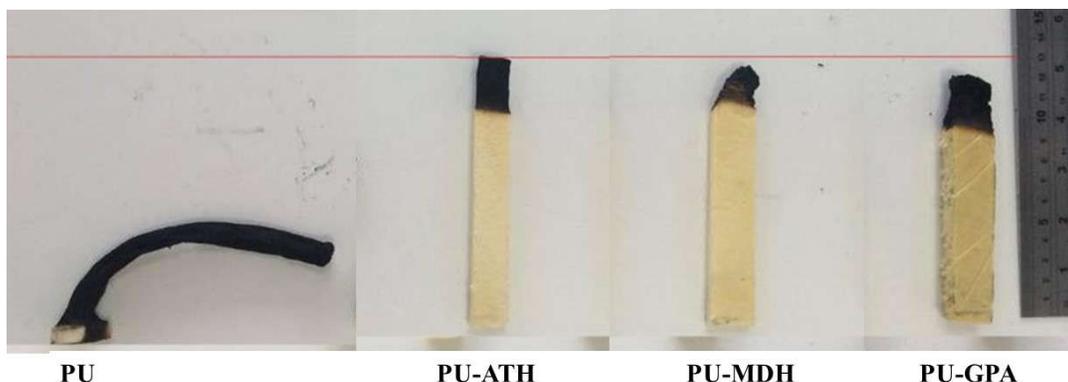
## 3. Resultados

Durante a reação de policondensação entre o polioli e o isocianato foi incorporado diferentes cargas para obtenção de compósitos retardantes de chama, na Figura 2 pode ser observado o espécime PU-GPA, que possui lodo de vidro, lodo de alumínio e PET.



**Figura 2:** Espécime PU-GPA para teste de inflamabilidade horizontal, com 40% de lodo de vidro, 40% de lodo de alumínio e 40% de PET com relação a massa inicial do PU. Fonte: elaborado pelos autores.

Em geral, os aditivos retardadores de chama são usados para minimizar o risco de iniciação do fogo e limitar sua propagação, ou seja, impedir ou dificultar a degradação térmica oxidante (combustão) do material. A Figura 3 mostra os espécimes após o teste de queima horizontal.



**Figura 3:** Amostras submetidas ao teste de queima horizontal, tem-se PU, PU-ATH (ATH, retardante de chama comercial), PU-MDH (MDH, retardante de chama comercial) e PU-GPA (lodo de vidro, lodo de alumínio e PET). Fonte: elaborado pelos autores.

As imagens do espécime PU-GPA da Figura 3 foram capturadas após o teste de queima horizontal, ou seja, após o bico de Bunsen ter sido removido e a chama autossustentada extinta. Os compósitos (PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA) não propagaram a chama, enquanto que a amostra de PU foi consumida pelo fogo. Para o teste de inflamabilidade horizontal tem-se que a distância média percorrida pela chama não deve ser superior a 25 mm, sendo que foram registrados os valores de 125 mm para PU, 31,4 mm para PU-ATH, 30,6 mm para PU-MDH e 30,6 mm PU-GPA. O PU apresentou combustão completa com velocidade de queima de 165 mm/min, enquanto as velocidades de queima da PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA foram de 73,2 mm/min, 108 mm/min e 129 mm/min, respectivamente. Os espécimes PU-ATH e PU-MDH, são hidróxido de alumínio e hidróxido de magnésio respectivamente. Os hidróxidos metálicos decompõem-se com o calor para os óxidos metálicos, formando uma camada vitrificada na superfície da amostra, dificultando a propagação da chama, além de eliminar água durante este processo que também auxilia no processo de extinção da

chama. O PU-GPA, apresenta na composição lodo de vidro, lodo de alumínio e PET, sendo que o lodo de vidro e de alumínio possuem óxidos metálicos, que não são inflamáveis, e que deram características de retardadores de chama para os compósitos (ELBASUNEY, S., 2017; THIRUMAL et al., 2010; ZHANG et al., 2005). Enquanto que o PET ajudou a desacelerar a combustão do compósito, provavelmente porque sua temperatura de decomposição é maior que a da PU, de modo que o aumento da viscosidade da fusão durante a pirólise pode ter retardado a volatilização e evolução dos produtos de degradação. O compósito PU-GPA, com 40% de lodo de vidro, 40% de lodo de alumínio e 40% PET apresentou bom resultado quando comparado aos compósitos PU-ATH e PU-MDH, com retardante de chama comercial, mas não de acordo com a UL94, a taxa de queima para PU-GPA foi superior a 40 mm por minuto num intervalo de 75 mm. Comparando as distâncias do teste de queima horizontal, observa-se que o PU-GPA tem um resultado similar com os retardantes comerciais enquanto o PU foi completamente consumido pelas chamas (MAEQUES et al., 2018).

Os resultados do teste de inflamabilidade vertical estão na Tabela 1, tem-se o tempo duração da chama mais a incandescência, após a segunda aplicação de chama, se amostra queimou até o prendedor, se queimou o algodão e a classificação segundo UL94.

**Tabela 1. Resultados do teste de queima horizontal, tempo, queima até prendedor, queima do algodão e classificação UL94.**

Amostra	Tempo (s)	Queima até o prendedor	Queimou o algodão	Classificação
PU	20*	Sim	Não	Não
PU-ATH	19	Não	Não	V-1
PU-MDH	17*	Sim	Sim	Não
PU-GPA	29	Não	Não	V-1

\* PU e PU-MDH foram totalmente consumidos na primeira aplicação.

Os espécimes PU e PU-MDH mostraram combustão autossustentada até a carbonização com a primeira aplicação da chama e queimada até a prendedor, além disto o PU-MDH apresentou gotejamento durante a combustão e queimou o algodão durante o ensaio. O efeito retardador de chama não foi eficaz com 40% de MDH (TANG et al., 2015; WANG et al., 2015; THIRUMAL et al., 2010). Os espécimes PU-ATH e PU-GPA, não sustentaram chama na segunda aplicação, foram classificados como V1 segundo teste de queima vertical. Para atingir a classificação V1, nenhum corpo-de-prova, do grupo de 5 corpo-de-prova, pode sustentar chamas (chamejamento) por período superior à 30 segundos após a aplicação do queimador; o tempo total de chamejamento (1ª + 2ª aplicação de chama) não deve exceder 250 segundos para cada grupo de 5 corpos-de-prova; nenhum corpo-de-prova pode ser consumido totalmente (até atingir o grampo de sustentação); não deve ocorrer ignição do algodão, oriunda do gotejamento do material, localizado a 305 mm sob o corpo-de-prova; e nenhum dos corpos-de-prova pode sustentar abrasamento por período superior a 60 segundos após a remoção da segunda aplicação do queimador.

Em um incêndio, parte do material sofre degradação térmica oxidante (combustão), e parte pode sofrer decomposição térmica não oxidante. Reações de degradação térmica não oxidantes foram relatadas em temperaturas superiores a 300 °C para PU e PET, e as amostras testadas neste estudo indicaram um comportamento similar (LAOUTID et al., 2009;

MONTAUDO et al., 1993; SAMPERI et al., 2004). A Figura 4 mostra as curvas termogravimétricas para o lodo de alumínio, lodo de vidro, PU, PET e PU-GPA.

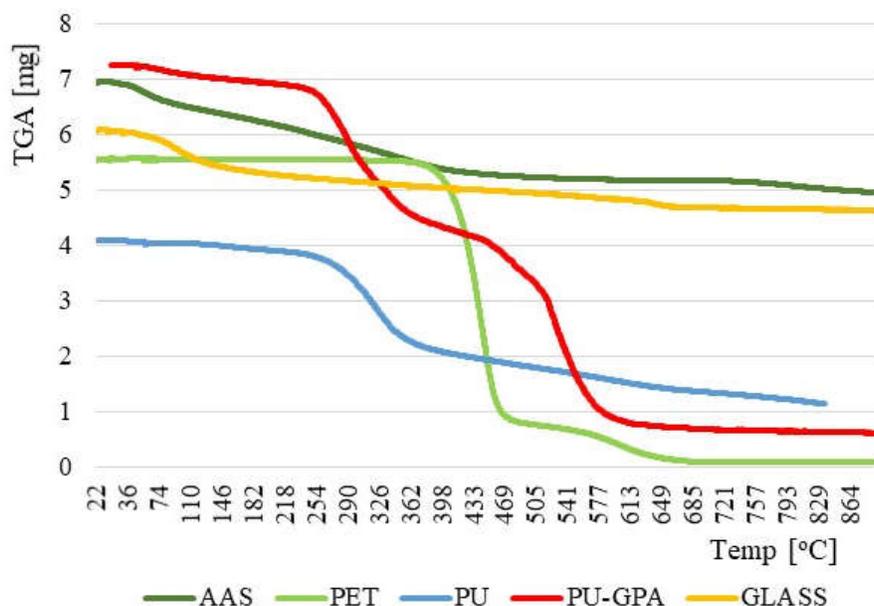
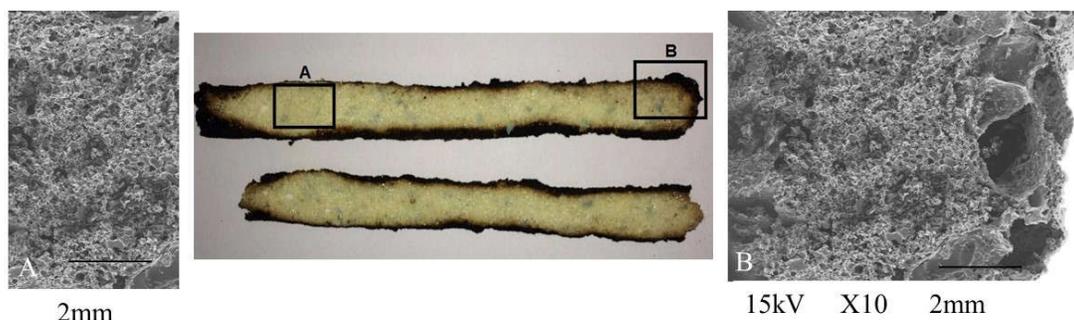


Figura 4: Curvas termogravimétricas de lodo de alumínio (AAS), lodo de vidro (GLASS), PET, PU e PU-GPA (lodo de vidro, lodo de alumínio e PET). Fonte: elaborado pelos autores.

O primeiro passo na decomposição endotérmica do PU correspondeu à quebra do segmento rígido de uretano a uma temperatura inicial de 299 °C, com um pico a uma temperatura de 355 °C e uma perda de massa de 34,46%. A segunda fase da degradação da PU correspondeu à decomposição térmica do segmento flexível, o polioli, que ocorreu no pico de temperatura de 446 °C com uma perda de massa de 39,43% (YANG et al., 2015; LAOUTID et al., 2009). No caso do PET, o processo de degradação endotérmica tornou-se significativo após 436 °C, com um pico de decomposição a 444 °C e uma perda de massa de 85,70%, correspondente à quebra das ligações éster; o segundo estágio ocorreu a 610 °C (BANNACH et al., 2011; MONTAUDO et al., 1993). A decomposição do compósito PU-GPA iniciou-se a 255 °C, com três patamares de decomposição endotérmica a 313 °C, 477 °C e 542 °C com perdas de 32%, 18% e 34%, respectivamente. Todas as temperaturas de decomposição dos compósitos foram ligeiramente inferiores às dos polímeros puros, e a incorporação do lodo de alumínio, lodo de vidro e PET não contribuiu para um aumento na estabilidade térmica do PU-GPA. As curvas TGA do lodo de vidro (GLASS) e do lodo de alumínio (AAS) (Figura 4) revelou a perda de massa na temperatura, provavelmente sendo, da perda de água das amostras.

Na Figura 5 é possível visualizar o interior do espécime PU-GPA após teste de inflamabilidade vertical, bem como a MEV do interior da amostra, região A (Figura 5A) e de uma extremidade, região B (Figura 5B).



**Figura 5:** Corte longitudinal do espécime PU-GPA e MEV com aumento de 10 X do interior da amostra (A) e da extremidade (B). Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 5 pode ser verificado que apesar da amostra de PU-GPA ter sido superficialmente carbonizada, a estrutura com poros foi mantida no interior da amostra. A microscopia eletrônica de varredura do PU-GPA (Figura 5) apresentou estrutura celular com alvéolos predominantemente fechados (WANG et al., 2017; ZHANG et al., 2005; ZHANG et al., 2015). Este exibiu retardamento de chama e supressão de fumaça durante o teste de queima vertical. As alterações da microestrutura celular ocorreram em toda a extensão do espécime, formando bolsões de gás, abaixo da camada de carbono/cerâmica na superfície do compósito, evitando assim a propagação da combustão (LAOUTID et al., 2009).

Pode ser observado na Tabela 1 a força aplicada nos espécimes PU, PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA e os resultados da resistência mecânica a compressão com desvio padrão e coeficiente de variação e elasticidade para quatro corpos de prova.

**Tabela 2.** Força aplicada, resistência mecânica a compressão com desvio padrão e coeficiente de variação e elasticidade dos espécimes PU, PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA.

Amostra	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Coef Var (%)	Elasticidade (N/m)
PU	0,99	0,5	0,01188	2,33	15,5
PU_GPA	1,31	0,67	0,07181	10,72	106,1
PU_MDH	1,11	0,56	0,07131	12,63	92
PU_ATH	0,99	0,5	0,02167	4,272	215,4

O melhor resultado foi obtido para PU-GPA de 0,67 MPa de resistência mecânica a compressão, sendo que todos os espécimes preparados apresentaram resistência mecânica igual ou superior a 0,5 Mpa sendo este o valor de resistência para a utilização como isolante térmico e acústico segundo a ABNT NBR 8082 para espumas rígidas de PU.

## CONCLUSÕES

No teste de queima horizontal o compósito desenvolvido (PU-GPA) retardou a chama semelhante aos retardantes comerciais, enquanto o PU foi consumido pelas chamas. O compósito também foi classificado segundo teste de queima vertical (UL94). O compósito,

PU-GPA, apresentou superfície carbonizada, mas a estrutura com poros foi mantida no interior da amostra, após testes de inflamabilidade.

A microscopia eletrônica de varredura do PU-GPA exibe estrutura celular, com poros predominantemente fechados.

Na ausência de chama, mas em altas temperaturas o material iniciou a decomposição iniciou-se a 255 °C, mantendo a estabilidade térmica do PU observada na análise termogravimétrica.

A resistência mecânica do material para ser empregado como isolante térmico e acústico atingiu ao estabelecido pela ABNT NBR 8082 para espumas rígidas de PU.

#### Agradecimento

Agradecemos à HUBER Raw Material (SP), Água Mineral Natural de Santa Catarina (SC), Hydro (SC) e Personal Glass (SC) pela doação de ATH/MDH, PET, lodo de alumínio e lodo de vidro respectivamente. O meu muito obrigada ao Dr. Hugo Gallardo, da Universidade Federal de Santa Catarina.

#### Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, D635: Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. West Conshohocken, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET NO BRASIL (Abipet), 2018. Disponível em: <[www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3](http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3)>. Acesso em: 14 Jun. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (Abal), 2018. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 14 Jun. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8082: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9178: Espuma flexível de poliuretano - Determinação das características de queima. Rio de Janeiro, 2015.
- BANNACH, G., PERPÉTUO, G.L., CAVALHEIRO, E.T.G., CAVALHEIRO, C.C.S., ROCHA, R.R. Effects of the thermal history on thermal properties of polymers: an experiment for thermal analysis education. **Quim. Nova**. v. 34, p. 1825-1829, 2011.
- BARCELOS, R.L. CUBAS, A.L.V., DUTRA, A.R.A., SILVA, L., LERIPIO, A.A., MAGNAGO, R.F. Preparation of Polyurethane Sheets Using Surfboard Manufacturing

Waste and Evaluation of Their Properties to Use in Brazil's Construction Industry. **J. Biol. Chem. Res.** v. 2, p. 30-37, 2016.

D'AMORE, G.K.O., CANIATO, M., TRAVAN, A., TURCO, G., MARSICH, L., FERLUGA, A., SCHMID, C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. **J. Clean. Prod.** v. 165, p. 1306-1315, 2017.

ELBASUNEY, S. Novel multi-component flame retardant system based on nanoscopic aluminium-trihydroxide (ATH). **Adv. Powder Technol.** v. 305, p. 538-545, 2017.

EUROPE PLASTICS. Plastics Recycling, European Association Of. Plastics - the Facts 2014/2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data.

Disponível em:

<[issuu.com/plasticseuropeebook/docs/final\\_plastics\\_the\\_facts\\_2014\\_19122](http://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/final_plastics_the_facts_2014_19122)> . Acesso em: 24 Jun. 2018.

GUO, H., GAO, Q., OUYANG, C., ZHENG, K., XU, W. Research on Properties of Rigid Polyurethane Foam with Heteroaromatic And Brominated Benzyl Polyols. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 132, p. 423-449, 2015.

KREIGER, M.A., MULDER, M.L., GLOVER, A.G., PEARCE, J.M. Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament. **J. Clean. Prod.** v. 70, p. 90-96, 2014.

LAOUTID, F., BONNAUD, L., ALEXANDRE, M., LOPEZ-CUESTA, J.M., DUBOIS, P. New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. **Mater. Sci. Eng. R.** v. 63, p. 100-125, 2009.

MACHADO, A.O, DUARTE, J., OLIVEIRA, M.F., GRISA, A.M.C., ZENI, M. Agglomerated Boards Evaluation with Waste of Polyurethane Skin and Non-halogenated Flame Retardants. **J. Mater. Sci. Eng. B.** v. 8, p. 21-27, 2018.

MAGNAGO, R.F.; MULLER, N.D.; MARTINS, M.; SILVA, H.R.T.; EGERT, P.; SILVA, L. Investigating the influence of conduit residues on polyurethane plates. **Polimeros.** 27 v. 3, p. 23-37, 2017.

MARQUES, D.V., BARCELOS, R. L. SILVA, H.R.T., EGERT, P., PARMA, G.O.C., GIROTTI, E., CONSONI, D., BENAVIDES, R., SILVA, L., MAGNAGO, R.F. Recycled Polyethylene Terephthalate-Based Boards For Thermal-Acoustic Insulation. **J. Clean Prod.** v. 189, p. 251-252, 2018.

MARQUES, D.V., BARCELOS, R. L. SILVA, H.R.T., EGERT, P., PARMA, G.O.C., GIROTTI, E., CONSONI, D., BENAVIDES, R., SILVA, L., MAGNAGO, R.F. Recycled Polyethylene Terephthalate-Based Boards For Thermal-Acoustic Insulation. **J. Clean. Prod.** v. 189, p. 251-252, 2018.

MENDONÇA, H.T.T. Edificações civis em situação de incêndio: estudo de caso da boate Kiss e do edifício Joelma; Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil; UNIFOR-MG, Formiga, 2014.

MONTAUDO, G., PUGLISI, C., SAMPER, F. Primary thermal degradation mechanisms of PET and PBT. **Polym. Degrad. Stab.** v. 42, p. 13-28, 1993.

MYMRIN, V., PEDROSO, D.E., PEDROSO, C., ALEKSEEV, K., AVANCI, M.A., WINTER, JR.E., CECHIN, L., ROLIM, P.H.B., IAROSINSKI, A., CATAI, R.E.

Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste. **J. Clean. Prod.** v. 174, p. 380-388, 2018.

NAGEL, M.H. Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry: more than application of the concept of cleaner production. **J. Clean. Prod.** v. 11, p. 11-26, 2013.

NALINI, J.E. Mercado de reciclagem do lixo no Brasil: entraves ao desenvolvimento. **Novas Edições Acadêmicas**, São Paulo, 2016.

PIVNENKO, K., ERIKSEN, M., FERNÁNDEZ, E.M, EERNEST, A., TRUFT, F. Recycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry. **Waste Manage.** v. 54, p. 44–52, 2016.

PLASTICSINSIGHT, Global pet resin production capacity. 2018. Disponível em: <<https://www.plasticsinsight.com/global-pet-resin-production-capacity>> . Acesso em: 24 Jun. 2018.

REBEHY, P.C.P.W., COSTA, A.L., CAMPELLO, C., ESPINOZA, D.F., NETO, M.J. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **J. Clean. Prod.** v. 154, p. 462-473, 2017.

SALESA, A. PEREZ-BENEDICTO, J.A., COLORADO-ARANGUREN, D., LOPEZ-JULIAN, P.L., ESTEBAN, L.M., SANZ-BALDÚZ, L.J., SAEZ-HOSTALED, J.L., RAMIS, J., OLIVARES, D. Physico-mechanical properties of multi - recycled concrete from precast concrete industry. **J. Clean. Prod.** v. 141, p. 248-255, 2017.

SAMPERI, F., PUGLISIA, C., ALICATAB, R., MONTAUDO, G. Thermal degradation of poly(ethylene terephthalate) at the processing temperature. **Polym. Degrad. Stab.** v. 83, p. 3-10, 2004.

TANG, W., GU, X., JIANG, Y., ZHAO, J., MA, W., JIANG, P., ZHANG, S. Flammability and thermal behaviors of polypropylene composite containing modified kaolinite. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 132, p. 41761-41768, 2015.

TEUBER, L., OSBURG, V.S., TOPOROWSKI, W., MILITZ, H., KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. **J. Clean. Prod.** v. 110, p. 9-15, 2016.

THIRUMAL, M., KHASTGIR, D., SINGHA, N.K., MANJUNATH, B.S., NAIK, Y.P. Halogenfree flame-retardant rigid polyurethane foams: Effect of alumina trihydrate and triphenylphosphate on the properties of polyurethane foams. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 116, p. 2260-2268, 2010.

TONET, K.G., GORNINSKI, J.P. Polymer concrete with recycled PET: The influence of the addition of industrial waste on flammability. **Constr. Build. Mater.** v. 40, p. 378-389, 2013.

UNDERWRITERS LABORATORIES. Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. UL 94, 2017.

VLADIMIROV, V.S.; LUKIN, E.S.; POPOYA, N.A.; ILYUKHIN, A.; MOIZIS, S.E.; ARTAMONOV, M.A. New types of light-weight refractory and heat-insulation materials for long-term use at extremely high temperatures. **Glass and Ceramics**, 68, v. 3, p. 116-122, 2011.

WANG, B., SHENG, H., SHI, Y., HU, W., HONG, N., ZENG, W., GE, H., YU, X., SONG, L., HU, Y. Recent advances for microencapsulation of flame retardant. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 113, p. 96-109, 2015.

WANG, Y., WANG, F., DONG, Q., XIE, M., LIU, P., DING, Y., ZHANG, S., YANG, M., ZHENG, G. Core-shell expandable graphite@aluminum hydroxide as a flame-retardant for rigid polyurethane foams. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 146, p. 267-276, 2017.

YANG, R., HU, W., XU, L., SONG, Y., LI, J. Synthesis, mechanical properties and fire behaviors of rigid polyurethane foam with a reactive flame retardant containing phosphazene and phosphate. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 122, p. 102-109, 2015.

ZHANG, X., GUO, F., CHEN, J., WANG, G., LIU, H. Investigation of interfacial modification for flame retardant ethylene vinyl acetate copolymer/alumina trihydrate nanocomposites. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 87, p. 411-418, 2005.

ZHANG, X.L., DUAN, H.J., YAN, D.X., KANG, L.Q., ZHANG, W.Q., TANG, J.-H., LI, Z.-M. A facile strategy to fabricate microencapsulated expandable graphite as a flameretardant for rigid polyurethane foams. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 42364, p. 1-9, 2015.

## **Construção sustentável: análise bibliométrica dos trabalhos publicados em três plataformas de busca de artigos científicos dos últimos 17 anos**

### *Sustainable construction: bibliometric analysis of Works published in three platforms of scientific articles of the last 17 years*

**Amanda Reis, Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE**

amanda.reis017@gmail.com

**Tamily Roedel, Ma., Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE**

tamily.roedel@unifebe.edu.br

#### **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo geral analisar os trabalhos publicados sobre construção sustentável em três plataformas de busca de artigos científicos dos últimos 17 anos. Este trabalho tem uma abordagem quali-quantitativa, método exploratório e tipo de pesquisa bibliométrica. Os resultados obtidos através dos 91 artigos científicos selecionados nas plataformas de busca, Google acadêmico, Ebsco, Portal da CAPES e Scielo foram: a maior representatividade envolveu a participação de 2 autores por artigo com 45%; o maior número de artigos selecionados por ano foram dos anos de 2010 e 2012; em 2002 ocorreu o menor número de artigos publicados, porém, foi o ano que exibiu maior média de páginas, sendo 17; as palavras-chave que mais se destacaram foram construção sustentável e sustentabilidade. Utilizando o estudo bibliométrico, pode-se mostrar que além da construção civil gerar impactos, existem tecnologias para reduzir os mesmos através da construção sustentável.

**Palavras-chave:** Construção civil; Construção sustentável; Pesquisa bibliométrica.

#### **Abstract**

*This work had as general objective to analyze the published works on sustainable construction in three research platforms of scientific articles of the last 17 years. This work has a qualitative-quantitative approach, exploratory method and type of bibliometric research. The results obtained through the 91 scientific articles selected in the search platforms, Google academic, Ebsco, Portal of CAPES and Scielo were: the largest representation involved the participation of 2 authors per article with 45%; the highest number of articles selected per year were from the years of 2010 and 2012; in 2002 the lowest number of published articles occurred, however, it was the year that exhibited the highest average of pages, being 17; the key words that stood out were sustainable construction and sustainability. Using the bibliometric study, it can be shown that besides the civil*

*construction generate impacts, there are technologies to reduce them through sustainable construction.*

**Keywords:** *Construction; Sustainable construction; Bibliometric research.*

## 1. Introdução

O conceito de construção sustentável surge como ação dentro da área da construção civil para avaliar, quantificar e mitigar os impactos. A sustentabilidade é avaliada desde a extração das matérias-primas, planejamento, projeto, construção, utilização, manutenção e também a gestão final dos resíduos. Esse processo tem como objetivo a restauração e manutenção entre o meio ambiente e o ambiente construído (LOPES; AMADO; POGGI, 2012).

A construção sustentável representa a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável em um âmbito mais global dentro da construção civil, envolvendo aspectos sociais, econômicos e ambientais, chamado de *triple bottom line* (FLORIM; QUELHAS, 2005).

Este trabalho teve como objetivo geral analisar os trabalhos publicados sobre construção sustentável em três plataformas de busca de artigos científicos dos últimos 17 anos. E como objetivos específicos verificar os principais autores que publicaram sobre o tema; identificar as Universidades dos autores; e destacar as principais palavras-chave dos artigos.

A análise bibliométrica trabalha com indicadores de atividade científica que permitem contabilizar, nomeadamente o número e distribuição dos trabalhos publicados, a produtividade dos autores, a colaboração na autoria dos trabalhos, o número e distribuição das referências entre trabalhos e autores, entre outros (SANCHO, 2002).

A importância dos estudos bibliométricos é firmada pela necessidade de conhecer e avaliar a produtividade e a qualidade da pesquisa de autores e pesquisadores, o que ajuda a entender como o conhecimento científico é disseminado e absorvido entre os autores e seus pares, bem como entre o público em geral. Também, pode-se afirmar que a análise bibliométrica têm sido cada vez mais demandada e utilizada para quantificar a produção e para outras finalidades, como identificar grupos e áreas de excelência acadêmica (RAVELLI et al., 2009).

## 2. Fundamentação teórica

De acordo com Araújo (2006) a construção sustentável é um sistema construtivo que supre as necessidades das edificações, da habitação e o uso do homem atual, com o objetivo de também conservar o meio ambiente e seus recursos, certificando-se da qualidade de vida para hoje e para as próximas gerações.

Segundo Pinheiro (2003), “a construção sustentável refere-se à aplicação da sustentabilidade às atividades construtivas, sendo definida como a criação e responsabilidade de gestão do ambiente construído, baseado nos princípios ecológicos e no uso eficiente de recursos”. Brian (1996 apud EDWARDS, 2005, p. 21) descreve que “construção sustentável

é a criação e gestão de edifícios saudáveis, baseados em princípios ecológicos e no uso eficiente dos recursos”. E em 1994, o Conselho Internacional da Construção - CIB, definiu o conceito de construção sustentável como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos” (KIBERT, 2008 apud TORGAL; JALALI, 2010, p. 23).

Sobre a prioridade da construção sustentável, Pereira (2009) descreve que é uma análise da construção tradicional e posteriormente uma comparação entre as novas normas sustentáveis para os produtos, processos e materiais, sendo levados em conta os fatores: tempo, custo e qualidade.

Uma construção com preocupações com a sustentabilidade envolve vários processos e determina medidas que podem ser feitas por tempo integral ou compatibilizadas ao longo da construção, sendo necessário o controle dos processos e uma análise dos efeitos provocados. Essa preocupação vem muito antes do edifício tomar forma, vem da informação dos processos da extração e da fabricação do material a ser usado, até a construção. (BRAGA; ROCHETA, 2007).

De acordo com Chaves (2014) é necessário estudar e analisar diferentes tecnologias para poder construir de forma sustentável e, o autor destaca 6 áreas que possuem características originais do ambiente natural (Quadro 1).

ÁREA	NOME	DESCRIÇÃO
1	PLANEJAMENTO DO ESPAÇO SUSTENTÁVEL	Nesta fase é pesquisada as condições ambientais e climáticas da região para fazer as adaptações necessárias para uma construção sustentável, também é a fase da escolha do terreno e o local da construção, devendo mantê-lo longe de zonas úmidas, agrícolas e longe de córregos que possam estar contaminados
2	CONSERVAÇÃO DE MATERIAIS E RECURSOS	Em todas as fases de construção deve-se optar pela utilização de Materiais Verdes, que se tratam do reaproveitamento de materiais que de outra forma se perderiam, além de evitar o uso abusivo de matérias primas não renováveis na construção civil.
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	Conservação e economia de energia, geração da própria energia consumida por fontes renováveis, controle de emissões eletromagnéticas e controle do calor gerado no ambiente construído e no entorno.
4	USO RACIONAL DA ÁGUA	Os objetivos deste tópico consistem em reduzir e controlar o consumo de água fornecido pela concessionária 3ou obtido junto a fontes naturais (poços, poços artesianos, nascentes etc.); aproveitamento das fontes disponíveis; e aproveitamento das águas pluviais.
5	QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA	Este passo está relacionado às técnicas construtivas como: boa ventilação, iluminação natural, conforto térmico e acústico.
6	GESTÃO DOS RESÍDUOS DA EDIFICAÇÃO	Deve-se criar áreas para a disposição dos resíduos; reduzir a geração de resíduos; reduzir emissão de resíduos orgânicos para processamento pelo Poder Público ou concessionárias; e incentivar a reciclagem de resíduos secos ou úmidos.

**Quadro 1: 6 áreas para construir sustentavelmente. Fonte: Adaptado de Chaves (2014).**

### 3. Procedimentos metodológicos

Este trabalho tem uma abordagem quali-quantitativa, método exploratório e tipo de pesquisa bibliométrica.

Gatti (2002) afirma que a abordagem quali-quantitativa é aquela na qual a quantidade e qualidade não estão separadas, na medida em que de um lado a quantidade é uma forma com que um fenômeno se apresenta, e de outro lado ela precisa ser interpretada qualitativamente, pois sem relação a um referencial não tem significado em si.

A pesquisa exploratória tem como objetivo desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias. Este tipo de pesquisa é o que representa menor rigidez no planejamento, pois proporciona uma visão geral, do tipo aproximativo acerca de determinado fato. Geralmente se constitui na primeira etapa de uma investigação mais ampla (GIL, 2008).

Segundo Silva, Toledo Filho e Pinto (2009) uma pesquisa bibliométrica é uma ferramenta muito importante para medir a produção científica de um determinado assunto. Trata-se de um levantamento de atividades científicas de várias áreas do conhecimento, envolve uma busca detalhada em publicações, uma vez que o homem está em constante procura e apresenta novos conhecimentos, o que faz com que as informações se espalhem por todo o mundo. Esta pesquisa permite, através de análise estatística, quantificar produções científicas e técnicas.

As plataformas de pesquisa foram: Google acadêmico, Ebsco, Portal da CAPES e Scielo. A busca pelos artigos, análise e o filtro foi realizada durante a última semana de julho de 2018 no Portal da Capes; e todo o mês de agosto nas plataformas Ebsco, Google acadêmico e Scielo.

Como plano de coleta de dados, as etapas da pesquisa bibliográfica envolveram a busca de todos os artigos científicos publicados no eixo de construção sustentável de 2002 a 2018; verificação dos artigos que continham a expressão “construção sustentável” no título, no resumo ou nas palavras-chave.

Após essa fase de coleta de dados, a etapa seguinte foi a organização das informações obtidas. Para isso, contou-se com o auxílio do *software* Excel para a manipulação dos dados coletados, aonde foram relacionados: o título do artigo, autores, ano de publicação, a universidade de cada autor, sexo, números de autores por artigo, nome do periódico ou evento científico, palavras-chave, número de páginas do artigo, tipo de pesquisa, e abordagem da pesquisa. O *software* também foi usado para a confecção dos gráficos.

Foi pesquisado na Plataforma Lattes, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e na Plataforma Degóis, a formação dos autores que mais publicaram sobre o tema.

Para a construção da nuvem de palavras foi utilizada a ferramenta *Word Art* de forma a destacar visualmente a frequência com que as palavras aparecem em determinado contexto. Segundo Lunardi, Castro e Monat (2008, p. 23) as nuvens de palavras têm como objetivo “aumentar a compreensão comunicando informações contextuais através de variações na forma como os dados são visualizados, proporcionando a visualização de dimensões adicionais da informação de forma a tornar o contexto explícito”.

#### **4 Resultados e discussão**

Na Tabela 1 é apresentado o número de artigos encontrados nas plataformas de busca: Google acadêmico, Portal da CAPES, Scielo e Ebsco.

PLATAFORMA DE BUSCA	NÚMERO DE ARTIGOS	DIA DA PESQUISA
GOOGLE ACADÊMICO	5960	1 de agosto
PORTAL DA CAPES	64	30 de julho
SCIELO	3	9 de agosto
EBSCO	76	9 de agosto
<b>TOTAL</b>	<b>6103</b>	-

**Tabela 1: Números de artigos. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

Conforme observa-se na Tabela 1, foram encontrados 5960 resultados na plataforma do Google acadêmico, 64 no Portal da CAPES, 3 artigos na plataforma da Scielo e 76 resultados na Ebsco.

A Tabela 2 apresenta o número de artigos selecionados de cada uma das plataformas. É importante ressaltar que foram selecionados somente artigos científicos que continham como palavra-chave a “construção sustentável” e artigos que apresentavam uma abordagem específica dentro do tema.

PLATAFORMA DE BUSCA	NÚMERO DE ARTIGOS SELECIONADOS
GOOGLE ACADÊMICO	61
PORTAL DA CAPES	9
SCIELO	3
EBSCO	18
<b>TOTAL</b>	<b>91</b>

**Tabela 2: Artigos selecionados. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

Analisaram-se todos os resultados das plataformas, com exceção do Google acadêmico onde foram analisados 600 dos 5960 resultados, pois os resultados já não englobavam o tema proposto. Dos artigos científicos que possuíam a menção de “construção sustentável” foram selecionados 91 artigos, sendo 61 da plataforma Google acadêmico, 9 do Portal da capes, 3 da Scielo e 18 artigos da Ebsco (Tabela 2).

Na Tabela 3 é possível verificar a quantidade de artigos pelo número de autores.

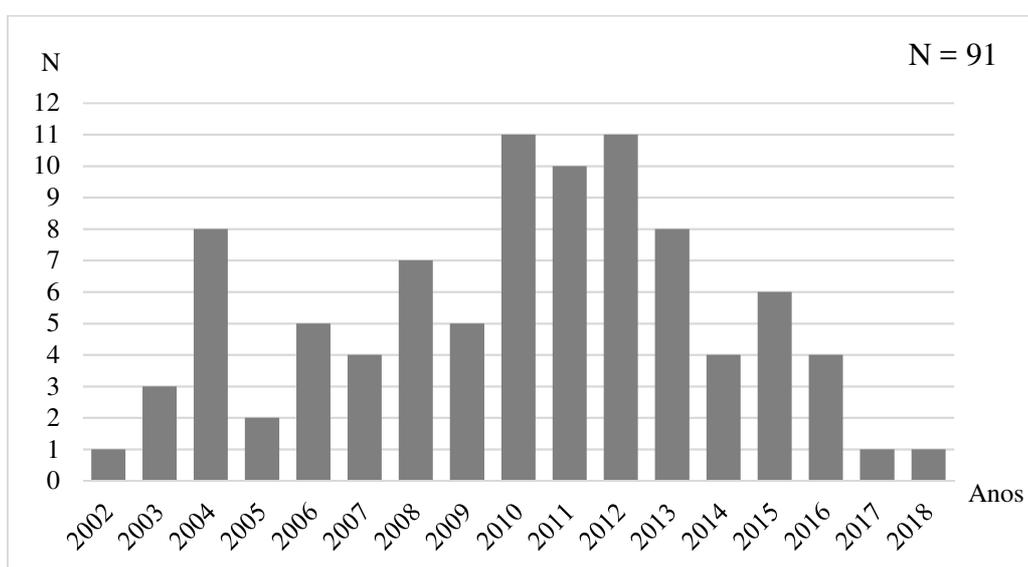
Nº DE AUTORES	Nº DE ARTIGOS	PORCENTAGEM
1	16	17,6 %
2	41	45,1 %
3	21	23,1 %
4	5	5,5 %
5	4	4,4 %
6	1	1,1 %

7	2	2,2 %
8	1	1,1 %
<b>TOTAL</b>	<b>91</b>	<b>100</b>

**Tabela 3: Quantidade de artigos por número de autores. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

Observa-se na Tabela 3 que a maior representatividade envolve a participação de 2 autores por artigo com 45% do total, enquanto o menor percentual foi de 1% com 6 e 8 autores. O restante contou com no mínimo um autor e no máximo sete autores por artigo.

O Gráfico 1 mostra o número de artigos selecionados durante os últimos 15 anos.



**Gráfico 1: Número de artigos por ano. Sendo N = número de artigos. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

Pode-se observar no Gráfico 1, que o maior número de artigos selecionados por ano foram os anos de 2010 e 2012, com 11 artigos cada um, e os anos de 2002, 2017 e 2018 com os menores números, sendo 1 artigo apenas em cada um dos anos.

O número total de autores que publicaram nos 91 artigos foi de 229, sendo que alguns deles se repetem. A Tabela 4 apresenta apenas os autores que mais publicaram sobre o tema, sendo desconsiderados os 194 autores que apareceram apenas uma vez.

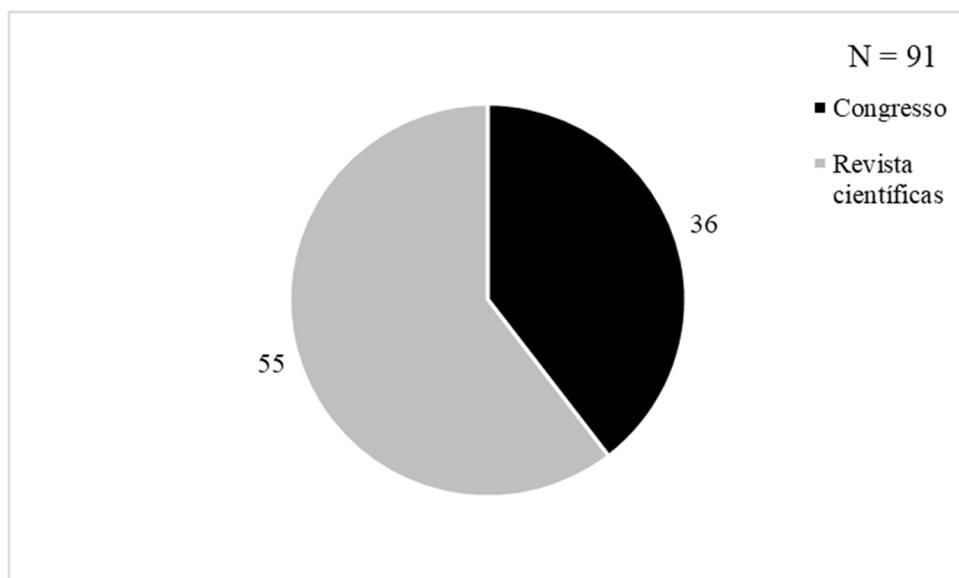
AUTORES	NÚMERO DE ARTIGOS QUE O(A) AUTOR(A) ESTAVA
Fernando Pacheco Torgal	6
Said Jalali	5
Luís Bragança	4
Oswaldo Luis Gonçalves Quelhas	3
Vanessa Gomes da Silva	3

Liamara Pasinato Istan	2
Ricardo Mateus	2
Samara Simon Christmann	2
Tarcisio Dorn de Oliveira	2
Vera Lúcia da Silva Rocheta	2
Carise Taciane Cecchetto	2
Leila Chagas Florim	2
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>

**Tabela 4: Autores que mais publicaram sobre o tema. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

Conforme mostra a Tabela 4 o autor que mais publicou sobre o tema foi Fernando Pacheco Torgal (6 artigos), seguindo por Said Jalali com 5 artigos, Luís Bragança com 4, Osvaldo Luis Gonçalves Quelhas e Vanessa Gomes da Silva estiveram em 3 artigos, posteriormente Liamara Pasinato Istan, Ricardo Mateus, Samara Simon Christmann, Tarcisio Dorn de Oliveira, Vera Lúcia da Silva Rocheta e Carise Taciane Cecchetto que estiveram 2 vezes entre os artigos.

O Gráfico 2 apresenta a origem dos artigos.



**Gráfico 2: Origem dos artigos. Sendo N = número de artigos. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

O Gráfico 2 mostra origem dos artigos científicos, sendo 55 artigos de revistas científicas e 36 de congressos. Segundo Japiassú (2013) os artigos científicos apresentados em congressos e revistas são um passo importante na divulgação da ciência e a melhor maneira de divulgar os resultados de uma pesquisa.

As Universidades foram relacionadas apenas uma vez por artigo. Foram encontradas 229 Universidades, pois cada autor pertence a uma Universidade. Foram encontradas 90 Universidades diferentes. Desconsiderou-se as 80 Universidades que apareceram apenas

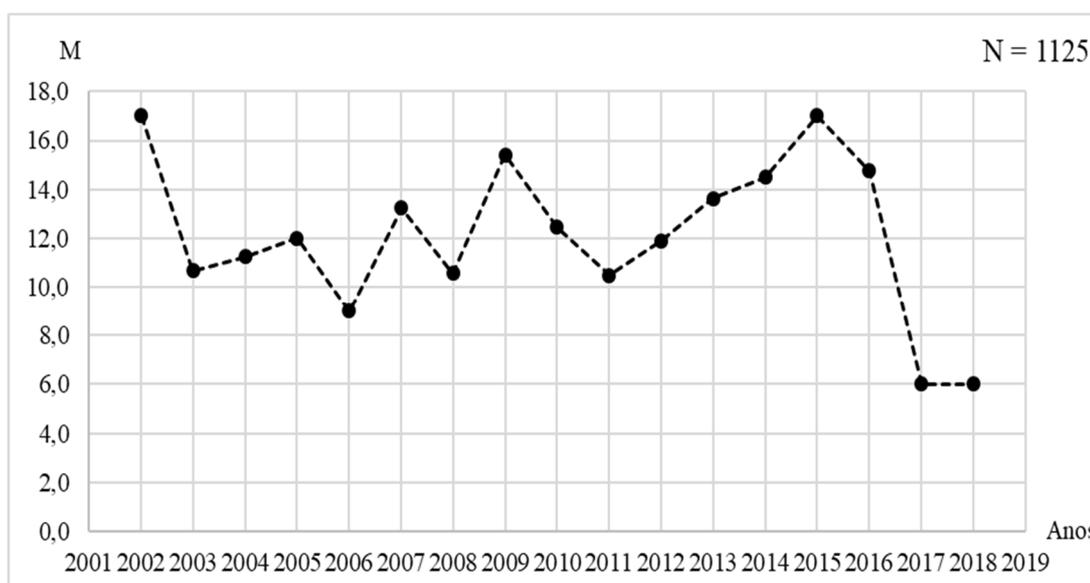
uma vez. Sendo assim, a Tabela 5 apresenta as Universidades que mais aparecem nos 91 artigos analisados.

UNIVERSIDADE	NÚMERO DE ARTIGOS
Universidade do Minho	16
Universidade do Porto	5
Universidade de São Paulo	5
Universidade Federal Fluminense	3
Universidade do Algarve	2
Universidade do Vale do Itajaí	2
Universidade Estadual de Campinas	2
Universidade Federal de Minas Gerais	2
Universidade Federal do Rio de Janeiro	2
Universidade Nova de Lisboa	2
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>

**Tabela 5: As principais Universidades. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**

A Universidade que mais se destacou foi a Universidade do Minho com 16 menções, seguida da Universidade do Porto e da Universidade de São Paulo, com 5 artigos cada uma, e da Universidade Federal Fluminense, Universidade do Algarve, Universidade do Vale do Itajaí, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Nova de Lisboa, com 2 menções cada uma (Tabela 5).

O Gráfico 3 apresenta a quantidade média de páginas dos artigos por ano.



**Gráfico 3: Média de páginas por ano. Fonte: Dados da pesquisa (2018).**



As palavras-chave geralmente são informadas de três a cinco por artigo. Todas as palavras-chave dos artigos selecionados foram colocadas na ferramenta *Word Art*, que tem a função de evidenciar a palavra que mais se destaca de uma maneira ilustrativa, como pode-se observar na Figura 4, as palavras-chave que mais se destacam foram construção sustentável e sustentabilidade.

## 5 Considerações finais

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar os trabalhos publicados sobre construção sustentável em três plataformas de busca de artigos científicos dos últimos 17 anos. Concluiu-se que o objetivo geral da pesquisa foi concluído através da obtenção dos dados dos artigos que foram publicados nos últimos anos nas plataformas Google acadêmico, Ebsco, Portal da CAPES e Scielo.

Foram propostos três objetivos específicos, sendo o primeiro verificar os principais autores que publicaram sobre o tema. Após a análise dos 91 artigos selecionados com o tema construção sustentável, os autores que mais se destacaram foram Fernando Pacheco Torgal, Said Jalali, e Luís Bragança. O segundo objetivo específico era identificar as universidades dos autores, tendo como base os artigos e os autores, procurou-se analisar o currículo de cada um para identificar as universidades que mais se destacaram, que foram Universidade do Minho, Universidade do Porto e Universidade de São Paulo. Quanto ao terceiro objetivo, que era destacar as principais palavras-chave dos artigos, ao usar a ferramenta *Word Art*, se constatou que as palavras que mais se destacaram foram construção sustentável, sustentabilidade, *construction* e *sustainable*.

Tem-se conhecimento que a construção civil é uma das principais atividades do homem que geram impacto no meio ambiente, desta maneira a cada ano que passa novas tecnologias e ideias surgem como modo de evitar que as construções sejam responsáveis pela desordem ambiental.

## Referências

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável**. 2006. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel\\_589](https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589)>. Acesso em: 08 set. 2018.

BRAGA, Alfredo; ROCHETA, Vera. A construção em terra e a sustentabilidade. In: SEMINÁRIO DE ARQUITECTURA EM TERRA EM PORTUGAL, 5, 2007, Aveiro. **Anais...** Aveiro, 2007. p. 1-8.

CHAVES, Helena de Oliveira. **Diretrizes sustentáveis na construção civil: avaliação do ciclo de vida**. 2014. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

EDWARDS, Brian. **O guia básico para a sustentabilidade**. 2. ed. Londres: RIBA Enterprises, 2005.

FLORIM, Leila Chagas; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. Gestão do projeto habitacional com foco em conceitos da construção sustentável. **Revista Vértices**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2005.

GATTI, Bernardete Angelina. **A construção da pesquisa em educação no Brasil**. Brasília: Plano Editora, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JAPIASSÚ, Andre Miguel. Como elaborar e submeter resumos de trabalhos científicos para congressos. **Revista Brasileira Terapia Intensiva**, v. 25, n. 2, p. 77-80, 2013.

LOPES, Tânia; AMADO, Miguel P.; POGG, Francesca. Construção sustentável: fase de concepção. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2012, Coimbra, Portugal, **Anais...** Portugal, 2012. p. 1-11.

LUNARDI, Márcia S.; CASTRO, José Muanis F. de; MONAT, André S. Visualização dos resultados do yahoo em nuvens de texto: uma aplicação construída a partir de web services. **InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação**, São Paulo, v. 5, n.1, p. 21-35, 2008.

PEREIRA, Patrícia. **Construção sustentável: o desafio**. 2009. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Fernando Pessoa, Portugal, 2009.

PINHEIRO, Manuel Duarte. Construção sustentável – mito ou realidade? In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DO AMBIENTE, 7, 2003, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2003. p. 1-10.

RAVELLI, Ana Paula Xavier; FERNANDES, Gisele Cristina Manfrini; BARBOS; Sayonara de Fátima Faria; SIMÃO, Eunice; SANTOS, Silvia Maria Azevedo dos; MEIRELLES, Bettina Horner Schlindwein. A produção do conhecimento em enfermagem e envelhecimento: estudo bibliométrico. **Texto Contexto Enferm.**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 506-512, 2009.

SANCHO, Rosa. Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología: revisión bibliográfica. **Revista española de documentación científica**, v. 13, n. 3-4, p. 77-106, 2002.

SILVA, Adriano José da.; TOLEDO FILHO, Jorge Ribeiro de; PINTO, Juliana. Análise Bibliométrica dos Artigos sobre Controladoria Publicados em Periódicos dos Programas de Pós-Graduação em Ciências Contábeis Recomendados pela Capes. **Revista A B Custos**, São Leopoldo, v. 4, n. 1, p. 36-52, jan./abr. 2009.

TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2. ed. Minho: TecMinho, 2010.

## **Análise da iluminação de uma sala de leitura/estudos de uma biblioteca universitária**

### *Analysis of the illumination of a reading room / studies of a university library*

**Leonardo Giardel Pазze, Estudante do curso de Engenharia Civil.**

E-mail: pazze.engcivil@gmail.com

**Andréia Balz, Estudante do curso de Engenharia Civil.**

E-mail: bzandrea@yahoo.com.br

**Bruna Thaís Liesenfeld, Estudante do curso de Engenharia Civil.**

E-mail: brunaliesenfeld@gmail.com

**Tenile Rieger Piovesan, Mestre em Arquitetura.**

E-mail: tenile.piovesan@unijui.edu.br

#### **Resumo**

Para um bom desempenho das atividades, ambientes de estudos devem ser bem iluminados seguindo requisitos da norma. Assim, esta pesquisa trata-se de um estudo de caso que visa analisar o desempenho lumínico de uma sala de leitura de uma biblioteca universitária. Medindo-se pontos com um luxímetro em todo perímetro da sala, observou-se que 45% dos pontos analisados encontram-se abaixo do mínimo deferido pela especificação técnica e 43% estão abaixo da média aritmética geral do ambiente. Assim percebe-se que o ambiente está em desacordo com a norma técnica, e que necessitariam incluir mais luminárias e materiais não reflexivos para a superfície das mesas.

**Palavras-chave:** Habitabilidade, Fluxo Luminoso, Universidade, Biblioteca

#### **Abstract**

*For a good performance of activities, study environments must be well lit following standard requirements. Thus, this research is a case study that aims to analyze the light performance of a reading room of a university library. By measuring points with a luximeter around the perimeter of the room, it was observed that 45% of the analyzed points are below the minimum deferred by the technical specification and 43% are below the general arithmetic mean of the environment. Thus it is perceived that the environment is in disagreement with the technical standard, and that would need to include more luminaires and non-reflective materials to the surface of the tables.*

**Keywords:** Habitability, Luminous Flux, University, Library

## 1. Introdução

As bibliotecas são espaços arquitetônicos que dependem de uma boa iluminação para a realização das atividades. Assim como salas de aulas e escritórios, as bibliotecas são locais onde as tarefas exercidas dependem do bom funcionamento do sistema visual, sendo necessário iluminação eficiente, confortável e saudável (SOUZA, 2010). Da mesma maneira as salas de pesquisa e leitura referem-se a ambientes destinados a permanência dos leitores, geralmente compostas de mesas com cadeiras ou cabines individuais, devem proporcionar condições adequadas para realização das atividades de escrita, pesquisa e leitura com conforto (PINTO, 2008).

Os sentidos humanos são protagonistas no estímulo à novas descobertas, como por exemplo o processo de aprendizagem vivenciado em espaços acadêmicos. Um local devidamente iluminado, além de externar reações em todos os sentidos, torna o ambiente agradável. Logo, sem sombra de dúvidas, a visão assume um fator primordial nesse contexto, devendo haver uma iluminação adequada afim de maximizar o desempenho intelectual (SILVA, 2013).

Conforme Pinto (2008), a principal atividade desenvolvida em uma biblioteca é a leitura e sem a presença de luz torna-se inviável. A combinação de luz natural com artificial pode ser utilizada, desde que atinja certos requisitos como: valor de iluminância adequado no plano de trabalho horizontal (mesas) e vertical (estantes); uniformidade a luz no ambiente e no plano de trabalho e ausência de contrastes excessivos. (PINTO 2008).

Segundo a NBR 8995-1 (ABNT, 2013) uma boa iluminação proporciona que os usuários se locomovam com segurança, desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto. O ambiente pode ser iluminado de forma natural, artificial ou uma combinação de ambas. É importante salientar que, para uma boa iluminação, precisa-se, além de quantidade, qualidade de iluminação.

Garrocho (2005) enfatiza ainda mais a importância da luz natural no ambiente, uma vez que há efeitos psicológicos positivos, expressidos através de um maior interesse pelo local. Dessa forma, devido as alterações frequentes na iluminação natural, como quantidade, cores e contrastes, decorrente dos efeitos ambientais e geográficos, torna o ambiente mais estimulante. Quanto mais estimulante, melhor o processo de aprendizagem (*apud* SILVA, 2013).

Em ambientes de trabalhos uma boa iluminação é mais que fornecer uma boa visualização da tarefa. É essencial que as tarefas, dentre elas a leitura e o estudo, sejam realizadas facilmente e com conforto. Deste modo, a iluminação deve satisfazer a aspectos quantitativos e qualitativos exigidos em função do tipo de ambiente, como: conforto, desempenho e segurança visual. Além de atender outros parâmetros como: distribuição da luminância, iluminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos da cor da luz e superfícies, cintilação, luz natural e manutenção. (NBR 8995-1, ABNT 2013).

Silva (2013) explica que a qualidade de iluminação pode ser classificada em três categorias:

- Iluminação ruim – quando o sistema de iluminação sofre defeitos de qualidade.
- Iluminação imparcial – quando o sistema de iluminação não tem defeitos de qualidade.

- Iluminação excelente – quando o sistema de iluminação está tecnicamente correto, sem defeitos, e estimula os sentidos do observador, atingindo o estado da arte.

A NBR 8995-1 (ABNT, 2013) explica que a distribuição da iluminância no campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos, o qual afeta a visibilidade da tarefa e o conforto visual. Já a Iluminância e sua distribuição nas áreas de trabalho e no entorno tem maior impacto em como um usuário percebe e realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. O ofuscamento é uma sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, pode ser desconfortável ou inabilitador. (ABNT 2013).

Quando o dimensionamento ou a distribuição do sistema de iluminação são realizados de maneira inadequada, pode haver prejuízo à saúde do usuário, como falta de atenção e até problema no desenvolvimento do ser humano sujeito a essa situação (KÜLLER e LINDSTEN, 1992).

Sob esse contexto, é necessário que esses espaços proporcionem condições adequadas de uso, logo, esta pesquisa visa analisar principalmente o fluxo luminoso da sala de leitura/estudo de uma biblioteca de uma biblioteca universitária, conforme a norma ABNT NBR 8995-1/2013.

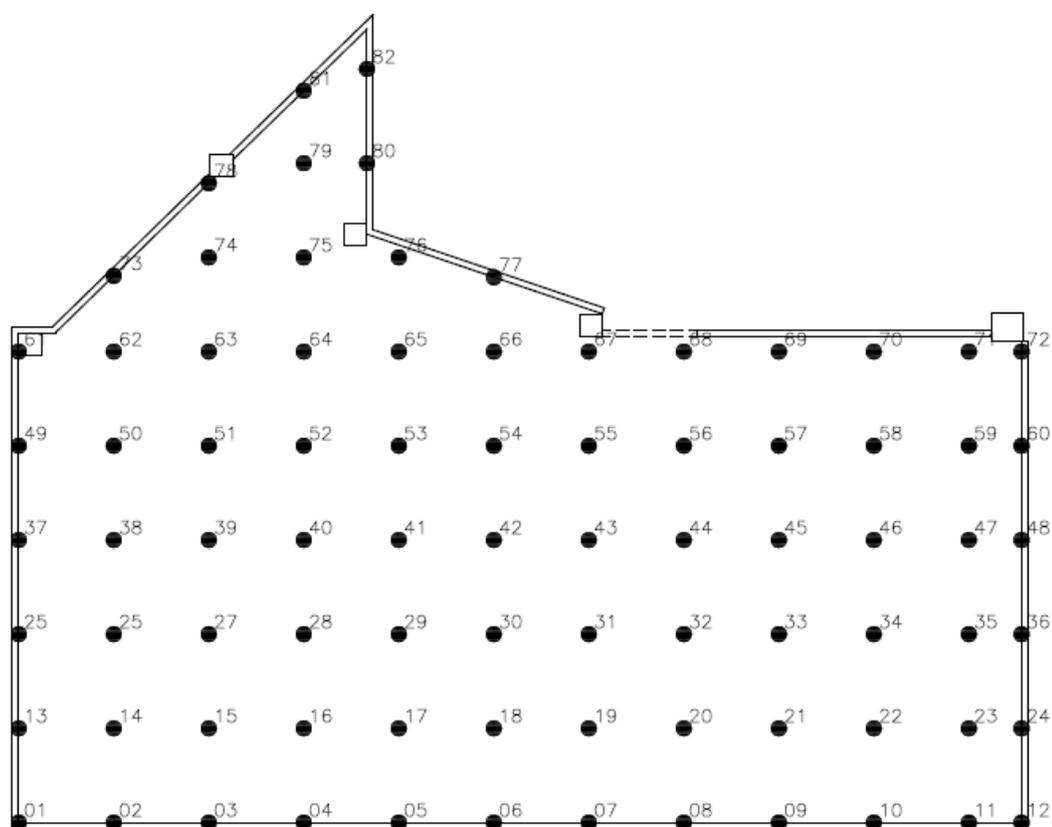
## 2 Metodologia

Tendo em vista a necessidade de um ambiente adequado ao procedimento da leitura e do estudo, essa pesquisa trata-se de um estudo de caso, no qual é avaliado, segundo a ABNT NBR 8995-1/2013, o fluxo luminoso da sala de leitura/estudo de uma biblioteca universitária.

Segundo a NBR 8995-1 (ABNT, 2013) uma sala de aula ou de leitura possui um arranjo flexível de mesas, sendo estas muitas vezes deslocadas pela sala inteira, assim deve-se considerar a sala inteira como faixa de trabalho, podendo desconsiderar apenas 0,5m das faixas marginais. Isso deve garantir uma uniformidade mínima de 0,7 para as mesas individuais. Assim realizou-se medidas nas faixas marginais da sala em estudo para garantir uma uniformidade em todo perímetro da sala.

De acordo com a NBR 5382 (ABNT, 1985) a verificação da iluminância de interiores em áreas retangulares, deve ser feita através da iluminância média proveniente da iluminação geral. E nos lugares de formatos variados deve-se executar as medidas de maneira em que formem retângulos.

O ambiente em averiguação é utilizado pelos acadêmicos para realização de trabalhos, grupos de leitura e estudos, sendo que muitas vezes a mesma chega a estar toda ocupada. Possui uma área de 145m<sup>2</sup> e, sua planta baixa, bem como os pontos de análise da luminosidade são apresentados na Figura 1.



**Figura 1 – Planta baixa da sala de leitura. Fonte: elaborado pelos autores.**

Com o intuito de analisar o desempenho lumínico, empregou-se a ABNT NBR 8995-1/2013, a qual determina os requisitos de iluminação para ambientes de trabalho. Para bibliotecas, em locais de leitura, a média indicada de fluxo luminoso é 500 a 1000 lux.

A coleta de dados foi realizada com o auxílio do equipamento denominado luxímetro, sendo que as aferições de fluxo lumínico foram orientadas por uma malha horizontal quadrada de 150cm (conforme apresentado na Figura 1). Quanto à altura da aferição, utilizou-se uma mesa comum ao ambiente, conforme sugestiona a norma. A mesma possui uma altura de 75cm, e o equipamento era posicionado sob a mesma para realizar a medição, conforme Figura 2.



**Figura 2 – Luxímetro sob a mesa. Fonte: elaborado pelos autores.**

### 3 Análise dos Resultados

Como mencionado pela bibliografia estudada, é de suma importância que os ambientes sejam bem iluminados, principalmente tratando-se de locais de estudo, como salas de aula e salas de leitura. Dessa forma, buscando então verificar problemas relatados por diversos estudante na sala de leitura desta universidade, inicialmente realizou-se através de análise visual a situação encontrada nesse ambiente. Essa informação pode ser observada nas fotografias apresentadas nas Figuras 3 e 4.



**Figura 3 – Sala de leitura. Fonte: elaborado pelos autores.**

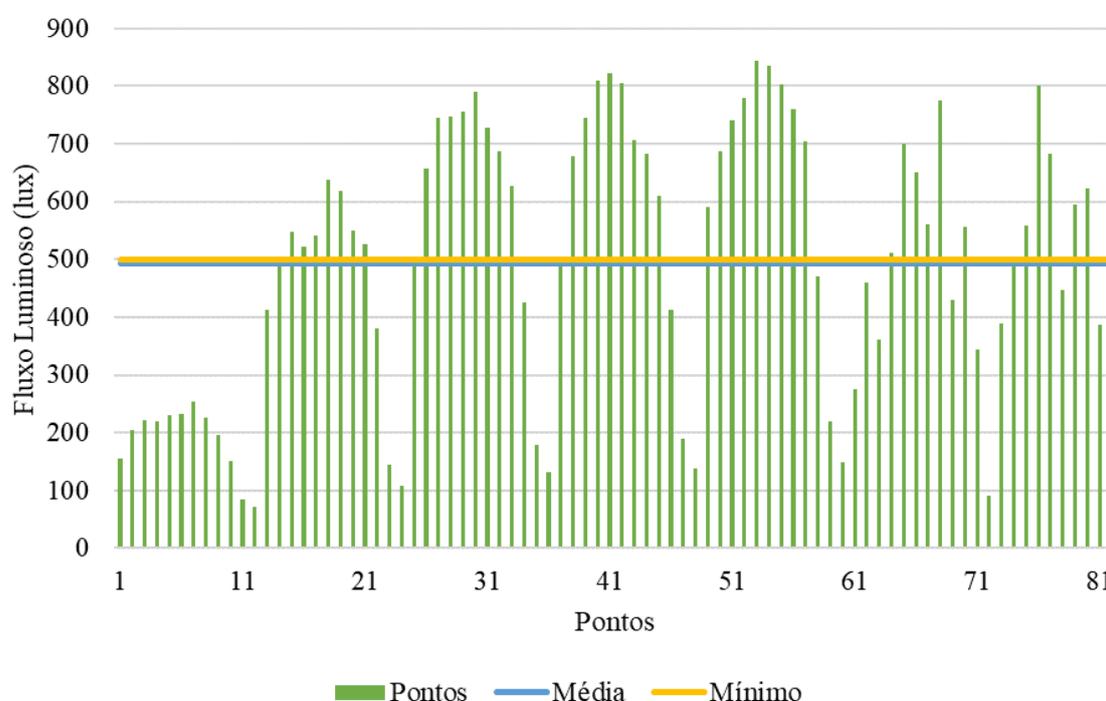


**Figura 4 – Sala de leitura. Fonte: elaborado pelos autores**

É fácil perceber a falta de iluminação em determinados pontos da sala de leitura. Além disso, nota-se também o instinto humano em estar em locais de melhor iluminação, uma vez que os estudantes afastavam-se das regiões mais escuras da sala, buscando utilizar as mesas mais bem iluminadas.

Nas Figuras 2, 3 e 4 pode-se observar que os materiais utilizados nas mesas ocasionam reflexos, o que pode causar o ofuscamento no usuário. Essa sensação visual é produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, sendo que, no caso desse estudo, trata-se de uma reflexão em superfícies especulares, conhecido também como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido (ABNT, 2013).

Para complementar a análise visual feita através da figura anterior, a Figura 5 apresenta os dados de levantamento de fluxo luminoso realizado no ambiente.

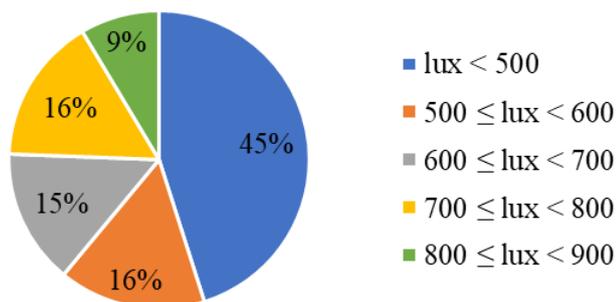


**Figura 5 – Fluxo luminoso nos diferentes pontos analisados. Fonte: elaborado pelo autores.**

Percebe-se que em diversos dos pontos analisados o fluxo luminoso encontra-se abaixo da mínima especificado pela normativa ABNT NBR 8995-1, que é de 500 lux para esse tipo de ambiente. Além disso, a média de fluxo luminoso é de 494 lux, valor esse, também abaixo da média mínima recomendada pela norma.

Ainda, nota-se que há uma distribuição de luminância no campo de visão muito variada e, portanto, segundo a NBR 8995-1 (ABNT, 2013) afeta o conforto visual, provocando ofuscamento quando muito alta, contrastes elevados causam fadiga visual devido a readaptação dos olhos e contrastes e luminâncias muito baixos tornam o ambiente sem estímulo e tedioso.

De forma complementar, a Figura 6 apresenta a distribuição da iluminação em algumas faixas analisadas.

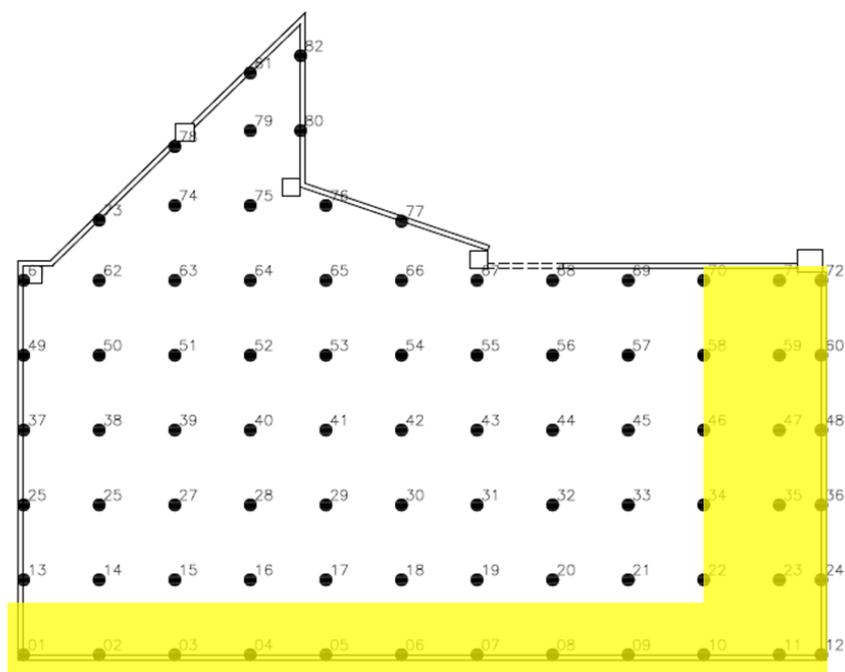


**Figura 6 – Percentual de iluminação. Fonte: elaborado pelos autores.**

Verifica-se ainda que 45% dos pontos analisados encontram-se abaixo do mínimo deferido pela especificação técnica e que 43% estão abaixo da média aritmética geral do ambiente. Também é possível afirmar que os menores valores de fluxo luminoso situam-se nas proximidades das paredes, local sem a presença de luminárias.

Outro fator observado no ambiente é a falta de luz natural que poderia fornecer parte ou toda a iluminação para a execução de tarefas visuais. Além de ser sustentável e gerar uma economia no consumo de energia, ainda segundo IWASHITA a luz natural é essencial para o ser humano, pois além de possibilitar a visão, tem impacto fundamental no bem-estar físico e mental. Ela propicia qualidade dinâmica ao espaço, o que a artificial é incapaz de fazer, por ser estática. Assim, a luz natural e artificial deve agir de forma integrada e harmônica nos ambientes.

Na Figura 7, a região demarcada em amarelo representa a zona com a menor qualidade de iluminação, a qual, na atual situação, dificulta sua utilização.



**Figura 7 – Planta baixa da sala de estudos. Fonte: elaborado pelos autores.**

A região amarela da parte inferior da Figura 6 fica situada próxima das janelas do local, contudo, as mesmas não fornecem iluminação natural ao ambiente em análise pois existe uma parede de divisória leve que separa as janelas do ambiente geral, conforme demonstrado na Figura 8.



**Figura 8 – Janelas do ambiente. Fonte: elaborado pelos autores.**

A remoção dessas divisórias leves não é viável, uma vez que deixa-se de ter os espaços reservados para estudo, além do oneroso trabalho necessário para isso. Por fim, buscando disponibilizar uma solução para tal problema encontrado nesse estudo de caso, verifica-se que para viabilizar modificações que atenda tanto quesitos técnicos, quanto econômicos, a melhor solução seria uma adequação no projeto luminotécnico, bem como nos móveis presentes no local.

A simples inclusão de mais luminárias nas regiões em amarelo apresentada na Figura 6 por si só já melhorariam a condição de iluminação local. Para fim de melhorar também a qualidade da iluminação, a aplicação de materiais não reflexivos as superfícies das mesas diminuiriam a sensação de ofuscamento.

#### **4 Conclusão**

O desenvolvimento do presente estudo, possibilitou o conhecimento da importância de uma boa iluminação no ambiente de estudo e de trabalho, sendo necessário a previsão da mesma em projetos.

Analisando dessa sala de leitura/estudo, verificou-se que a mesma além de não atender a normativa quanto ao fluxo luminoso médio do ambiente, também não atendeu em 45%

dos locais analisados, fato esse percebido pela falta de luminárias nesses locais. É importante mencionar que esse problema é relatado por diversos usuários do local.

Outro fator perceptível é o reflexo causado pelo material das mesas que causa ofuscamento aos usuários, assim, pode-se classificar a iluminação como ruim, afetando o desempenho dos ocupantes. Deste modo, vale ressaltar a importância de um estudo prévio para a elaboração de qualquer projeto de ambiente, principalmente nessas condições onde há a necessidade de concentração, fazendo-se necessário analisar o conjunto iluminação, materiais e distribuição dos móveis seja preexistente.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8995: Iluminação Para Ambientes de Trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5382: Verificação de Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1985.

IWASHITA, J.. Estudos de casos da iluminação Natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo. Cadernos Técnicos Aut, São Paulo, v. 6, p. 27-49, 1999.

KÜLLER, Rikard; LINDSTEN, Carin. Health and behaviour of children in classroom with and without windows. **Journal of Environmental Psychology**, v. 12, p. 305–317, 1992. Disponível em: [https://www-sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494405800799](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494405800799). Acesso em: 27 jan. 2019.

PINTO, Sandra Regina. Análise das Condições de Iluminação das Bibliotecas Públicas Municipais na Cidade de São Paulo: Diretrizes para um melhor aproveitamento da luz natural e redução do uso de iluminação artificial. 2008. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <<http://gg.gg/chn eb>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

SILVA, Camila Moreno de Camargo e. Importância da iluminação no ambiente escolar. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 1, n. 9, dez/2013. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=a-importancia-da-iluminacao-no-ambiente-escolar-516141814.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

SOUZA, Dennis Flores. Iluminação Natural e Artificial em Bibliotecas da UNICAMP: Diagnóstico e Recomendações. 2010. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. Disponível em: <<http://gg.gg/chned>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

SILVA, Camila Moreno de Camargo e. Importância da iluminação no ambiente escolar. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 1, n. 9, dez/2013. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=a-importancia-da-iluminacao-no-ambiente-escolar-516141814.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

## **Intervenções educativas com ensino lúdico geradoras de autonomia social e sustentabilidade ambiental em escolas da cidade de Campinas-SP**

### *Educational interventions with play teaching that generate social and environmental autonomy in schools in the city of Campinas-SP*

**Ana Claudia Mendes de Seixas, SEIXAS, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCAMP).**

acmseixas@gmail.com

**Giovanna Ramos Maccari, MACCARI, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCAMP).**

grmaccari@gmail.com

**Jaqueline Silva de Oliveira, OLIVEIRA, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCAMP).**

ajaqoliveira@gmail.com

### **Resumo**

A partir do contexto, desde o século XX com o desenvolvimento tecnológico e populacional, se começou a verificar que os recursos naturais são finitos, e isso trouxe consigo, a preocupação com o meio ambiente. Visando a mudança do indivíduo desde a infância, o presente trabalho busca, através de oficinas socioeducativas com crianças de 12 a 13 anos do Colégio de Aplicação Pio XII, a mudança de pensamento crítico das mesmas para uma melhor qualidade de vida. Nessas oficinas com ensino lúdico, foram elaborados materiais informativos e jogos educativos com o público-alvo, para uma melhor difusão das ideias e absorção do conhecimento. Dentre os materiais informativos e jogos estão cartilhas relacionadas com os temas compostagem, coleta seletiva, reciclagem de papel e resíduos eletrônicos e áreas degradadas. Portanto, o presente trabalho demonstra como a educação ambiental interligada a questões de meio ambiente e sociedade é de fundamental importância para a formação de um indivíduo consciente. Isso é comprovado a partir de resultados obtidos ao longo das oficinas, mudando o comportamento dos indivíduos.

**Palavras-chave:** Educação ambiental; Resíduos sólidos; Resíduos eletrônicos; Oficina socioeducativa.

## **Abstract**

*From the context since the twentieth century with technological and population development, began to verify that the natural resources are finite, and this brought with it, the concern with the environment. Aiming at the change of the individual from childhood, the present work seeks, through socio-educational workshops with children from 12 to 13 years of the Colégio de Aplicação Pio XII, to change their critical thinking towards a better quality of life. In these workshops with playful teaching, informative materials and educational games were developed with the target audience, for a better diffusion of ideas and absorption of knowledge. Among the informative materials and games are leaflets related to the themes of composting, selective collection, recycling of paper and electronic waste and degraded areas. Therefore, the present work demonstrates how environmental education interconnected with issues of environment and society is of fundamental importance for the formation of a conscious individual. This is proven from results obtained throughout the workshops, changing the behavior of individuals.*

**Keywords:** *Environmental education; Solid wastes; Electronic waste; Socio-educational office.*

## **1. Introdução**

Desde os primórdios da Revolução Industrial no século XVII, o homem relacionado com o desenvolvimento tecnológico vem consumindo uma grande quantidade de recursos naturais para a produção de bens de consumo em todo mundo. Com o passar dos anos, esses bens se tornaram essenciais para a vida do ser humano, intensificando assim o consumo e causando desequilíbrio no meio ambiente. Esse processo produtivo gera uma grande quantidade de material que, na maioria das vezes, são descartados de maneira incorreta no meio ambiente, os chamados resíduos sólidos.

Apenas no século seguinte, em meados de 1970, o mundo inicia a procura por soluções ambientais, visto que os recursos utilizados são finitos e afetam gravemente o meio. Uma das alternativas vistas para uma possível solução dos problemas foi a educação, buscando uma reversão do ambiente prejudicado a partir do desenvolvimento de um trabalho com conscientização e construção de valores e atitudes para uma transformação social.

Segundo Seiffert (2011), essa consciência acerca dos recursos naturais e seu possível esgotamento fez com que surgisse o conceito de desenvolvimento sustentável, que engloba dentre outros aspectos a questão dos resíduos sólidos e a preservação do meio ambiente.

Nesse contexto, em 1999 o Ministério do Meio Ambiente instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9795/1999, Art 1º), que se entendem por “processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.”

Visto que a educação ambiental é fundamental para o processo de formação do indivíduo, segundo Tozoni-Reis e Janke (2014, p. 115), a escola promove consciência dos educandos para compreensão e transformação da realidade, garantindo a transmissão ativa de conhecimento e cultura. Isso consiste numa prática social intencional, que proporciona aos indivíduos condições cognitivas para que, por meio de ações coletivas, busquem

superar o modelo de sociedade de consumo, visando mudanças na ordem estrutural de nossa sociedade e nas conseqüentes relações com a natureza.

Além disso, no Brasil, o primeiro grande passo do país no aspecto particular dos resíduos aconteceu apenas em 2010, com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305 de 2010) que é definida como: “um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”.

Com isso, se fez necessário a aplicação de educação ambiental em escolas do município de Campinas-SP a partir da introdução de temas ambientais e, dentre eles, a problemática dos resíduos sólidos urbanos e sua destinação adequada. Foram realizadas oficinas educativas semanais com âmbito ambiental no Colégio de Aplicação Pio XII localizado na cidade de Campinas com alunos do ensino fundamental séries finais, de 11 a 13 anos.

O objetivo deste trabalho foi realizar atividades lúdicas a partir da elaboração de materiais informativos e jogos educativos de âmbito ambiental, visando à conscientização dos alunos e transformação social dos mesmos, transmitindo o conhecimento para seu ciclo de relações, de acordo com o que é citado na definição de educação ambiental. Com isso, os participantes tiveram a possibilidade de mudar seu pensamento crítico acerca do meio ambiente em que vivem e o bem-estar do indivíduo na sua coletividade, com comportamento visando o próximo.

## 2. Metodologia

As práticas socioeducativas realizadas tiveram o intuito de transmitir conceitos básicos, atrair e incentivar o público-alvo acerca das questões ambientais. As atividades se iniciaram com a Pegada Ecológica, essa contabiliza a quantidade de planetas que cada indivíduo precisaria para continuar vivendo de acordo com seus hábitos, pode-se assim mostrar alternativas para a redução de cada pegada ecológica aguçando o senso crítico acerca do tema. A partir disso e discussões paralelas foram elaborados materiais informativos, visando mobilizar a comunidade estudantil.

A cartilha de Compostagem foi elaborada após a confecção de composteiras individuais, essas feitas por cada aluno participante a partir de garrafas PET que seriam descartadas e o composto feito com terra vegetal, resíduos orgânicos, serragem e água, com o intuito de reduzir os resíduos orgânicos. Essa, aborda a elaboração, manutenção e os processos necessários para uma decomposição eficiente e rápida.

Após a realização de oficinas sobre reutilização dos tipos de resíduos sólidos de forma criativa e útil, confeccionou-se a cartilha de Coleta Seletiva. O conteúdo abordado refere-se às cores e dicas para separação, além de como identificar cada material e os dias em que a coleta seletiva passa nos bairros de Campinas-SP, auxiliando o público-alvo no descarte e dias corretos.

Na cartilha de Reciclagem de Papel, demonstrou-se o passo a passo de como realizá-la de forma caseira, além de mostrar novas folhas de papel e objetos decorativos, incentivando a comunidade estudantil e as famílias a reduzir esse tipo de resíduo.

A partir de questionamentos e pesquisas no laboratório de informática do Colégio, foi elaborada a cartilha de Lixo Eletrônico, essa contém informações referentes aos metais pesados que compõem os resíduos eletrônicos, as cores para separação correta, exposições quanto a decomposição, impactos socioambientais e finalmente a destinação adequada.



**Figura 1: Capas das cartilhas elaboradas nos anos de 2016, 2017 e 2018 no Colégio de Aplicação Pio XII. Fonte: elaborado pelos autores.**

A releitura dos jogos também se deu a partir de pesquisas acerca dos temas abordados, além de proporcionar maior interação dos alunos na confecção dos mesmos, os jogos educativos propuseram a compreensão da problemática ambiental e a disseminação dessa ideia para pessoas ao entorno de sua convivência, sejam eles familiares ou amigos.

O jogo Quem Sou Eu e o Jogo da Memória tiveram as releituras voltadas aos resíduos sólidos. Com perguntas acerca dos resíduos, no “Quem Sou Eu” os alunos identificam os objetos, absorvendo o conhecimento acerca de cada material e descarte correto. A adaptação do jogo “Memória Consciente” se deu com o conceito da coleta seletiva, onde cada lixeira tem como par o resíduo correspondente.



**Figura 2: Releitura dos jogos Quem Sou Eu e da Memória. Fonte: elaborado pelos autores.**

A releitura dos jogos de tabuleiro Banco Imobiliário e Detetive se deu pela degradação de diversas áreas. O jogo “Banco Imobiliário” foi adaptado modificando os terrenos por estados brasileiros degradados por resíduos sólidos urbanos, precisando de recuperação, para isso, a cada compra de terrenos era necessário a implantação de fauna e/ou flora local. Já o “Detetive do Meio Ambiente” foi adaptado com áreas degradadas pelo descarte incorreto de resíduos eletrônicos, onde por meio de pistas descobre-se o crime, o poluidor, local e o agente poluidor conforme cartas do envelope confidencial, encontrando por fim soluções para o crime ambiental.

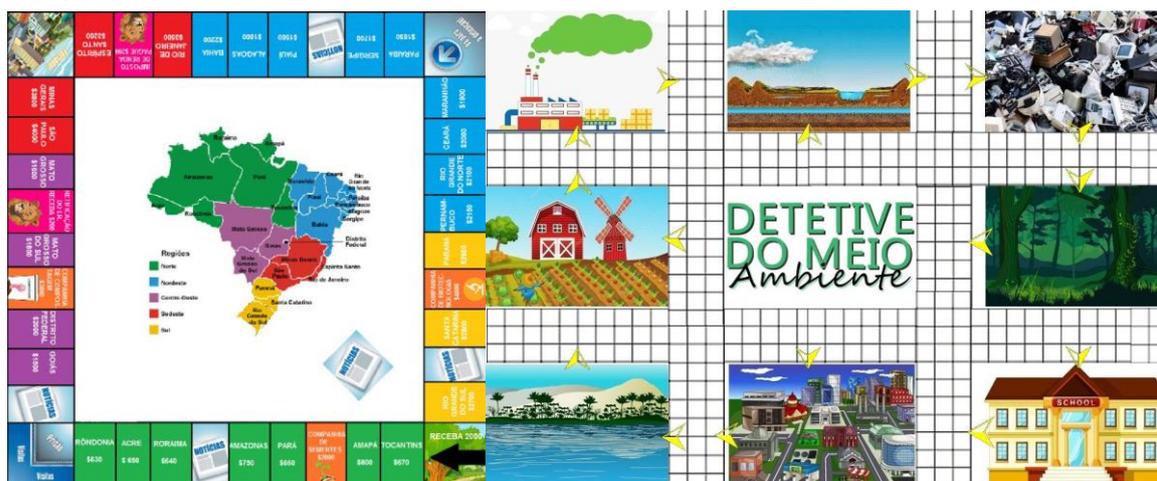


Figura 3: Releitura dos jogos Banco Imobiliário e Detetive. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3. Resultados e Discussão

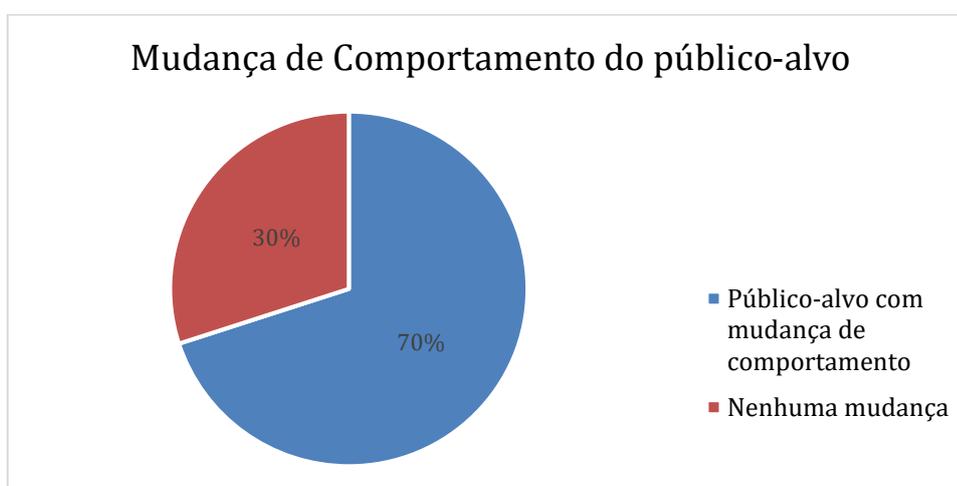
Inicialmente, procurou-se despertar a curiosidade do público-alvo envolvido e o interesse para as questões ambientais, incentivando-os a participar em grupos, onde há o compartilhamento de ideias e experiências. Além disso, as atividades socioeducativas vêm proporcionando aos alunos uma vivência complementar as da sala de aula, tornando assim, a Educação Ambiental fundamental para a formação do indivíduo crítico.

Devido à escassez de campanhas informativas quanto aos temas abordados, parte do público-alvo desconhecia os benefícios dos cuidados com o meio ambiente. Os materiais elaborados estão colaborando para a compreensão dos temas, desenvolvendo uma consciência ambiental e uma visão ampla de toda a problemática desde a infância. Os jogos têm possibilitado a aprendizagem de forma lúdica e prazerosa, uma vez que, a lógica desses confronta as experiências reais vividas, bem como, a disponibilização das cartilhas, que tem resultado na absorção de conhecimento e em um efeito multiplicador. Além disso, as oficinas realizadas fizeram com que o público-alvo desenvolvesse habilidades e reconhecessem as responsabilidades para com o meio ambiente.



**Figura 4: Alunos participantes do Projeto com jogos. Fonte: elaborado pelos autores.**

Nos três anos de projeto, o público-alvo envolvido tem demonstrado interesse em fazer mudanças significativas no seu comportamento em relação aos temas abordados, após a realização das oficinas foi feito um levantamento em relação à estas mudanças, onde 70% do público-alvo já está contribuindo com a redução dos resíduos gerados, como orgânicos, eletrônicos e os recicláveis, que seriam destinados aos aterros sanitários. Esses dados foram obtidos a partir de uma nova análise de consumo “Pegada Ecológica”, comparando o primeiro resultado dos alunos com o novo resultado obtido, foi possível identificar a diminuição de planetas necessários para viverem.



**Gráfico 1: Gráfico referente a mudança de comportamento do público-alvo a partir das oficinas no Colégio de Aplicação Pio XII. Fonte: elaborado pelos autores.**

A partir disso, fica evidente que as oficinas e os materiais informativos são adequados para estimular o desenvolvimento do pensamento e criticidade. O público-alvo, individualmente ou em grupo, enriqueceram suas relações com o meio ambiente, proporcionando a estimulação à transformação.

#### 4. Considerações Finais

A educação ambiental aplicada em sala de aula e para crianças é um caminho em busca de mudanças de atitudes que permitem ao aluno a construção de uma nova forma de entender o meio em que vive, estimulando a consciência sobre seus atos, a sustentabilidade e a cidadania.

Neste trabalho, houve a realização de diversas oficinas de produção de materiais informativos e de ensino lúdico, integrado com o contato humano e social para o desenvolvimento de aprendizagem nos alunos. Essa experiência proporcionou oportunidades de produzir conhecimento sobre educação ambiental na perspectiva do cuidado e promoção da vida.

Sendo assim, a educação ambiental é de extrema importância para a formação de um indivíduo consciente, pois ela potencializa uma educação transdisciplinar visando o bem-estar do coletivo e preservação do meio ambiente.

#### Agradecimentos

A Pró-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários da Pontifícia Universidade Católica de Campinas por todo apoio, que desde o primeiro momento viabilizaram e contribuíram para tornar realidade o Trabalho de Extensão. A Direção do Colégio de Aplicação Pio XII de Campinas (SP) que possibilitam e apoiam o presente trabalho de Extensão.

#### Referências

ARNALDO, M.P.; SANTANA, L.C. Políticas públicas de educação ambiental e processos de mediação em escolas de Ensino Fundamental. 2018. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132018000300599&lang=pt#B28](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132018000300599&lang=pt#B28)>. Acesso em: 28 janeiro de 2019

DEMOLY, K.R.A.; SANTOS, J.S.B. Learning, environmental education and school: ways of en-acting in the experience of students and teachers. 2018. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2018000100301&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2018000100301&lang=pt)>. Acesso em: 28 janeiro de 2019

GUIMARÃES, M. *Educação ambiental: participação para além dos muros da escola. Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola* / [Coordenação: Soraia Silva de Mello, Rachel Trajber]. – Brasília: Ministério da

Educação, Coordenação Geral de Educação Ambiental: Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Educação Ambiental: UNESCO, 2007.

LIMA, MARIA LUCIMAR MARANHÃO; SILVA, JOESITO BRILHANTE; LIMA, JOSÉ EDVALDO. *Manufatura Reversa e o Gerenciamento Adequado do Lixo Eletrônico*. In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, 9., 2008. Anais eletrônicos. Palmas: ABES, 2008. Disponível em: < <http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2011/02/09.pdf>> Acesso em: 28 de janeiro de 2019.

SEIFFERT, M. E. B. *Gestão Ambiental: Instrumentos, Esferas de Ação e Educação Ambiental*. São Paulo: Atlas, 2011.

SEIXAS, A. C. M. ; MACCARI, G. R. ; SANTOS, B. M. ; *Compostagem*. Campinas, SP: PUC-Campinas. 2016. 14p. Projeto de Extensão – Ações da Extensão Universitária Voltadas à Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, no prelo.

SEIXAS, A. C. M. ; Maccari, G. R. ; Santos, B. M. ;. *Coleta Seletiva*. 2016. Campinas, SP: PUC-Campinas. 19p. Projeto de Extensão: Ações da Extensão Universitária Voltadas à Gestão Integrada de Resíduos Sólidos; no prelo.

SEIXAS, A. C. M.; MACCARI, G. R.; OLIVEIRA, J. S.; VICTOR, J. O. *Lixo Eletrônico*. Campinas, SP: PUC-Campinas. 2018.13p. Projeto de Extensão: Ações da Extensão Universitária Voltadas à Gestão Integrada de Resíduos Eletrônicos, no prelo.

SEIXAS, A. C. M.; Maccari, G. R.; Santos, B. M.; Casella, G. C.; FILIPPONE, M. E. M. S. *Reciclagem de Papel*. Campinas, SP: PUC-Campinas. 2017.7p. Projeto de Extensão: Ações da Extensão Universitária Voltadas à Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, no prelo.

TOZONI-REIS, M. C. F.; JANKE, N. *Políticas públicas para a educação no Brasil: contribuições para compreender a inserção da educação ambiental na escola pública*. In: TOZONI-REIS, M. C. F.; MAIA, J. S. S. (Org.). **Educação ambiental a várias mãos: educação escolar, currículo e políticas públicas**. Araraquara: Junqueira & Marin, 2014. p. 110-124.

VILAÇA, F.A.; SIQUEIRA, A.C.; FRENEDOZO, R.C. *Concepções dos Docentes de Engenharia sobre Educação Ambiental*. Disponível em: <[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-75872018000100009&lang=pt#no](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872018000100009&lang=pt#no)>. Acesso em: 28 janeiro de 2019.

## Desafios sustentáveis

### *Sustainable challenges*

**Débora dos Santos, Mestre em Educação Científica e Tecnológica, Instituto Federal Catarinense**

debora.santos@fraiburgo.ifc.edu.br

#### **Resumo**

A Responsabilidade Socioambiental (RSA), preconizada nas orientações do Ministério do Meio Ambiente através da sua *Agenda Ambiental na Administração Pública* (sigla A3P), trata-se de um processo contínuo e progressivo de desenvolvimento de competências cidadãs para uma sustentabilidade no âmbito da administração pública. O objetivo do presente trabalho foi colocar em prática tais orientações através do desenvolvimento de duas oficinas de extensão com uso de materiais recicláveis voltados para o artesanato e para o ensino de ciências. Como conclusão, obteve-se ampla participação da comunidade externa e dos estudantes do IFC Fraiburgo (SC) em diversos modelos com os materiais gerados pelo Campus, promovendo o aspecto da conscientização sobre o reaproveitamento dos resíduos.

**Palavras-chave:** RSA; Reaproveitamento de resíduos; Artesanato; Ensino de ciências.

#### **Abstract**

*Social and Environmental Responsibility (SER), as recommended in the guidelines of the Ministry of the Environment through its Environmental Agenda in Public Administration (acronym A3P), is a continuous and progressive process of developing citizen skills for sustainability within the public administration. The aim of the present work was to put these guidelines into practice through the development of two extension workshops using recyclable materials aimed at crafts and science teaching. As a conclusion, the IFC Fraiburgo (SC) external community and students were broadly involved in various models with the materials generated by the Campus, promoting the aspect of awareness about the reuse of waste.*

**Keywords:** SER; Reuse of waste; Crafts; Science teaching.

## 1. Introdução

A face mais visível e incômoda da sociedade de consumo atualmente é a acumulação de montanhas de lixo todos os dias, um problema cada vez mais agudo para todas as cidades, inclusive a nossa. Os problemas relativos aos resíduos deveriam sempre estar na agenda de qualquer administrador, embora ainda não se tenha muito a ideia do que realmente fazer com tudo o que jogamos fora. Uma pequena fração do que se descarta, contudo, poderia estar sendo reaproveitada não só por uma questão de economia mas, principalmente, em nome da responsabilidade socioambiental com o lugar em que vivemos (GUIMARÃES, 2008).

A Responsabilidade Socioambiental (RSA), preconizada nas orientações do Ministério do Meio Ambiente através da sua *Agenda Ambiental na Administração Pública* (sigla A3P), trata-se de um processo contínuo e progressivo de desenvolvimento de competências cidadãs para uma sustentabilidade no âmbito da administração pública (MMA, 2009). O Núcleo de Gestão Ambiental (NGA) do Instituto Federal Catarinense (IFC) Campus Fraiburgo, através de sua Coordenadora, a prof.<sup>a</sup> Débora dos Santos, iniciou um projeto em 2015 com a perspectiva da RSA em benefício do meio ambiente, adotando medidas participativas da comunidade na redução de resíduos gerados no dia-a-dia, sobretudo os do próprio Campus em que atua.

A A3P foi fundada em 1999, seguindo as recomendações de três importantes referenciais debatidos mundialmente: a Agenda 21, os Princípios da Declaração Rio/92 e da Declaração de Johannesburgo. Os objetivos da A3P são, de modo resumido, estimular a reflexão e mudança de atitude de servidores, alunos e comunidade, para que os mesmos incorporem critérios de economicidade, redução de impactos socioambientais negativos, revisão dos padrões de produção e consumo, adoção de novos referenciais e melhoria da qualidade de vida, além, é claro, da adoção de critérios de gestão socioambiental nas atividades públicas (ALMEIDA, 2009).

A adoção de novos referenciais de sustentabilidade socioambiental no IFC Fraiburgo, conforme dispõe o Regulamento das Atividades do Núcleo de Gestão Ambiental do Instituto Federal Catarinense elaborado em 2014 (CONSUPER), por meio da execução de práticas que promovam a reciclagem de resíduos plásticos, papel, papelão, vidros, isopor e outros, paralelamente ao seu reaproveitamento como peça de artesanato ou material de apoio ao ensino de ciências, em um projeto aberto a servidores, alunos e comunidade, visou estimular a conscientização das pessoas para a problemática do lixo.

Cabe ressaltar que o IFC promove anualmente muitos e importantes eventos de ensino, extensão e pesquisa que auxiliam na divulgação de diversas ações as quais podem vislumbrar a temática ambiental. O propósito do NGA Fraiburgo em tratar a questão do reaproveitamento de resíduos consistiu em contribuir efetivamente para dois aspectos essenciais pertinentes à administração pública: a conscientização de servidores, alunos e comunidade sobre a reutilização dos resíduos do dia-a-dia por meio de oficinas de reciclagem; e a estimulação das pessoas para transformar o que seria resíduo em algo útil para elas, como um material que auxilie no ensino dos alunos ou uma peça de artesanato, adorno, brinquedos ou outros utilitários que possam servir para a casa ou para a própria Instituição.

O plano de fundo deste trabalho ensejou as ações decorrentes da política dos 5 R's: Repensar, Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Recusar consumir produtos que gerem impactos socioambientais significativos. Dentre os eixos temáticos que compreendem as orientações da A3P, especificamente a conscientização sobre a gestão de resíduos por meio da reutilização passa necessariamente por todas estas cinco ações. Como cita a própria A3P “*o grande desafio está em transformar discurso em prática e intenção em compromisso*”. Neste sentido, o NGA Fraiburgo entende que uma ação de RSA demandava cooperação e união de esforços em torno de causas significativas e inadiáveis como ora propôs o projeto “Desafios sustentáveis”.

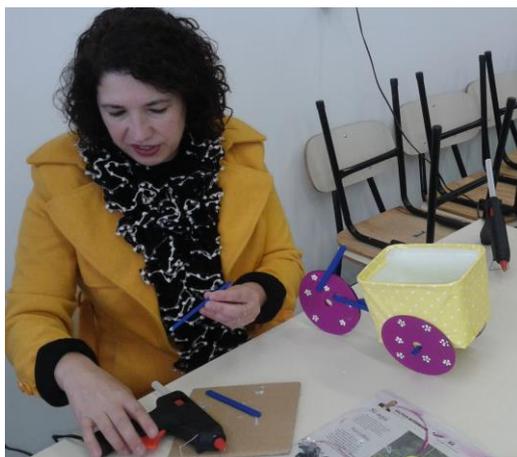
## 2. Execução do projeto *Desafios sustentáveis*

Em 2015, com o ingresso das primeiras turmas do ensino médio integrado ao curso de Informática no IFC de Fraiburgo, surgiu a ideia de fazer um projeto com os alunos interessados em trabalhar com garrafas PET, vidros e outros resíduos facilmente gerados no Campus, visando dar conhecimento e maior envolvimento deste público com as ações do NGA Fraiburgo. E como isto ocorreu na prática? A partir do referido ano, foram oferecidas à comunidade externa e interna ao IFC Fraiburgo oficinas onde foram trabalhados diversos materiais agregados ao potencial criativo dos participantes, elaborando-se novas utilidades para estes resíduos, tanto como artesanato quanto para apoio ao ensino de ciências.

As fotos tiradas das oficinas e dos materiais gerados pelos participantes são mostradas a seguir e ilustram apenas uma pequena porção de um universo de possibilidades.



**Figura 1: Modelos de ensino de ciências (biologia e química). Fonte: elaborada pela autora.**



**Figura 2: Artesanato com plástico, palitos e CDs. Fonte: elaborada pela autora.**



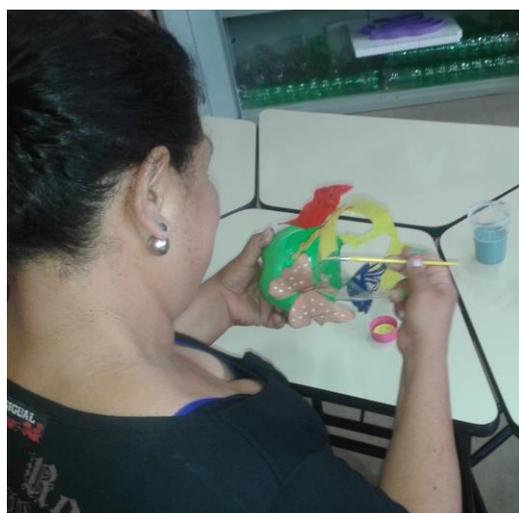
**Figura 3: Artesanato com isopor, papelão e jornais. Fonte: elaborada pela autora.**



**Figura 4: Flores de lótus feitas somente com garrafas PET. Fonte: elaborada pela autora.**



**Figura 5: Decoração em bandejas de isopor. Fonte: elaborada pela autora.**



**Figura 6: Decoração em garrafa PET. Fonte: elaborada pela autora.**



**Figura 7: Artesanato com potes plásticos e latas de sardinha. Fonte: elaborada pela autora.**



**Figura 8: Vidros decorados usados na área de entretenimentos do IFC. Fonte: elaborada pela autora.**

Como se pode observar pelos trabalhos desenvolvidos nas oficinas, houve um estímulo a questão do reaproveitamento dos resíduos e saíram ótimos trabalhos ao final.

A imaginação criadora como possibilidade na transformação das relações do ser humano, enquanto sujeito de seu contexto socioambiental, mediada pela ação direta com a problemática do lixo, podem conscientizar as pessoas e promover a sustentabilidade de seu meio. Na execução deste projeto, cerca de trinta e cinco pessoas se beneficiaram diretamente e outras muitas indiretamente, uma vez que, grande parte dos participantes eram professores de outras escolas, capacitando-se para o seu trabalho.

À guisa de conclusão, pode-se dizer que as orientações da A3P para uma efetiva RSA no IFC Fraiburgo foram concretizadas, promovendo-se o aspecto da conscientização sobre o reaproveitamento dos resíduos.

## Referências

ALMEIDA, A.C.L. et al. Como implantar a A3P. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: <<http://ifc.edu.br/wp-content/uploads/2014/05/Como-Implantar-a-A3P-2a-edicao.pdf>> Acesso em: 06 mai. 2015.

CONSUPER. Dispõe sobre o Regulamento das Atividades do Núcleo de Gestão Ambiental do Instituto Federal Catarinense. Resolução nº 06, de 19 de março de 2014. Instituto Federal Catarinense.

GUIMARÃES, Jean R.D. A face invisível do lixo. Revista Ciência Hoje. 2008. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/terra-em-transe/a-face-invisivel-do-lixo/?searchterm=a%20face%20invis%C3%ADvel%20do%20lixo>> Acesso em: 06 mai. 2015.

MMA. SAIC, DCRS, Comissão Gestora da A3P. Agenda Ambiental na Administração Pública. 5. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

## **Estudo de solo laterítico para aplicação em habitação rural para população de baixa renda através da técnica de bloco prensado**

### *Lateritic soil study for application in rural housing for low-income population through the pressed block technique*

**Camila Larrosa de Oliveira, graduação em engenharia civil.**

camila.larrosa@yahoo.com.br

**Cezar Augusto Burkert Bastos, doutorado em engenharia civil.**

cezARBastos@furg.br

#### **Resumo**

O uso da terra crua como material de construção ressurgiu como alternativa tanto de construções com menor impacto ambiental, quanto para redução do déficit habitacional brasileiro. O presente trabalho tem os objetivos de avaliar a potencialidade da argila laterítica encontrada na região do Capão do Leão (RS) como material de construção, através de ensaios de caracterização geotécnica, ensaios da metodologia MCT e outros expeditos - comumente empregados na prática da construção com terra, a produção de blocos com o solo prensado, testes de resistência à compressão e absorção de água dos mesmos. Bem como avaliar a viabilidade de projeto estrutural utilizando estes blocos em uma habitação rural para população de baixa renda, em alvenaria estrutural, através do dimensionamento das paredes da habitação pelo método das paredes isoladas. Concluiu-se que o bloco é apto como material de construção, respeitando as condições de resistência à compressão estabelecida para blocos de solo-cimento e resistindo em média mais do que as cargas solicitadas pela edificação.

**Palavras-chave:** Construção com terra; Bloco prensado; Solo laterítico.

#### **Abstract**

*The use of raw soil as a construction material reappears as an alternative to constructions with less environmental impact, as well as to reduce the Brazilian housing deficit. The present work has the objectives of evaluating the potentiality of lateritic clay found in the Capão do Leão (RS) region as a construction material, through geotechnical characterization tests, MCT and other expedited tests - commonly used in the practice of soil construction, the production of blocks with the pressed soil, tests of resistance to compression and their water absorption. As well as evaluating the feasibility of structural design using these blocks in a rural housing for low income population, in structural masonry, through the walls design of the house by the method of the isolated walls. It was concluded that the block is suitable as a building material, respecting the conditions of compression resistance*

*established for soil-cement blocks and resisting, on average, more than the loads requested by the building*

**Keywords:** *Soil construction; Pressed block; Lateritic soil.*

## 1. Introdução e justificativa

A terra é um material em abundância no planeta, suas técnicas de construção são conhecidas há mais de 9000 anos. Existem construções de terra com mais de 3000 anos ainda de pé: a Alemanha possui um edifício de taipa com 7 andares datado de 1828; na América do Sul encontram-se construções de adobe em quase todas as culturas pré-colombianas; no Brasil existem igrejas e propriedades privadas de taipa com mais de 300 anos (MINKE, 2015).

Não há como negar o papel histórico da terra como material de construção, tampouco duvidar das suas boas condições estruturais e de durabilidade, apesar da falta de normas específicas que definam um padrão de qualidade dos materiais para esse tipo de arquitetura e construção. Contudo, pós revolução industrial, o uso da terra sofreu um declive e a evolução tecnológica relativa a esse tipo de construção foi praticamente interrompida, consequência do surgimento de novas tecnologias construtivas e de novos materiais industrializados, como o cimento e o aço.

No entanto, como afirma Barreto (2013), a habilidade de construir com terra não se perdeu, cultural e tradicionalmente, em diversos países do mundo, alimentando a construção informal. O resultado desses fatos é a associação do uso da terra como material construtivo principalmente à pobreza, ao atraso tecnológico e ao surgimento de doenças.

No Brasil, segundo dados do Ministério da Saúde (2015) apud Santos (2015), quase metade das casas de taipa registradas não eram revestidas com reboco ou emboço, o que promove o aninhamento de insetos nas paredes e a consequente proliferação de doenças, como o Mal de Chagas, transmitida pelo inseto popularmente conhecido como barbeiro. Este fato comprometeu ainda mais a imagem da terra como material de construção, até por não se entender que o problema não é o material utilizado, e sim a o emprego inadequado das técnicas de construção com o mesmo.

Apesar da marginalização e injusta competição com materiais industrializados, a terra como material de construção possui vantagens, como as apontadas por Barreto (2013): é um material barato e em abundância, não poluente, resistente ao fogo, apresenta bons desempenhos térmico e acústico, gera baixa quantidade de detritos derivados da execução, suas técnicas construtivas são de fácil aprendizado e baixo custo, se utiliza de ferramentas simples, permite a preservação do patrimônio cultural existente, baixo consumo de energia e é um material reciclável.

Diante desses benefícios, a utilização de técnicas de construção com terra torna-se uma opção viável ao combate do déficit habitacional, visto que os sistemas construtivos atuais têm se mostrados incapazes de sana-lo. Minke (2015) afirma que “nos países em desenvolvimento, as necessidades de moradia só podem ser atendidas com a utilização de materiais de construção locais e técnicas de autoconstrução”. Kennedy (2009) também corrobora com essa opinião afirmando que “a maneira mais eficiente de oferecer casas confortáveis e baratas é fazer o uso de materiais de baixo custo disponíveis localmente”.

Ademais, a exploração de técnicas de menor consumo energético e impacto ambiental é imprescindível no cenário atual, visto os comprovados impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil. Dados do CIB & Unep-IETC (2002) apud Sattler (2004) apontam que o ambiente construído por meio das atividades exercidas pela indústria da construção, absorve em torno de 50% de todos os recursos extraídos da crosta terrestre e consome entre 40 e 50% da energia consumida em cada país. Por conseguinte, buscam-se alternativas que mitiguem esses impactos, como o resgate da construção com terra crua, evitando o uso excessivo de materiais industrializados.

Dentre as técnicas de construção existentes com terra, destaca-se nesse trabalho o uso de blocos de terra crua prensada, uma derivação da técnica milenar adobe – blocos de terra não prensados, confeccionados em fôrmas geralmente de madeira. Visto que é de fácil analogia às construções de alvenaria convencionais e aos blocos de solo-cimento, normatizados no Brasil.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Amostragem e caracterização do solo

O solo em estudo foi amostrado em jazida (Figura 1) sobre a exploração da saibreira Barcellos, no município de Capão do Leão, comercializado pelo nome de “argila vermelha”. Conforme descrito em Bastos (2004), trata-se de um solo argilo-arenoso avermelhado, laterítico, plástico e de baixa atividade coloidal, com capacidade de suporte elevada (com baixa perda deste suporte com a imersão), baixa expansão, média a elevada contração e baixa permeabilidade, satisfazendo as prerrogativas da terra como material de construção.

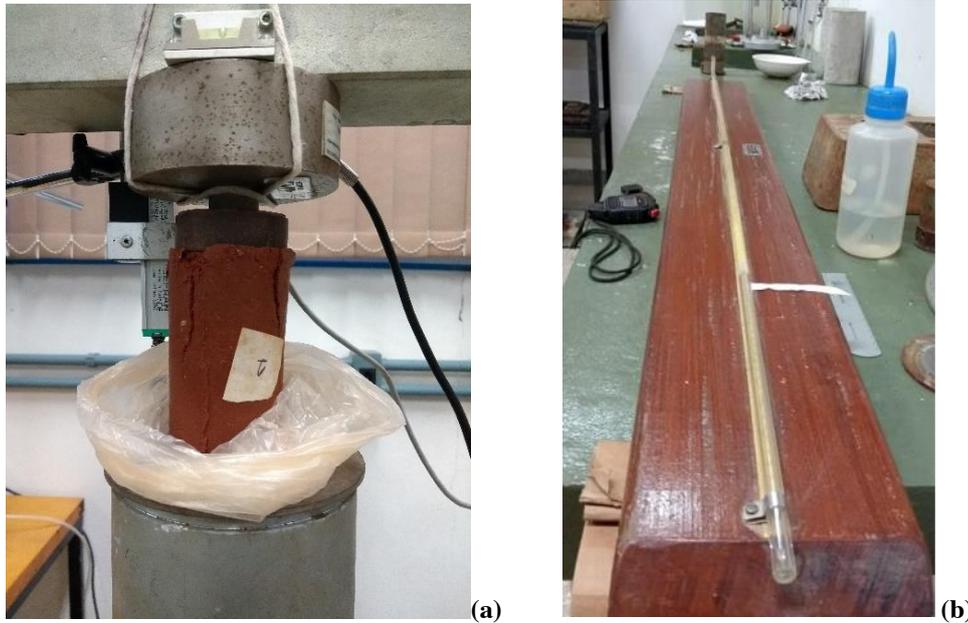


**Figura 1: Jazida de argila laterítica. Fonte: Bastos et al. (2007).**

A caracterização do material foi feita através da sua análise granulométrica, determinação dos limites de Atterberg, classificação do solo quanto à plasticidade, à atividade coloidal, e por sistemas de classificação geotécnica, incluindo a metodologia MCT, de acordo com as normas usuais para caracterização geotécnica. Também foram realizados os ensaios de compactação, ensaios de compressão simples (figura 2(a)) e ensaios complementares pela

metodologia MCT (infiltrabilidade – Figura 2(b) - e contração), a partir de corpos de prova (CPs) cilíndricos.

Além desses, foram realizados alguns ensaios expeditos comumente empregados para caracterizar o solo na construção com terra, sugeridos por Neves et al. (2009): teste da queda da bola, teste do cordão, teste da resistência a seco e teste do vidro.



**Figura 2: (a) Resistência à compressão simples de CPs cilíndricos e (b) Ensaio de infiltrabilidade.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2.2. Produção e caracterização dos blocos

Os blocos de terra foram confeccionados a partir de 3,5 kg de solo destorroado, na umidade ( $w$ ) sugerida por Minke (2015) de  $1,1 \times w_{ótima}$ , prensado em prensa manual modular para tijolos 12,5 cm x 25 cm, da marca Sahara (Figura 3). Foram secos à sombra por mais de 30 dias, em local com boa circulação de ar (Figura 4).



**Figura 3: Prensa manual. Fonte: Elaborado pelos autores.**



**Figura 4: Primeiros blocos produzidos, secando ao ar livre. Fonte: Elaborado pelos autores.**

Como os blocos de terra prensada ainda não são normatizados no Brasil, para sua caracterização foram realizados dois tipos de ensaios de acordo com a NBR 10834/1994: de resistência à compressão e de absorção de água. Estes ensaios aferem as condições exigidas para blocos vazados de solo-cimento comuns, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.

O ensaio de resistência à compressão (Figura 5) foi realizado com 6 amostras secas ao ar por mais de 30 dias e 3 amostras secas ao ar por apenas 72h – estas últimas com o intuito de avaliar as condições de execução de obras de forma praticamente concomitante à produção dos blocos. Para o ensaio de absorção de água, separou-se 3 amostras secas ao ar.



**Figura 5: Máquina para ensaio de compressão, da marca EMIC. Fonte: Elaborado pelos autores.**

### **2.3. Projeto de habitação rural para população de baixa renda em alvenaria estrutural utilizando os blocos de terra crua prensada**

O dimensionamento das paredes da habitação, na ausência de norma específica para este tipo de material, foi realizado de acordo com a norma NBR 15812-1/2010 para blocos

cerâmicos e nos exemplos de Parsekian e Soares (2010), conferindo se o bloco produzido com terra crua prensada resiste aos esforços atuantes, possibilitando seu uso. Para tal, foram realizadas análise de modulações das paredes, distribuição das ações verticais através do método das paredes isoladas e dimensionamento à compressão simples.

A Figura 6 apresenta um croqui da planta baixa do projeto arquitetônico da residência, pensada de acordo com a modulação dos blocos e de maneira que as paredes no sentido vertical do croqui apoiem as tesouras que sustentarão as telhas cerâmicas.

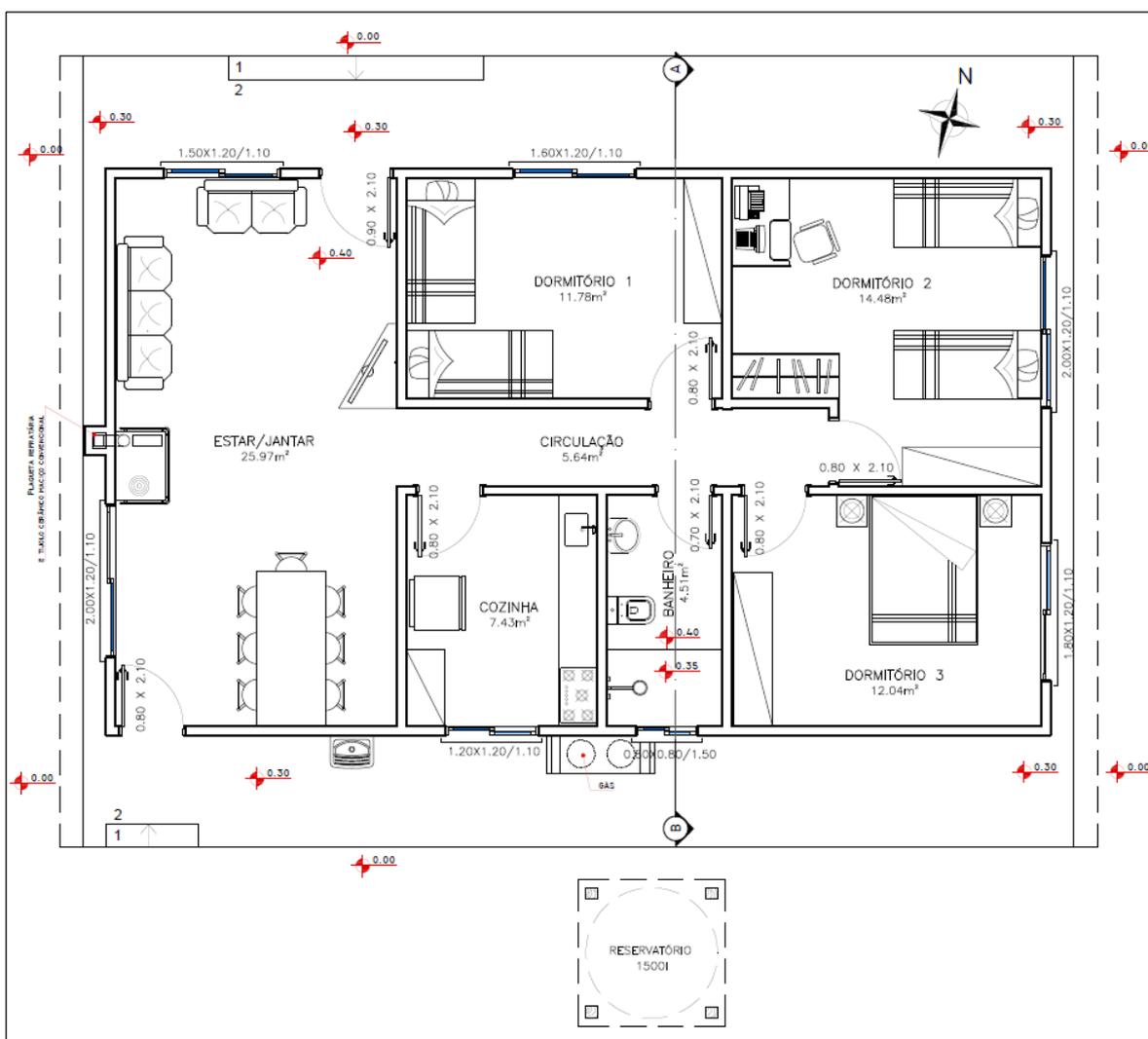
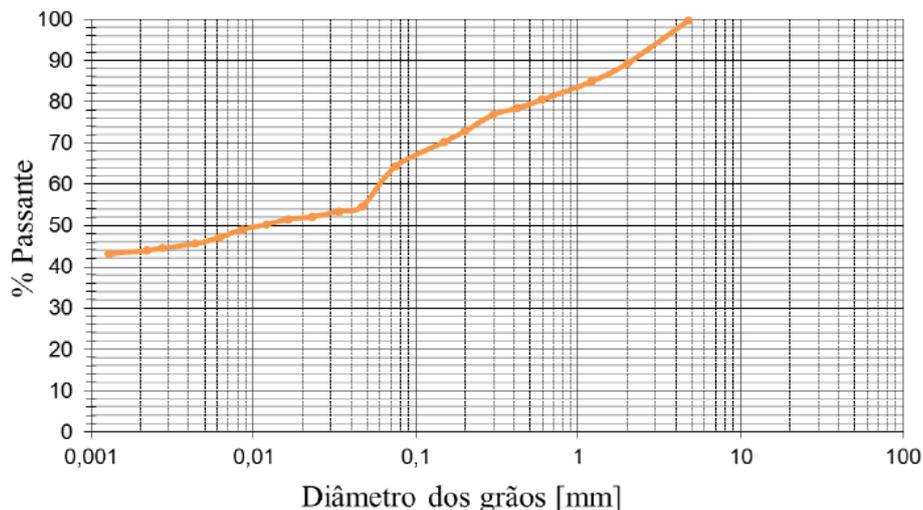


Figura 6: Croqui da planta baixa. Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3. Resultados e discussões

O solo estudado, segundo a classificação pedológica da região, trata-se de um Argissolo Vermelho Amarelo, um solo areno-argiloso de propriedades lateríticas, do horizonte B, com características plásticas e boa compactação. Sua classificação geotécnica, de acordo com a granulometria (Figura 7), indicou ser uma argila arenosa de granulometria desuniforme, apresenta limite de liquidez de 37% e limite de plasticidade de 31%, portanto é um solo

fracamente plástico e inativo - indicação de argila 1:1, caulinita, não expansiva. Já pela classificação MCT para solos tropicais, foi classificado como LG' (argila laterítica).



**Figura 7: Curva granulométrica. Fonte: Elaborado pelos autores.**

As propriedades obtidas por ensaios feitos a partir de corpos de prova com o material elaborados conforme a Metodologia MCT, segundo a classificação apresentada em Nogami e Villibor (1995) para pavimentos, indicaram contração axial de média a elevada (Quadro 1) e infiltrabilidade aumentando com a secagem (baixa para corpos de prova ainda úmidos e média para secos – Quadro 2). A resistência à compressão simples aumentou com a secagem: em média 0,35 MPa para corpos de prova secos ao ar livre por 72 h e 1,03 MPa para corpos de provas secos ao ar (Quadro 3).

Amostra	Hf [mm]	H0 [mm]	Contração [%]	Classificação
CP1	49,03	50,40	2,72	Média
CP2	48,63	50,37	3,45	Elevada
CP3	48,77	50,50	3,43	Elevada

**Quadro 1: Contração axial. Fonte: Elaborado pelos autores.**

Secagem ao ar	Amostra	Coefficiente de sorção [cm/ $\sqrt{\text{min}}$ ]	Classificação
72h	CP1	-2,89	baixo
	CP2	-3,30	baixo
	CP3	-2,41	baixo
Seco	CP4	-1,69	médio
	CP5	-1,77	médio
	CP6	-1,82	médio

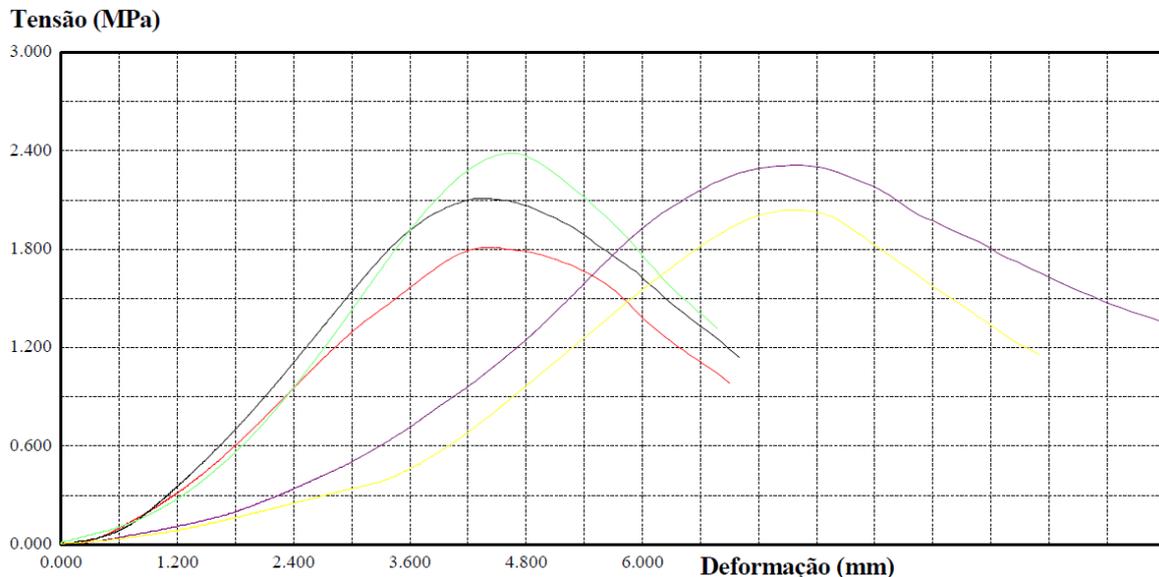
**Quadro 2: Infiltrabilidade. Fonte: Elaborado pelos autores.**

Secagem ao ar	Amostra	RCS [MPa]
72h	CP1	0,029
	CP2	0,033
	CP3	0,043
Seco	CP1	0,089
	CP2	0,092
	CP3	0,127

**Quadro 3: Resistência à compressão simples de CPs. Fonte: Elaborado pelos autores.**

Segundo os ensaios expeditos empregados na construção com terra, o solo foi classificado como argiloso, inorgânico e de alta plasticidade. Ou seja, um solo com potencial para esse tipo de construção, sendo recomendado um aperfeiçoamento de sua distribuição granulométrica, segundo a bibliografia, com a redução de conteúdo de argila através de adições de agregados grossos, como areia.

A resistência à compressão simples para blocos secos ao ar livre resultou em média 2,134 MPa e a menor resistência individual foi de 1,814 MPa (Figura 8) - o que respeita as condições de resistência estabelecida para blocos de solo-cimento. Já os resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos secos ao ar por apenas 72h mostraram que com tensões baixas (cerca de 0,5 MPa) o bloco sofre excessivas deformações, não recomendando seu uso nessa idade de secagem.



**Figura 8: Curvas Tensão x Deformação dos blocos secos ao ar. Fonte: Elaborado pelos autores.**

A absorção de água nos blocos, determinada de acordo com a normativa brasileira de blocos de solo-cimento (NBR 10836/94), não pôde ser aplicada para blocos de terra crua prensados, pois ao emergir o primeiro bloco na água, se desmanchou em minutos. Por isso, devem ser estudadas outras maneiras de avaliar essa propriedade.

Contudo, as construções e arquitetura com terra, segundo a bibliografia, não devem ficar expostas ao contato direto com a água. As edificações devem ser abrigadas com beirais e devem ser elevadas do terreno, por exemplo, como feito no projeto arquitetônico sugerido nesse trabalho.

Por fim, obteve-se a indicação de que o uso dos blocos no projeto de habitação rural de baixo custo é adequado. O bloco mostrou ser apto como material de construção, resistindo em média mais do que as cargas solicitadas pela edificação. Na parede mais solicitada o esforço é de ordem de 1,636 MPa, sendo inferior até mesmo ao menor valor de resistência individual obtido para os blocos (1, 814 MPa).

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2016
- \_\_\_\_\_. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez - Método de ensaio**. 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6502: Rochas e solos**.1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica**.1984.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade - Método de ensaio**. 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica - Método de ensaio**. 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação**. 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7183: Determinação do limite e relação de contração de solos**. 1982.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural**. 1994.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água**. 1994.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12770: Solo coesivo–Determinação da resistência à compressão não confinada**. 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**. 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15812-1: Alvenaria estrutural Blocos Cerâmicos – Parte 1: Projetos**. 2010.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15812-2: Alvenaria estrutural Blocos Cerâmicos – Parte 2: Execução e controle de obras**. 2010.

BARBOSA, N. P. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. **Coletânea Habitare**, v. 2, p. 12-39. 2003.

BARRETO, M. G. **Por que duas casas ficam em pé e uma cai? Estudo multicaso do processo construtivo de três habitações sociais em adobe nos assentamentos rurais Pirituba II e Sepé Tiaraju-SP-Brasil**. Tese de Doutorado Universidade de São Paulo. 2013.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Tese de doutorado Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.

BASTOS, C. A. B. Estudos recentes conduzidos na FURG sobre solos alternativos para pavimentação econômica e obras de terra na Planície Costeira Sul. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.4, p.31-42. 2004.

BASTOS, C. A. B.; MIRANDA, T.C.; SCHULER, A. R.; VASCONCELOS, S. M. Mapeamento geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. **Anais...** Uberlândia. 2007.

BATISTA, V. R. **Adobes confeccionados em Montes Claros/MG com adição de sumo de palma**. Tese de conclusão de curso Faculdades Integradas Pitágoras, 2016.

CALIL JUNIOR, C., & MOLINA, J. C. (2010). Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo. São Paulo: Pini.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8ª Edição. São Paulo. LTC, 2012.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. **DER/SP - M 192: Determinação do Índice de Suporte Mini-CBR e da Expansão de Solos Compactados com Equipamento Miniatura**. 1989. 15p.

\_\_\_\_\_. **M 193: Determinação da Contração de Solos Compactados em Equipamento Miniatura**. 1989. 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 258/94: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini - MCV**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **ME 256: Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **ME 258: Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV**. Rio de Janeiro, 1994.

FELTEN, D. **Estudo sobre solos arenosos finos lateríticos da planície costeira sul do RS para emprego em pavimentação econômica**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande. 2005.

KASTER, D. **Estudo das Técnicas Construtivas Utilizadas em Prédios Históricos de São José do Norte/RS**. Trabalho de conclusão de curso Universidade Federal do Rio Grande, 2015.

KENNEDY, J. **Building Without Borders: Sustainable construction for the global village**. New Society Publishers, 2009.

LENGEN, J. V. **Manual do arquiteto descalço**. Porto Alegre: Livraria do arquiteto. 2004.

MAIA, R. T. **Avaliação das variáveis que influenciaram no uso da terra como material construtivo para habitação social rural no Assentamento Rural Sepé Tiaraju-Serra Azul-SP**. Dissertação da Universidade de São Paulo. 2011.

MINKE, G.t. **Manual de Construção em terra: Uma arquitetura sustentável**. 1 ed. São Paulo: B4. 2015.

NETO, C. A. B. S. **Estratégia para a caracterização do edificado em adobe em Aveiro**. Dissertação da Universidade de Aveiro. 2008.

NEVES, C. M. M.; FARIA O. B.; ROTONDARO, R.; SALAS, P. C.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA. (2009). Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acessado em 01/05/2018.

NEVES, et al. **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA. 2011.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, **Anais...** vol. 1, 30-41. 1981.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. Ed. Villibor, São Paulo, 212p. 1995.

NONELL, J.B. **História da arquitectura**. Editora Técnicos Associados, Barcelona, Espanha. 1976.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: O Nome da Rosa, v. 1, 2010.

PERALTA, C. **Implicazioni igieniche della costruzione di terra cruda in Argentina**. Seminário Terra Incipit Vita Nova. Torino, Itália. 1997.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. Oficina de textos. 2002.

PROMPT, C. H.; BORELLA, L. L. Experiências em construção com terra no segmento da agricultura familiar. Terra Brasil - III Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil. **Anais...** Campo Grande, MS. 2010.

PROMPT, C. **Curso de Bioconstrução**. Ministério do Meio Ambiente, 2008.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, R. S. C. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

SANTOS, C. A. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. Dissertação da Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

SATTLER, M. A. **Edificações sustentáveis: interface com a natureza do lugar**. Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades: Estratégias a partir de Porto Alegre. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 259-288. 2004.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Vol. I.1ª Edição. Editora PINI. 2001.

SILVA, S.; VARUM, H.; BASTOS, D.; SILVEIRA, D. **Arquitetura de terra – investigação e caracterização de edificações em adobe no concelho da Murtosa**. Terra em Seminário 2010. Argumentum, Lisboa, Portugal. 2010.

## **A estrutura da cadeia de suprimento para a produção de Bioenergia baseada nos princípios da Economia Circular**

### ***The supply chain structure for Bioenergy production based on the principles of Circular Economy***

**Luis Alberto Bertolucci Paes, Mestrando em Engenharia de produção, UNESP**  
luis.paes@unesp.br

**Barbara Stolte Bezerra, Doutora em Engenharia de Transportes, UNESP**  
barbara.bezerra@unesp.br

**Daniel Jugend, Doutor em engenharia de produção, UNESP**  
daniel.jugend@unesp.br

#### **Resumo**

O presente estudo tem como objetivo identificar e sistematizar artigos acadêmicos relacionados ao gerenciamento da cadeia de suprimentos para a produção de bioenergia, alinhando-os aos conceitos da economia circular. Os estudos mais relevantes identificados foram classificados e categorizados em cinco dimensões. Pode-se concluir que as estratégias de circularidade trazem benefícios para a organização, fornecedores e clientes. Como resultado, foi possível identificar três gaps principais. O primeiro, concentra-se nas interrupções no fluxo de biomassa em função da sazonalidade das culturas agrícolas. O segundo no custo logístico do transporte principalmente dos resíduos urbanos e o terceiro, na complexidade no dimensionamento e na utilização da biomassa em grande escala e por consequência, na falta de capacidade de resposta externa às demandas dos clientes. A principal contribuição desta pesquisa está relacionada às recomendações que fornecem oportunidades para futuras pesquisas.

**Palavras-chave:** Gestão da cadeia de suprimentos; Energia renovável; Desenvolvimento sustentável

#### **Abstract**

*The present study has the purpose of identify and systematize academic papers related to the management of the supply chain for the production of bioenergy, aligning them with the circular economy concepts. The most relevant papers identified were classified and categorized into five dimensions. It can be concluded that the circularity strategies bring benefits to the organization, suppliers and customers. As result, it was possible to identify three main gaps. First, focuses on biomass interruption of flow for each season of agricultural crops. The second in logistic costs of transportation mainly of urban waste and the third, complexity in the dimensioning and use of biomass on large scale and therefore, in lack of external response capacity to clients 'demands. The main contribution of this research is related to recommendations that provide opportunities for future research.*

**Keywords:** supply chain management; renewable energy; sustainable development

## 1. Introdução

As fontes renováveis de energia desempenham um papel fundamental nas atuais estratégias globais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e substituir parcialmente os combustíveis fósseis (IAKOVOU et al., 2010). Nesse processo, a biomassa se torna uma alternativa viável, sendo uma fonte de energia versátil, pois pode ser convertida em energia, calor e biocombustíveis, além de ser uma das poucas fontes de energia renováveis que podem ser armazenadas e podem gerar energia sob demanda (RENTIZELAS; TOLIS; TATSIPOULOS, 2009). Ao avaliar a produção de bioenergia, uma perspectiva de sistema deve ser tomada, abrangendo os componentes recursos de biomassa, sistemas de fornecimento, tecnologias de conversão e serviços de energia (GOLD; SEURING, 2011).

Uma das barreiras para a produção de bioenergia é o custo de suas operações logísticas (RENTIZELAS; TOLIS; TATSIPOULOS, 2009). A complexidade dos sistemas de suprimento muitas vezes envolvendo vários níveis descrevem a necessidade de abordagens abrangentes de gerenciamento da cadeia de fornecimento. O manuseio e o transporte da biomassa do local de origem para a instalação de conversão induzem uma variedade de implicações econômicas, energéticas e ambientais. Para este fim, a gestão da cadeia de suprimentos tem o desafio de desenvolver políticas eficientes adaptadas a um ambiente incerto e sujeitas a condições e restrições locais e inter-regionais adicionais, como a infraestrutura existente (IAKOVOU et al., 2010). As abordagens da Economia Circular, criaram e capturaram novos valores para as empresas e adicionaram dimensões extras às cadeias de suprimentos. Quando as cadeias de suprimentos se tornam multidimensionais, com novos fluxos e formatos, redes de serviços, mais “pontos de contato”, loops de recuperação de produtos e materiais focado em proteger seu valor, isso significa repensar toda a cadeia de suprimento e não apenas aplicar uma logística reversa 2.0 (WEETMAN, 2016).

## 2. Economia Circular, Gestão da cadeia de suprimentos, cadeias de suprimento circulares, Bioenergia - Termos e Definições

De acordo com Wei et al. (2014), a Economia Circular é um modelo de desenvolvimento econômico para maximizar o uso de recursos e proteger o meio ambiente. Guiado pela teoria da economia reciclada, a gestão da cadeia de suprimentos verde, como uma nova noção de gestão, desempenha um papel cada vez mais importante no desenvolvimento da indústria. A EC, se baseia em uma estratégia de desenvolvimento sustentável que visa melhorar a eficiência dos materiais e o uso de energia (SU et al., 2013). O gerenciamento da cadeia de suprimentos é definido como “o planejamento e o gerenciamento de todas as atividades envolvidas na terceirização e aquisição, conversão e todas as atividades de gerenciamento de logística” (CSCMP, 2012). Neste contexto, a logística é “aquela parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente, efetivo, direto e reverso de bens, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo, a fim de atender às exigências dos clientes” (CSCMP, 2012).

Wells e Seitz (2005), propuseram Cadeias de fornecimento de ciclo fechado incorporando assim a remanufatura e logística reversa, sendo um meio importante para permitir que as

empresas atendam às crescentes demandas de responsabilidade social corporativa e para atingir metas sociais mais amplas. De acordo com De Angelis, Howard e Miemczyk (2018), cadeias de suprimento circulares, são aquelas que incorporam os princípios da economia circular na gestão da cadeia de suprimentos. Sua estratégia é baseada nos serviços de leasing e em resultados; sua estrutura é baseada em loops fechados, curtos e em cascata; seu foco é baseado na captura de valor colaborativo e sua escala é local e regional.

A bioenergia, segundo Gold e Seuring (2011), é definida como o “*fornecimento de energia em termos de eletricidade, calor e mobilidade a partir de materiais de fontes biológicas referidas como biomassa*”. A biomassa para bioenergia pode ser qualquer material orgânico que tenha armazenado energia da luz solar em forma de energia química e compreende madeira, resíduos agrícolas e florestais, cultivos energéticos, excrementos humanos e animais, bem como resíduos industriais e municipais biodegradáveis. Yazan et al. (2011) afirma que a bioenergia se não for adequadamente projetada e avaliada, pode levar a uma maior degradação da terra e dos ecossistemas. Portanto, para que a produção de bioenergia se torne sustentável, é necessário otimizar a estrutura e o funcionamento da cadeia de suprimentos e adaptar a implementação da bioenergia às condições específicas do respectivo sistema de produção (GOLD; SEURING, 2011).

### 3. Metodologia de Pesquisa

Uma revisão de literatura de pesquisa é um projeto sistemático, explícito e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar o corpo existente de trabalhos completos e registrados produzidos por pesquisadores, acadêmicos e profissionais (FINK, 2013). A revisão de literatura ajuda os pesquisadores a justificar e apoiar seus argumentos ao fornecer uma contribuição original (POZZEBON et al., 2011).

Para analisar os artigos através da análise de conteúdo, os dados foram gerados a partir do da plataforma Scopus devido ao fato de ser o maior banco de dados da literatura revisada por pares (BALLEW, 2009; CHADEGANI et al., 2013) usando as palavras-chave “*bioenergia*” OU “*bioeconomia*” E “*economia circular*” (todos os termos utilizados foram na língua inglesa). Para identificar os artigos, foi usado os filtros “*articles*”, “*reviews*” e “*articles in press*” A amostra inicial foi composta por 70 artigos. Após a extração das amostras, analisou-se os títulos e resumos dos artigos. Após essa triagem, foram selecionados 22 artigos relacionados ao tema “*bioenergia*” e “*economia circular*”.

A revisão estruturada da literatura foi conduzida de acordo com o método proposto por Lage Junior e Godinho Filho (2010) e aprimorada por De Camargo Fiorini e Jabbour (2017), onde um sistema de classificação foi utilizado para categorizar os artigos selecionados. Este sistema foi baseado em cinco dimensões, de acordo com a literatura analisada, as quais foram categorizadas usando uma combinação de números e letras (Tabela 1).

**Tabela 1. Framework para classificar e codificar os artigos analisados.**

Classificação	Significado	Categorias para codificação
1	Região abordada	A - Global B - Europa C - América do Norte D - Ásia E - América Latina
2	Interface da cadeia de suprimento e bioenergia	A - Recolha B - Colheita C - Armazenamento D - Transporte E - Técnicas de pré-tratamento F - Conversão em energia G - Projeto de sistema
3	Método de pesquisa	A - Quantitativo B - Qualitativo C - Conceitual D - Revisão E - Pesquisa F - Estudos de caso
4	Matéria-prima de usinas de conversão de bioenergia	A - Resíduos orgânicos domésticos B - Resíduos Industriais C - Resíduos animais D - Resíduos da Agricultura E - Biomassa de florestas e madeira F – Não Aplicável
5	Benefícios de desempenho	A - Operacional B - Econômico C - Ambiental D - Social

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4. Resultados

A Tabela 2, mostra a classificação dos 22 artigos selecionados considerando as dimensões propostas na tabela 1.

**Tabela 2. Classificação dos 22 artigos selecionados considerando as dimensões.**

Estudo	Região	Interface da cadeia de suprimento	Método da pesquisa	Matéria-prima de usinas de conversão em bioenergia	Benefícios de desempenho
De Meyer et al. (2014)	1A	2G	3D	4F	5A
Genovese et al. (2017)	1B	2E; 2F	3C; 3F	4A;4B	5A;5C
Ghaderi, Pishvae e Moini (2016)	1A	2G	3D;3F	4F	5A;5C;5D

Ghosh (2016)	1D	2E; 2F	3D	4A;4D	5B;5C;5D
Gold e Seuring (2011)	1A	2A;2B;2C;2D; ;2E;2F;2G	3D	4A;4B;4C;4D;4E	5A;5B;5C; 5D
Hong, How e Lam (2016)	1A	2A;2B;2C;2D; ;2E;2F;2G	3D	4A;4B;4C;4D;4E	5A;5B;5C; 5D
Iakovou et al. (2010)	1A	2B;2C; 2D; 2E; 2F	3D	4A;4B;4C;4D;4E	5A;5B;5C; 5D
Jensen e Govindan (2014)	1B	2F	3A;3E	4B	5B
Kumar e Singh (2017)	1A	2E; 2F	3D	4D	5A
Kwaśny e Balcerzak (2017)	1B	2E; 2F	3A;3E	4B	5A, 5C
Maina, Kachrimanidou e Koutinas (2017)	1B	2E; 2F	3D	4D	5A
Mayerle e Neiva de Figueiredo (2016)	1E	2F;2G	3C	4C	5A
Mohamed Abdul ghani, Vogiatzis e Szmerekovsky (2018)	1C	2A;2B;2C;2D; ;2E;2F;2G	3C;3F	4D	5A;5B;5C
Pan et al. (2015)	1A	2F	3D	4A;4B;4C;4D;4E	5A;5B;5C; 5D
Pehlken et al. (2016)	1B	2F;2G	3F	4D	5A;5B;5C; 5D
Prosman e Sacchi (2018)	1B	2G	3D	4F	5A;5C
Raychaudhuri (2016)	1B;1D	2F	3D	4F	5B;5C;5D
Saif et al. (2017)	1C	2G	3C;3F	4F	5B;5C;5D
Sampat et al. (2017)	1A	2G	3C;3F	4F	5A
Sgarbossa e Russo (2017)	1B	2G	3B;3F	4B	5A;5C;5D
Tsolakis et al. (2014)	1A	2A;2B;2C;2D; ;2E;2F	3D	4F	5A
Welfle, Gilbert e Thornley (2014)	1B	2G	3C	4B;4D	5A;5C

Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 1, demonstra os principais artigos publicados envolvendo Cadeia de suprimentos e Biomassa para geração de Bioenergia. A partir de 2014, houve um crescente em função de novos estudos envolvendo a Economia Circular, onde novos modelos de negócios que incentivam o design para a reutilização e melhoram a recuperação de materiais representa um afastamento dos sistemas históricos de produção e consumo. Isso indica que a interface entre questões de bioenergia e cadeia de suprimentos circular aumentou em importância nos últimos anos.

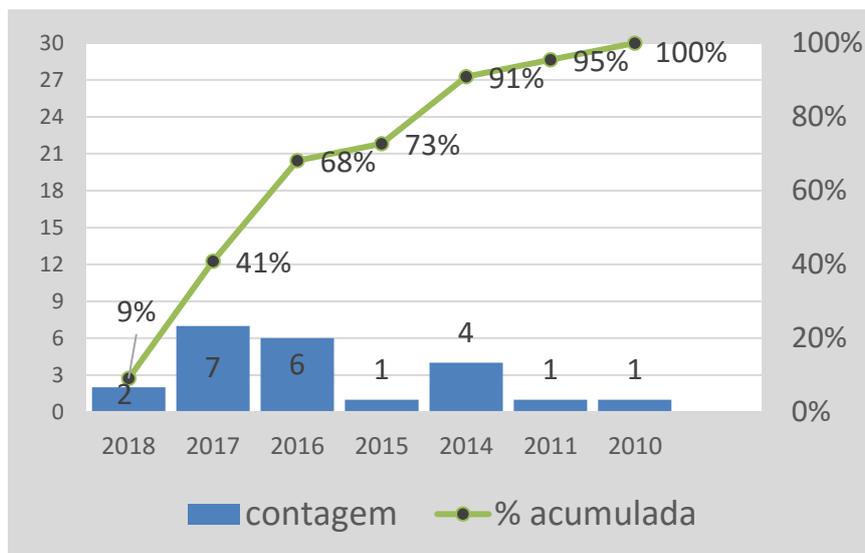


Figura 1. Distribuição de artigos ao longo do período de 2010 a 2018. Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4.2 Dimensões analisadas

### 4.2.1 Regiões abordadas

Esta análise teve como objetivo investigar a contribuição de cada continente. Pode-se verificar que o nível Global (genérico) e Europa empataram, em bem menor número e também empatados, América do Norte e Ásia, finalizando com América Latina. A recomendação é que se verifique o porquê da América do Norte não ser mencionada diretamente nos artigos, pois é considerado um país desenvolvido e com muita influência para o resto do mundo.

### 4.2.2 Interface da cadeia de suprimento e bioenergia

Em 15 artigos, a interface da cadeia de suprimento e bioenergia foi relacionada à conversão de energia, 12 artigos a projetos de sistema, 10 artigos às técnicas de pré-tratamento, seguido de armazenamento, colheita e transporte, todos com 5 artigos. Finalmente, entre as interfaces analisadas, apenas 4 artigos mencionam a recolha, o que recomendasse é realizar mais estudos que analisem essa interface, visto que ela é o início da cadeia de suprimento.

### 4.2.3 Métodos de pesquisa

A análise demonstra uma clara predominância em artigos que abordam a integração entre cadeia de suprimentos e bioenergia em forma de revisão da literatura, (12) artigos, seguidos de estudos conceituais (6). Também foram apresentados 3 artigos em pesquisa e 7 estudos de caso. Baseado na amostra, pode-se perceber que a que a produção de bioenergia é um campo de pesquisa em rápida evolução, focando principalmente nas tecnologias de produção

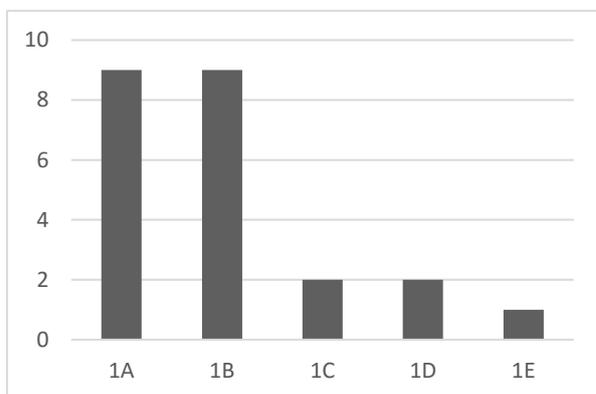
de bioenergia. No entanto, a maioria dos estudos foca na parte teórica que abordam as questões críticas de gerenciamento da cadeia de suprimentos. Recomenda-se focar em estudos empíricos que consigam quantificar e comprovar as teorias e estudos de casos propostos.

#### 4.2.4 Matéria-prima de usinas de conversão de bioenergia

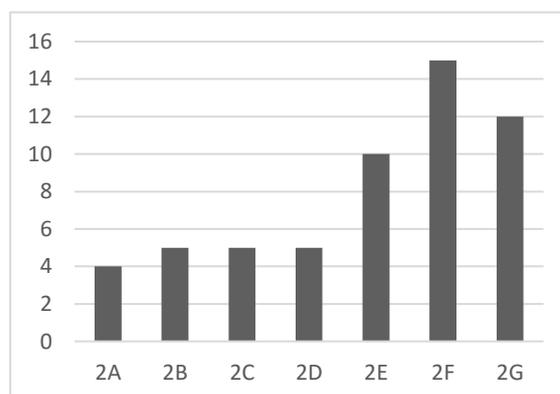
Os resultados mostram que os resíduos industriais e os de agricultura foram os mais utilizados para a conversão de bioenergia, seguidos de resíduos orgânicos domésticos e de animais. Como recomendação, sugere-se analisar as dificuldades encontradas na coleta dos resíduos orgânicos domésticos, pois que estes crescem a cada dia devido ao aumento da população.

#### 4.2.5 Benefícios de desempenho

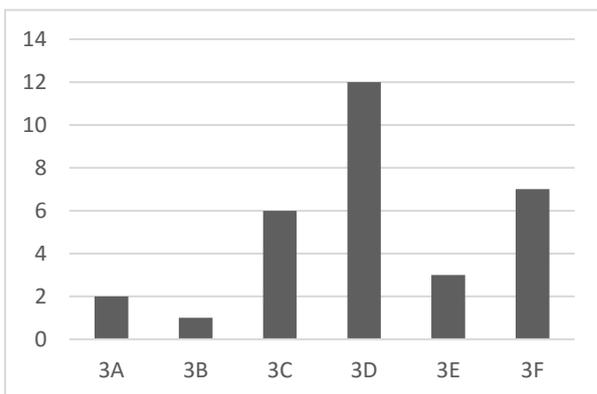
Essa análise demonstrou se o gerenciamento da cadeia de suprimentos na produção de bioenergia influenciou direta ou indiretamente, o desempenho operacional, econômico, ambiental e/ou social da localidade. Verificou-se que a maioria dos artigos reconheceu que o gerenciamento da cadeia de suprimentos na produção da bioenergia influencia positivamente o desempenho operacional e ambiental. Em menor soma, houve menção ao impacto econômico e social. Assim, recomenda-se analisar a fundo os benefícios do gerenciamento da cadeia de suprimentos na produção da bioenergia no desempenho social da sociedade.



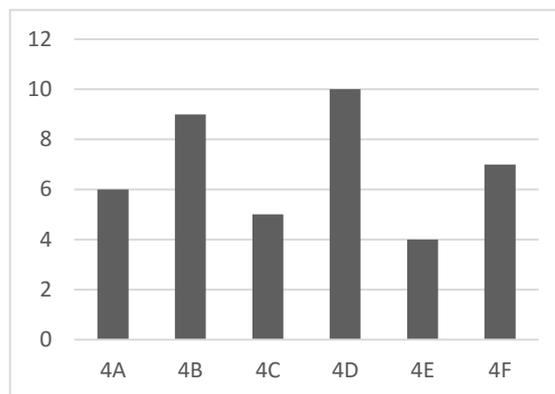
**Figura 2 - Regiões abordadas. Fonte: Elaborado pelos autores**



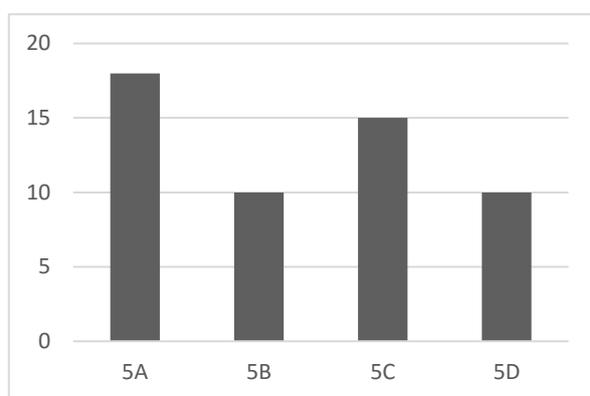
**Figura 3 - Análise de frequência das questões de cadeia de suprimentos e logística na produção de bioenergia. Fonte: Elaborado pelos autores**



**Figura 4 - Frequência dos artigos classificados pelo método de pesquisa. Fonte: Elaborado pelos autores**



**Figura 5 - Matéria-prima de usinas de conversão de bioenergia. Fonte: Elaborado pelos autores**



**Figura 6 - Frequência dos artigos relacionados aos benefícios de desempenho. Fonte: Elaborado pelos autores**

*\*Nota: Como os trabalhos podem corresponder a nenhuma, uma ou mais de uma categoria, as frequências não se somam necessariamente a N = 22.*

Os resultados demonstram um crescente no campo de estudo que envolva questões de gerenciamento de cadeia de suprimento e produção de bioenergia, muito em função de novos estudos sobre as estratégias da Economia Circular. Os Modelos circulares de produção buscam ampliar a percepção de valor, mitigar o risco por meio da flexibilidade estrutural, introduzir a inovação inicial dos fornecedores, serviços mais estratégicos e a questão da distribuição global versus distribuição local de produção.

A sustentabilidade se inicia desde o ponto que se decide sobre a estrutura básica do sistema de bioenergia (matéria-prima, atores da cadeia de fornecimento, tecnologia de conversão) e continua com questões específicas de sistemas de transporte, manuseio, armazenagem e armazenamento ou de procedimentos de pré-tratamento de matéria-prima de biomassa. Modelos de negócios sustentáveis e gerenciamento de cadeia de suprimento estão intimamente conectados no sentido de que a configuração das cadeias de suprimentos pode afetar o desenvolvimento de um modelo de negócios sustentável e vice-versa (LÜDEKE-FREUND; GOLD; BOCKEN, 2016). Pode-se prever que o papel que a bioenergia desempenhará no futuro no fornecimento de energia dependerá da medida em que várias barreiras ou fatores limitantes que inibem o comércio internacional, bem como a produção sustentável e eficiente de recursos de biomassa podem ser superados.

A cadeia de suprimento de biomassa e seus produtos será tão forte quanto seu elo mais fraco, e hoje, esses elos fracos incluem um suprimento limitado de matérias primas convencionais; desafios na colheita e coleta de matérias-primas; transporte de matérias-primas e armazenamento sazonal; operando em uma escala eficiente. ( DE MEYER et al., 2014; GHADERI; PISHVAEE; MOINI, 2016; GHOSH, 2016; RAYCHAUDHURI, 2016; SAIF et al., 2017; WELFLE; GILBERT; THORNLEY, 2014). O Custo logístico para utilização de resíduos orgânicos urbanos, se mostrou como um outro possível empecilho principalmente em países em desenvolvimento onde há uma burocracia de forma excessiva que dificulta ainda mais esse processo. Além disso, os riscos na cadeia de suprimentos estão em constante evolução e imprevisíveis, tornando-os cada vez mais complexos e desafiadores de lidar.

## 5. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo identificar e sistematizar os artigos acadêmicos mais relevantes que apresentem uma potencial evolução nas práticas sustentáveis de gerenciamento da cadeia de suprimentos, alinhando-as aos conceitos de economia circular. A economia circular empurra as fronteiras da sustentabilidade ambiental, enfatizando a ideia de transformar produtos de tal forma que haja relações viáveis entre os sistemas ecológicos e o crescimento econômico. Portanto, a economia circular não se preocupa apenas com a redução do uso do meio ambiente como um sumidouro para resíduos, mas sim com a criação de sistemas de produção autossustentáveis. Para tanto, foram analisados 22 artigos publicados nos últimos dez anos nos principais periódicos focados em sustentabilidade e, a partir da análise de diferentes dimensões, foi elaborado um relato com os resultados obtidos.

Através da análise dos artigos, foi possível observar que apesar de uma crescente pesquisa no campo da gestão de cadeias de suprimento de forma sustentável no campo da produção de bioenergia, a maioria dos artigos foram formulados em forma de revisão, com enfoque teórico. Também foram elaborados Modelagens matemáticas de otimização da cadeia de suprimento e alguns estudos de caso, no entanto não foi possível observar uma abordagem confirmatória e validação empírica.

Esta pesquisa apresenta limitações relacionadas ao uso de mecanismos de busca tendo em vista que apenas a base de dados da plataforma Scopus. No entanto, foram utilizadas combinações diferentes e sinônimos de termos de pesquisa no intuito de melhorar sua eficácia. Tendo em vista que assunto é extremamente complexo e que a terminologia em torno da “economia circular” e Cadeia de suprimento circular” tem sido divergente, onde o termo “ciclo fechado” é frequentemente usado em paralelo. Além disso, correntes de pesquisa distintas provenientes de diferentes campos epistemológicos como biologia, economia e ecologia podem oferecer outras terminologias.

Como consequência da divergência em função do termo “Economia Circular”, pesquisas futuras devem ser cuidadosas. Deve-se tomar cuidado quanto a caracterização e ao processo usado para selecionar a amostra, a fim de evitar que os elementos desta constituam um conjunto com características fundamentalmente distintas das variáveis que se deseja estudar. Uma revisão sistemática com um número maior de artigos poderia garantir uma amostra mais representativa diminuindo a probabilidade do acaso ser responsável por eventuais discrepâncias.

APÊNDICE - A.

**Tabela A1. Sistematização das contribuições dos artigos analisados.**

<b>Estudo</b>	<b>Resumo de contribuição de pesquisa</b>
De Meyer et al. (2014)	Uma revisão que fornece uma visão geral dos métodos e modelos de otimização, focados nas decisões relativas ao projeto e gerenciamento do segmento upstream da cadeia de fornecimento de biomassa para bioenergia.
Genovese et al. (2017)	Por meio de dois estudos de caso de diferentes indústrias de processo (química e alimentícia), este documento compara os desempenhos de sistemas de produção tradicionais e circulares em uma variedade de indicadores.
Ghaderi, Pishvae e Moini (2016)	O objetivo deste artigo é revisar os artigos sobre modelos de design de redes de cadeias de suprimentos de biomassa publicados em periódicos científicos com base em suas abordagens de modelagem, decisões, incertezas, metodologias de solução, sustentabilidade, características do modelo, entidades, dados e regiões dos estudos de caso.
Ghosh (2016)	O estudo analisou a cadeia de fornecimento de biomassa e bio resíduos para produção de bioenergia e biocombustível e investigou os principais desafios e problemas na Índia.
Gold e Seuring (2011)	Este artigo apresentou uma revisão bibliográfica de artigos publicados em periódicos de língua inglesa revisados por pares de diversos bancos de dados, de 2000 a 2009, que abrangem a interface da produção de bioenergia e questões de logística e gestão da cadeia de suprimento.
Hong, How e Lam (2016)	Este artigo fornece aos leitores um ponto inicial para entender o conceito de gerenciamento sustentável da cadeia de fornecimento de biomassa e a síntese e otimização de modelos sustentáveis de cadeia de fornecimento de biomassa. E apresenta uma visão geral dos métodos de síntese e otimização da cadeia de fornecimento de biomassa.
Iakovou et al. (2010)	Através de uma síntese crítica, aplicada as partes envolvidas na concepção e gestão de cadeias de fornecimento de biomassa, reconheceu-se o processo natural de tomada de decisão hierárquica para o projeto e o gerenciamento de redes de cadeia discutindo tecnologias de conversão de energia.
Jensen e Govindan (2014)	Através de uma avaliação financeira e ambiental, o artigo demonstra que é possível obter benefícios financeiros e redução de custos, mas que condições desafiadoras podem ser problemáticas do ponto de vista da empresa.
Kumar e Singh (2017)	Investigou através de uma revisão a integração holística de diferentes componentes da cadeia de suprimento de biomassa e suas atividades envolvidas, juntamente com um projeto criterioso, afim de aumentar o quantum de retorno de energia, melhorará o balanço de gases de efeito estufa e reduzirá a pegada hídrica da instalação de produção de bioenergia.
Kwaśny e Balcerzak (2017)	Foram analisadas as características do biogás a partir de lodo de esgoto, a logística de biogás a partir de problemas de produção de lamas de esgoto, que se relacionam com plantas de produção local, atividades de abastecimento, composição química da mistura de gases, e sua participação na obtenção de energia em um projeto piloto na Polônia.
Maina, Kachrimanidou e Koutinas (2017)	Através de uma revisão da literatura, o artigo forneceu uma visão geral dos métodos atuais de bioconversão através do uso de Resíduos da cadeia de abastecimento de alimentos e resíduos sólidos urbanos como material inicial para o projeto de tais bioprocessos.
Mayerle e Neiva de Figueiredo (2016)	O artigo detalha três estágios de análise para projetar o fornecimento ideal de resíduos animais para a biodigestão anaeróbica, incluindo a formulação do modelo e a solução matemática para cada estágio.



- Mohamed Abdul ghani, Vogiatzis e Szmerekovsky (2018) Desenvolveu-se um sistema de suporte à decisão utilizando um programa linear de larga escala com o objetivo de maximizar o lucro com e sem o custo de emissão. Um estudo de caso de sobras de palha de milho no estado de Dakota do Norte é analisado para validar o modelo.
- Pan et al. (2015) O artigo em forma de revisão, detalha as barreiras para a construção da cadeia de suprimentos WTE (waste to energy), avaliando os modelos de negócios bem-sucedidos de cadeias de suprimentos WTE em todo o mundo. As opções de portfólio de tecnologias WTE foram ilustradas para o sistema de economia circular.
- Pehlken et al. (2016) É discutido possíveis ações participativas de várias partes interessadas e seus benefícios, focando em maiores parcelas de biomassa regional para a produção de bioenergia através de dois estudos de caso compreendendo um total de três usinas de biogás.
- Prosman e Sacchi (2018) Propôs o desenvolvimento de critérios ambientais de seleção de fornecedores para cadeias de suprimentos circulares. O método baseia-se em uma avaliação do ciclo de vida consequente e no impacto ambiental em forma de Monetização de quatro fornecedores de combustível alternativo na indústria de cimento.
- Raychaudhuri (2016) Discutiu-se o potencial de produção de bioenergia de várias categorias de biomassa utilizadas e seus processos de conversão adotados especificamente em países asiáticos e europeus. Oferecendo recomendações para o desenvolvimento futuro nos campos relevantes, como custo, planejamento estratégico e implicação de políticas.
- Saif et al. (2017) Foi proposto um modelo formulado para examinar os efeitos das incertezas dos parâmetros do modelo onde combinou-se a rede da cadeia de fornecimento de RSU através de diferentes escalões sob incerteza. Um estudo de caso foi apresentado para mostrar a aplicação da formulação de programação matemática.
- Sampat et al. (2017) Discutiu-se como usar uma estrutura para computar soluções de comprometimento que resolvem conflitos geográficos e de partes interessadas. Através de estudos de caso nos quais buscou-se projetar cadeias de suprimento para coletar e processar resíduos orgânicos mitigar as emissões de fósforo e metano em pontos.
- Sgarbossa e Russo (2017) O artigo fornece uma base para o desenvolvimento de novos modelos de Cadeia de Fornecimento de Ciclo Fechado. Através de um estudo de caso é analisado qual o resíduo produzido é reutilizado como recurso, evitando o descarte de materiais diferentes por meio de atividades de recuperação de recursos que permitem que os resíduos sejam devolvidos à cadeia principal.
- Tsolakis et al. (2014) Fornece uma estrutura abrangente de tomada de decisão hierárquica e uma taxonomia crítica que se aplica a todas as partes interessadas envolvidas no projeto de desenvolvimento e gerenciamento de operação de cadeias de fornecimento agroalimentares eficiente.
- Welfle, Gilbert e Thornley (2014) Um Modelo de Recursos de Biomassa é aplicado para analisar a dinâmica da cadeia de fornecimento de biomassa do Reino Unido. A análise conclui que os recursos do Reino Unido com maior potencial de bioenergia primária são resíduos domésticos e resíduos agrícolas.

Fonte: Elaborado pelos autores

## Referências

BALLEW, B. S. Elsevier's Scopus® Database. **Journal of Electronic Resources in Medical Libraries**, v. 6, n. 3, p. 245–252, 9 set. 2009.

CHADEGANI, A. A. et al. A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. **Asian Social Science**, v. 9, n. 5, p. 18–26, 27 abr. 2013.

DE ANGELIS, R.; HOWARD, M.; MIEMCZYK, J. Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 6, p. 425–437, 26 abr. 2018.

DE MEYER, A. et al. Methods to optimise the design and management of biomass-for-bioenergy supply chains: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 657–670, 1 mar. 2014.

GENOVESE, A. et al. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**, v. 66, p. 344–357, 1 jan. 2017.

GHADERI, H.; PISHVAEE, M. S.; MOINI, A. Biomass supply chain network design: An optimization-oriented review and analysis. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 972–1000, 30 dez. 2016.

GHOSH, S. K. Biomass & Bio-waste Supply Chain Sustainability for Bio-energy and Bio-fuel Production. **Procedia Environmental Sciences**, v. 31, p. 31–39, 1 jan. 2016.

GOLD, S.; SEURING, S. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 1, p. 32–42, 1 jan. 2011.

HONG, B. H.; HOW, B. S.; LAM, H. L. Overview of sustainable biomass supply chain: from concept to modelling. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 7, p. 2173–2194, 23 out. 2016.

IAKOVOU, E. et al. Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis. **Waste Management**, v. 30, n. 10, p. 1860–1870, 1 out. 2010.

JENSEN, J. K.; GOVINDAN, K. Assessment of renewable bioenergy application: a case in the food supply chain industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 254–263, 1 mar. 2014.

KUMAR, D.; SINGH, B. Role of biomass supply chain management in sustainable bioenergy production. **Biofuels**, p. 1–11, 22 set. 2017.

KWAŚNY, J.; BALCERZAK, W. Production logistics and participation of biogas in obtaining primary energy in Poland. **Energy & Environment**, v. 28, n. 4, p. 425–436, jun. 2017.

MAINA, S.; KACHRIMANIDOU, V.; KOUTINAS, A. A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 8, p. 18–23, 2017.

MAYERLE, S. F.; NEIVA DE FIGUEIREDO, J. Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing. **Renewable Energy**, v. 90, p. 46–54, 1 maio 2016.

MOHAMED ABDUL GHANI, N. M. A.; VOGIATZIS, C.; SZMEREKOVSKY, J. Biomass feedstock supply chain network design with biomass conversion incentives. **Energy Policy**, v. 116, p. 39–49, 1 maio 2018.

PAN, S.-Y. et al. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 409–421, 1 dez. 2015.

PEHLKEN, A. et al. Forming stakeholder alliances to unlock alternative and unused biomass potentials in bioenergy regions. **Journal of Cleaner Production**, v. 110, p. 66–77, 1 jan. 2016.

POZZEBON, M. et al. Unpacking researchers' creativity and imagination in grounded theorizing: An exemplar from IS research. **Information and Organization**, v. 21, n. 4, p. 177–193, 1 dez. 2011.

PROSMAN, E. J.; SACCHI, R. New environmental supplier selection criteria for circular supply chains: Lessons from a consequential LCA study on waste recovery. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2782–2792, 20 jan. 2018.

RAYCHAUDHURI, A. Biomass Supply Chain in Asian and European Countries. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 914–924, 1 jan. 2016.

RENTIZELAS, A. A.; TOLIS, A. J.; TATSIPOULOS, I. P. Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 887–894, 1 maio 2009.

SAIF, Y. et al. A circular economy solid waste supply chain management based approach under uncertainty. **Energy Procedia**, v. 142, p. 2971–2976, 1 dez. 2017.

SAMPAT, A. M. et al. Optimization formulations for multi-product supply chain networks. **Computers & Chemical Engineering**, v. 104, p. 296–310, 2 set. 2017.

SGARBOSSA, F.; RUSSO, I. A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 596–606, 1 jan. 2017.

SU, B. et al. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215–227, mar. 2013.

TSOLAKIS, N. K. et al. Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. **Biosystems Engineering**, v. 120, p. 47–64, 1 abr. 2014.

WEI, F. et al. Research on performance evaluation system for green supply chain management based on the context of recycled economy--taking Guangxi's manufacturing industry. **Journal of Grey System**, 2014.

WELFLE, A.; GILBERT, P.; THORNLEY, P. Increasing biomass resource availability through supply chain analysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 70, p. 249–266, 1 nov. 2014.

YAZAN, D. M. et al. The effect of spatial variables on the economic and environmental performance of bioenergy production chains. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 224–233, 2011.

## **GEOPROCESSAMENTO APLICADO À IDENTIFICAÇÃO DA ANTROPIZAÇÃO OCORRIDA NA ZONA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DO JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE**

### ***GEOPROCESSING APPLIED TO THE IDENTIFICATION OF ANTHROPIZATION OCCURRED IN THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA IN THE MUNICIPALITY OF JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE***

**Amaury Gouveia Pessoa Neto, Graduando em Engenharia Civil, IFPE**

[gouveia.amaury@gmail.com](mailto:gouveia.amaury@gmail.com)

**Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa, Doutora em Engenharia Civil, IFPE**

[ionarameh@recife.ifpe.edu.br](mailto:ionarameh@recife.ifpe.edu.br)

**Ronaldo Faustino da Silva, Doutor em Engenharia Civil, IFPE.**

[ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br](mailto:ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br)

#### **Resumo**

As crescentes agressões antrópicas em áreas destinadas a conservação natural, principalmente pelo aumento da pressão urbana, acarretam na necessidade de estudos ambientais. Este trabalho teve como objetivo evidenciar a ferramenta geoprocessamento, identificando as intervenções antrópicas ocorridas na Zona de Proteção Ambiental Curcurana, localizada no bairro Barra de Jangada, município do Jaboatão dos Guararapes/PE. Para isso, foram utilizadas imagens aéreas, oriundas de serviço de aerofotogrametria, datadas 2016 que foram submetidas à técnicas de fotointerpretação visual. A partir dessa análise, foi possível obter mapas temáticos com classes de uso e cobertura do solo, onde foi observado um expressivo índice de área antropizada ao longo da região estudada.

**Palavras-chave:** Aerofotogrametria; Conservação Natural; Uso e Cobertura do Solo; Zona de Proteção Ambiental

#### ***Abstract***

*The increasing anthropic aggression in areas destined to natural conservation, mainly by the increase of the urban pressure, entails in the necessity of environmental studies. This work aimed to*

*show the geoprocessing tool, identifying the anthropic interventions that took place in the Curcurana Environmental Protection Zone, located in the Barra de Jangada neighborhood, Jaboatão dos Guararapes / PE municipality. For that, aerial images were used, from a photogrammetry service, dated 2016 and submitted to visual photointerpretation techniques. Based on this analysis, it was possible to obtain thematic maps with classes of use and land cover, where an expressive index of anthropic area was observed throughout the studied region.*

**Keywords:** *Aerophotogrammetry; Natural Conservation; Soil Use and Coverage; Environmental Protection Zone*

## 1. Introdução

O descontrolado crescimento populacional e suas conseqüentes necessidades têm levado o homem a utilizar os recursos naturais de forma imediata, sem pensar nas implicações imediatas e nas gerações futuras (MELO; CARNEIRO, 2004). Ocupações inadequadas, desmatamentos, erosões, escorregamentos, assoreamento de corpos hídricos são alguns dos principais problemas ambientais que ocorrem atualmente devido aos impactos da interferência antrópica (ZANATA et al, 2012). Esse processo de antropização, segundo Ven (2017), acontece em um ritmo mais acelerado do que a capacidade de reposição dos recursos naturais gerando, conseqüentemente, degradação ambiental. Brito et al (2014) apresentam como conseqüências dessa devastação o desequilíbrio nos ecossistemas, a degradação do solo e a extinção de espécies animais e vegetais.

Mendes et al (2017) afirmam que o entorno de rios e lagos sempre foi a principal escolha para ocupação e, em conseqüência disso, um dos impactos gerados à natureza é a degradação da mata ciliar, que cresce junto à margem de rios e lagos. Esse tipo de vegetação são formações florestais que exercem importante função na estabilidade dos solos das áreas marginais, na regularização do regime hídrico e na manutenção qualitativa de água (BENICIO et al, 2017).

Apesar dessa importância, com o aumento da pressão urbana, devido ao desenvolvimento econômico acelerado, as matas ciliares vêm sendo degradadas em ritmo acelerado, gerando a necessidade de reabilitá-las (BARRETO, 2009). Nesse contexto, Prina et al (2016) afirmam que as ferramentas de geoprocessamento são extremamente importantes, principalmente no que tange a identificação, mapeamento e estimativa dos usos da terra, facilitando o entendimento de todo um território. O mapeamento da cobertura solo se torna importante para o conhecimento da ocupação do solo, conscientizando a população da ação do ser humano em locais antes inexplorado pelo homem (CUNHA; NUNES, 2017).

Geoprocessamento, conforme Bacani e Luchiari (2014), constitui-se como um conjunto de procedimentos, técnicas e produtos destinados à coleta e o tratamento de informações espaciais. O uso dessa ferramenta permite o estudo das inter-relações entre os dados econômicos, sociais e ambientais de forma integrada e georreferenciada, auxiliando no desafio de tornar as informações mais compreensíveis ao usuário final (FREITAS et al, 2013), minimizando o tempo necessário para os estudos e possibilitando o melhor detalhamento da problemática em questão (LEAL et al, 2013). Segundo Soares Neto et al (2010), a utilização de ferramentas de geoprocessamento permite uma constante atualização

das informações e, conseqüente, monitoramento de áreas, principalmente aquelas consideradas sensíveis à ação antrópica.

As geotecnologias têm sido amplamente utilizadas para mapear e monitorar recursos naturais terrestres, se destacando como uma alternativa mais viável e ágil, compondo um importante conjunto de ferramentas aplicáveis ao planejamento geográfico para a obtenção de dados a serem utilizados no planejamento e zoneamento e auxiliam a investigação do adequado uso do solo em áreas de preservação permanente (MENDES et al, 2017).

O objetivo do presente estudo foi identificar, buscando evidenciar a importância da utilização da ferramenta geoprocessamento, as ações antrópicas ocorridas na Zona de Proteção Ambiental Curcurana, no bairro de Barra de Jangada, município do Jaboatão dos Guararapes/PE, através de fotointerpretação visual de imagens aéreas disponíveis.

### **1.1 Estudos semelhantes**

Em estudo semelhante a este, Anjos et al (2017) investigaram, através de sensoriamento remoto, o avanço da mancha urbana e as suas conseqüências na bacia do rio Cuiá, cidade de João Pessoa, no período de 1970 a 2013, especialmente sobre as áreas verdes de proteção ambiental, como a Zona Especial de Preservação (ZEP).

Nessa perspectiva, Mendes et al (2017) estudaram as Áreas de Preservação Permanente do Rio Poti em área Urbana de Teresina/PI, a partir do Novo Código Florestal Brasileiro, fazendo uso das imagens de satélite datadas de 2014, bem como a análise do inadequado uso do solo nestas áreas. Nesse estudo, os autores destacaram o uso do SIG como alternativa mais viável e ágil, compondo um importante conjunto de ferramentas aplicáveis ao planejamento geográfico para a obtenção de dados a serem utilizados no planejamento e zoneamento, tanto em âmbito regional quanto municipal.

Silva Júnior (2011) demonstrou a importância do Geoprocessamento, através de técnicas de sensoriamento remoto, na análise da evolução temporal do uso e cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental (APA) do Itapiracó, São Luís/MA, no período compreendido entre os anos de 1999 a 2010.

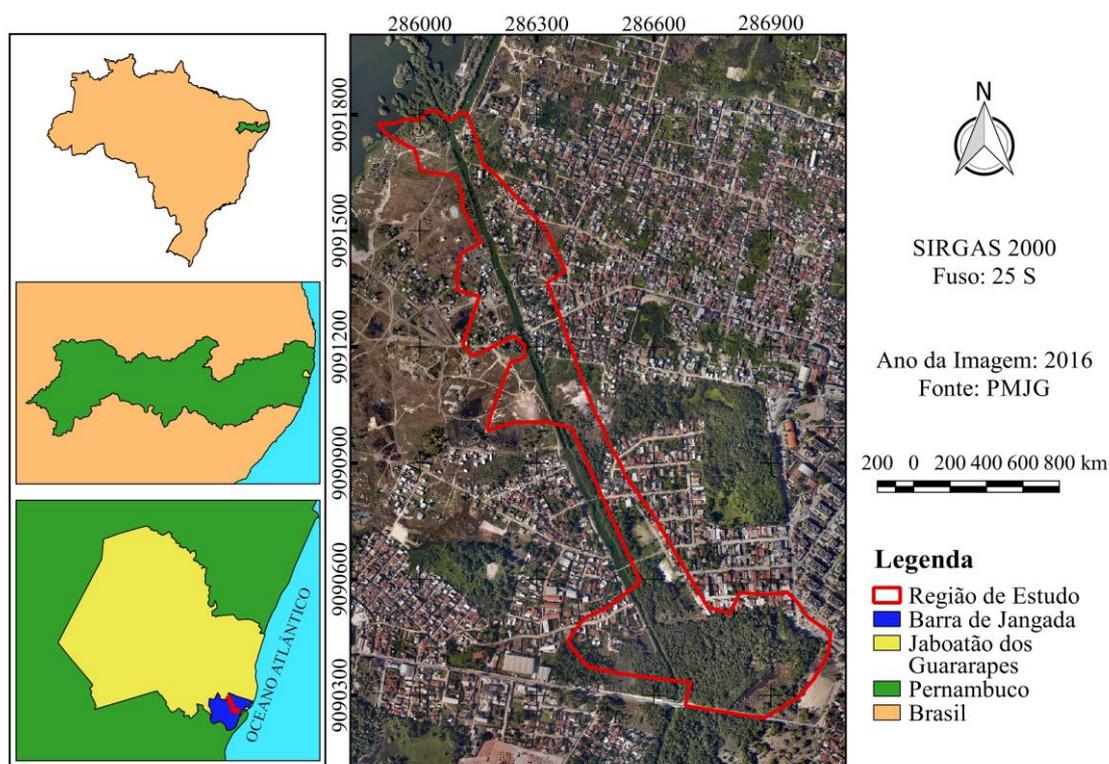
Romagnoli et al (2012) utilizaram técnicas de geoprocessamento para identificar, delimitar, analisar e mapear o uso e a ocupação da terra nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da microbacia do rio da Prata, verificando se há o cumprimento do Código Florestal Brasileiro na área de seu estudo.

Campos et al (2015) também utilizaram técnicas de geoprocessamento para gerar mapas de conflitos e uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Córrego Três Barras-SP, fundamentando-os de acordo com o Código Florestal Brasileiro.

## 2. Metodologia

### 2.1 Região do estudo

A região do estudo é constituída pela Zona de Proteção Ambiental (ZPA) Curcurana, inserida no bairro Barra de Jangada, município do Jaboatão dos Guararapes/PE, limitando-se ao norte pela Lagoa Olho d'Água e ao sul pela Rua Barras, como retrata a Figura 1.



**Figura 1: Localização da região do estudo. Fonte: elaborado pelos autores.**

As Zonas de Proteção Ambiental são definidas na Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo do município do Jaboatão dos Guararapes (Lei N° 972/2013). Nessa categoria de zoneamento estão compreendidas as áreas verdes que se constituem em amenidades pela importância das suas dimensões, do conjunto vegetal que a forma, ou da sua localização, devendo ser conservada em razão da sua expressão ambiental para o município.

A ZPA Curcurana abrange o remanescente da mata ciliar que envolve o canal Olho D'água, que é um dos principais canais alimentadores da lagoa Olho D'água que, por sua vez, constitui-se como a principal lagoa natural costeira do estado de Pernambuco e a maior lagoa urbana do Brasil (SILVA et al, 2017).

A escolha dessa região se deu por se tratar de um espaço cuja fragilidade ambiental é intensa, devido à presença de áreas estuarinas e matas ciliares, as quais têm importância fundamental na manutenção dos mananciais hídricos e no ténue equilíbrio das já bastante reduzidas áreas de manguezais, invadidas irregularmente (SILVA, 2010).

## 2.2 Materiais e métodos

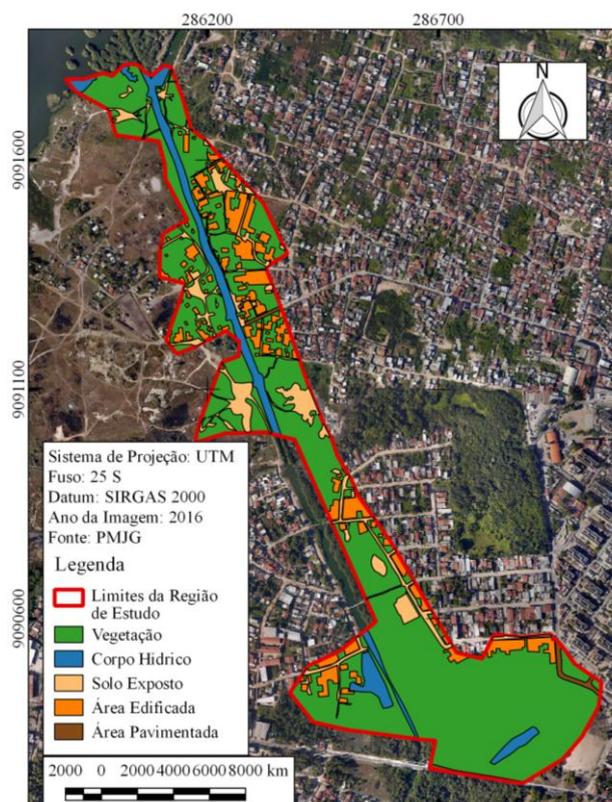
Para realizar as técnicas de geoprocessamento empregadas neste trabalho foram disponibilizados pela Prefeitura do Município do Jaboatão dos Guararapes (PMJG) elementos da cartografia básica municipal, tais como, delimitações dos bairros e zoneamento do município do Jaboatão dos Guararapes no formato *shapefile*; imagens aéreas, no formato GeoTIFF, datadas de 2016 oriundas de um serviço de aerofotogrametria contratado e fiscalizado pela PMJG. Esses materiais foram manipulados no software livre QGIS (Versão 2.18.22), em coordenadas UTM no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

Para delimitação da região de estudo foi realizada uma superposição da camada vetorial, referente a ZPA Curcurana, na imagem aérea. Em seguida, para confecção do mapa temático de cobertura do solo, foi criado no QGIS uma camada, no formato *shapefile* do tipo polígono, para cada categoria de uso e ocupação identificada através do processo de fotointerpretação visual. Após serem definidos os polígonos, foi possível, então, calcular suas referidas áreas e quantificar as manifestações ocorridas na região de estudo. Esses dados foram inseridos numa tabela no software Microsoft Excel (Versão 14.0). Dentre essas categorias eleitas, foram contabilizadas: a quantidade de áreas edificadas e pavimentadas, solo exposto, corpos hídricos e vegetação.

Para corroborar na identificação das agressões antrópicas da região de estudo, foi realizada visitação aos locais acessíveis nessa área, onde foram fotografadas as situações de degradação ambiental, mais relevantes, causadas por intervenção humana. Esses registros fotográficos foram georreferenciados e identificados na imagem aérea da região de estudo através de pontos.

## 3. Resultados e discussão

Através do emprego da ferramenta geoprocessamento e das técnicas de fotointerpretação visual foi possível gerar as classes de uso e cobertura da região estudada, o que possibilitou não apenas a quantificação das classes mapeadas, mas também a identificação das agressões antrópicas ao ambiente. O mapa de cobertura do solo da região de estudo pode ser verificado na Figura 2, onde estão contidas todas as classes de interesse ao estudo: vegetação, corpo hídrico, solo exposto, área edificada e área pavimentada.



**Figura 2: Cobertura do solo da região do estudo. Fonte: elaborado pelos autores.**

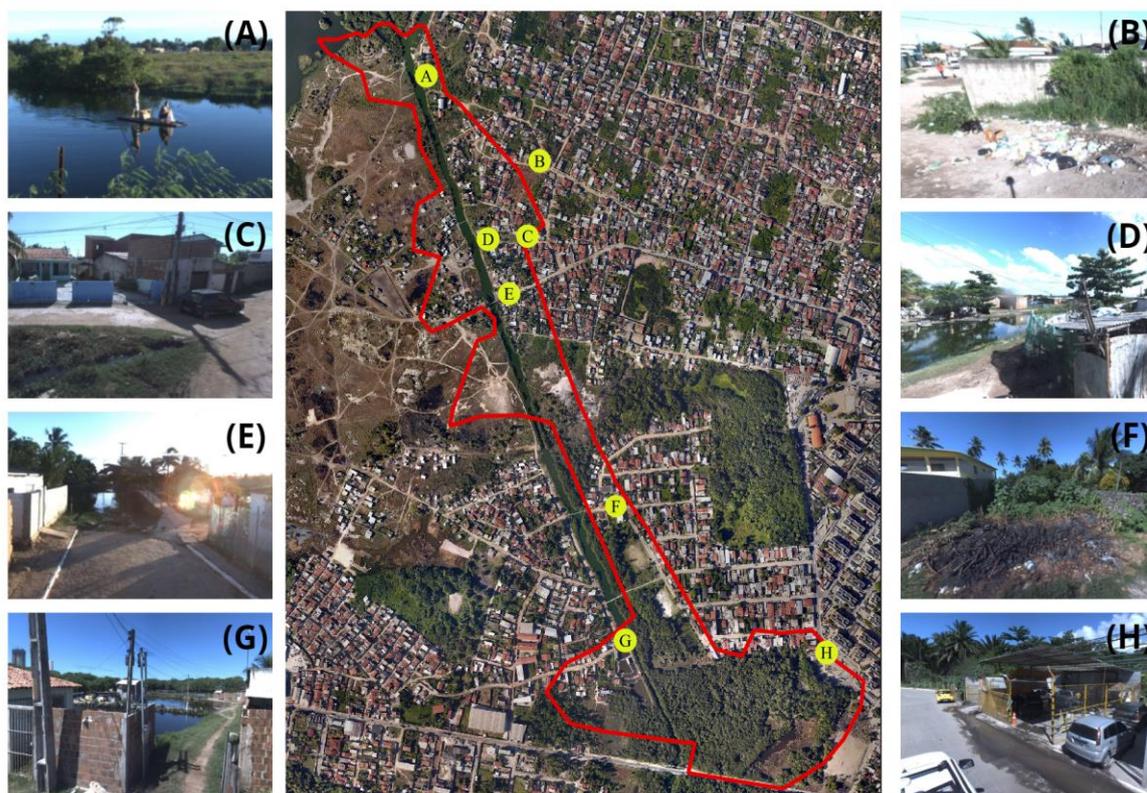
Através da Tabela 1 pode-se perceber que a região estudada prevalece ocupada por cobertura vegetal representada pela classe de áreas remanescentes de mata ciliar, apresentando uma área de 25,454ha e 71,618% de ocupação. As regiões de corpo hídrico, sobretudo o Canal Olho D'Água, representam 7,335% da área estudada, correspondendo a uma área de 2,607ha. Dentre as categorias que compõem as agressões antrópicas encontram-se: as áreas edificadas, ocasionadas pela desorganizada e intensa expansão urbana, indicando uma área de 3,861ha e 10,864% de ocupação; o solo exposto, originado por aterros, desmatamento e pela definição de ruas e acessos às residências, ocupando uma área de 3,258ha e 9,167%; as áreas pavimentadas, instituídas para facilitar o tráfego dos veículos, com uma área ocupada de 0,361ha e 1,016%. Somadas, essas categorias provenientes de antropização, representam, aproximadamente, 21% de toda a região estudada. Sabe-se que, pelo fato dessa região ser de conservação ambiental, não deveria apresentar nenhum tipo de intervenção antrópica.

Uso	Área (ha)	Taxa Percentual (%)
Vegetação	25,454	71,618
Corpo Hídrico	2,607	7,335
Solo Exposto	3,258	9,167
Área Edificada	3,861	10,864
Área Pavimentada	0,361	1,016
Total	35,541	100,000

**Tabela 1: Classificação da cobertura do solo da região de estudo. Fonte: Elaborada pelos autores**

Esse comportamento, apresentado nos resultados, conforme o estudo realizado por Nogueira (2015), se justifica pela abertura da rua Barras em 1976. A partir desse acontecimento, a localidade vem sofrendo um intenso processo de ocupação que não veio acompanhado de infraestrutura básica (NOGUEIRA, 2015). O mesmo estudo mostra que a comunidade localizada no entorno do canal Olho D' água, denominada Novo Horizonte, é classificada pelo IBGE como aglomerado subnormal e cresceu juntamente com o núcleo urbano do bairro Barra de Jangada. Conforme Silva (2010), a intensificação da metropolização dessa região foi incentivada, principalmente, pelos grandes empreendimentos ligados ao Porto de Suape, no município do Cabo de Santo Agostinho/PE.

Esses resultados se tornam mais evidentes quando comparados aos registros fotográficos obtidos pela verificação realizada na região de estudo, como mostra a Figura 3. Esses casos de degradação ambiental, promovidos por ações antrópicas e retratados através dos pontos de visitação, foram ordenados e descritos, como apresentado na Tabela 2.



**Figura 3: Pontos analisados ao longo da região do estudo. Fonte: elaborado pelos autores.**

Ponto	Descrição
A	Atividade de pesca ilegal no canal Olho D'água
B	Acúmulo de lixo doméstico
C	Esgoto doméstico a céu aberto
D	Edificações construídas no entorno do canal Olho D'água
E	Rua pavimentada e ponte irregular de acesso a outra margem do canal Olho D'água
F	Queima de lixo doméstico
G	Viveiro irregular para prática de carcinicultura
H	Atividade comercial irregular promovendo poluição hídrica

**Tabela 2: Descrição dos pontos de visitação definidos para a área de estudo.**

**Fonte: Elaborada pelos autores**

A partir dessas informações, foi constatado que a região do estudo se encontram em processo de urbanização, sobretudo pela ocupação de população de baixa renda, o que gera uma contaminação direta por esgotos e lixos domésticos, que induz alto grau de poluição e contaminação da área. Além disso, esse tipo de ocupação intensifica a remoção da vegetação nativa, promovendo impermeabilização do solo e ocupação de áreas de armazenamento natural do canal, o que ocasiona uma demasiada degradação ambiental.

Consoante a essa constatação, o estudo realizado por Assis (2013) apontou que essa região se encontra fortemente degradada e com ocupações irregulares e inadequadas onde se predomina o padrão construtivo baixo e horizontal. A autora complementa essa verificação afirmando que a infraestrutura viária, nessa região é extremamente deficiente, constituída por poucas vias completas em seu curso e outras sem continuidade, o que torna a mobilidade precária, agravando essa situação pelos constantes alagamentos.

#### 4. Conclusão

A ferramenta geoprocessamento possibilitou a obtenção dos dados de uso e cobertura do solo da Zona de Proteção Ambiental Curcurana de maneira satisfatória. Através de técnicas de fotointerpretação visual, as informações geradas puderam ser observadas através das tabelas e dos mapas temáticos, condizendo com a situação real da região estudada. Logo é possível notar que o uso desse instrumento se mostrou eficiente neste estudo tanto em termos de economia de tempo quanto de recursos, apresentando uma rápida produção, facilidade de manipulação de grande quantidade de informações e de caracterização de dados de áreas, além da possibilidade de aplicar a metodologia em diversos estudos afins.

Através dos resultados apresentados foi constatado que houve uma ocorrência de, aproximadamente, 21% de manifestações relacionadas a agressões antrópicas na área estudada, onde esse tipo de ocorrência não deveria ser apresentado. Essas informações são de extrema importância para o município do Jaboatão dos Guararapes/PE, considerando-se que as mesmas fornecem subsídios aos tomadores de decisões de órgãos de planejamento territorial e ambiental, possibilitando redução e monitoramento dos impactos que podem ser causados em áreas de proteção ambiental.

## Agradecimentos

À Prefeitura do Município do Jaboatão dos Guararapes (PMJG), pela colaboração no sentido de ceder materiais aqui apresentados.

## Referências

ANJOS, W. F. dos, NÓBREGA, W. R.; SILVEIRA, J. A. R. da; SILVA, M. D. da. Urbanização dispersa e a transformação da paisagem natural: estudo de caso sobre a dispersão urbana na Bacia do Rio Cuiá, na cidade de João Pessoa – PB, Brasil. **Geoambiente on-line**, n. 28, p.127-141, 2017.

ASSIS, D. R. S. de. **Urbanização no entorno de lagoa costeira em espaço metropolitano**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BACANI, V. M.; LUCHIARI, A. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da Bacia do Alto Rio Coxim-MS. **GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)**, v. 18, n. 01, p. 184-197, 2014.

BARRETO, D. L. **Proposta de recuperação da mata ciliar do Córrego Brejo Comprido Palmas - TO**. 2009. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade Católica do Tocantins – Palmas, 2009.

BENICÍO, L. P. B.; SOUZA, P. A.; BENDITO, B. P. C.; SANTOS, A. F. dos; SOUZA, P. B. de. Análise da degradação ambiental da mata ciliar da represa da Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p.53-63, 2017.

BRITO, L. B. de A.; OLIVEIRA, P. C. de; LUNA, B. J. C. **Antropização como fator de influência no processo de desertificação em Caraúbas-PB**. In: ENCONTRO DE MEIO AMBIENTE UVA/UNAVIDA, 3., 2014, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Teatro Municipal Severino Cabral, 2014. p. 01-09.

CAMPOS, M. de; ALEXANDRINO, R. F.; CAMPOS, S.; SILVA, I. G. Geoprocessamento aplicado no conflito do uso do solo em Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Córrego Três Barras Botucatu (SP). **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 04, p.378-382, 2015.

CUNHA, E. S. da; NUNES, F. R. de A. **Mapeamento do crescimento da área urbana e área de plantio em Uruçuí com o uso de imagens do landsat 5 e 8**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 13., 2017, Teresina. Anais... Teresina: Auditório do Blue Tree Towers Rio Poty Hotel, 2017. p. 158-165.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. F. L.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Indicadores ambientais para Áreas de Preservação Permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 04, p.443 -449, 2013.

JABOATAO DOS GUARARAPES. Lei Municipal Nº 972, de 16 de novembro de 2013. **Estabelece a Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo do município do Jaboaão dos Guararapes**. Jaboaão dos Guararapes, 2013.

LEAL, J. V.; TODT, V.; THUM, A. B. O uso de SIG para monitoramento de áreas degradadas - estudo de caso: APP do Arroio Gil, Triunfo-RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 05, n. 65, p.967-983, 2013

MELO, I. D. F. de; CARNEIRO, A. F. T. **A cartografia no zoneamento ambiental de áreas urbanas em atendimento ao Código Florestal brasileiro**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1., 2004, Recife. Anais... Recife: Decart/UFPE, 2004. p. 01-13.

MENDES, I. L. F.; REIS FILHO, A. A. dos; ESPINDOLA, G. M. de. **Uso do SIG na delimitação e mapeamento das Áreas de Preservação Permanente do Rio Poti (Teresina/PI)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 13., 2017, Teresina. Anais... Teresina: Auditório do Blue Tree Towers Rio Poty Hotel, 2017. p. 33-42.

NOGUEIRA, N. L. de M. **Exercício de compreensão das transformações socioambientais em áreas costeiras urbanas a luz da análise multitemporal em diferentes escalas: bairro Barra de Jangada, Jaboaão dos Guararapes, Pernambuco**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R.; ZIANI, P. Ferramentas de Geoprocessamento aplicadas no mapeamento do uso da terra no município de Jaguari/RS. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 03, p. 1217-1227, 2016.

ROMAGNOLI, I.; PIROLI, E. L.; ZANATA, J. M.; GIMENES, G. R. Geoprocessamento aplicado na análise do uso da terra das Áreas de Preservação Permanente dos corpos d'água da microbacia do Rio da Prata - SP. **Revista Geonorte**, v. 02, n. 04, p. 1529-1539, 2012.

SILVA, L. G. da. **Tipologia das Dinâmicas de Urbanização na Franja Rural-urbana em Jaboaão dos Guararapes – Região Metropolitana do Recife**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SILVA, E. R. A. C.; SANTANA, S. H. C de; MELO, J. G. da S.; MENDES, S. M.; GALVÍNCIO, J. D. A transformação da natureza e as potencialidades do monitoramento ambiental na Lagoa Urbana Olho d'Água – PE: os desafios da complexa relação entre desenvolvimento urbano e a conservação de ambientes naturais. **Guaju**, v. 03, n. 02, p.32-64, 2017.

SILVA JÚNIOR, C. H. L. **Análise multitemporal do uso e cobertura do solo da Área de Proteção Ambiental do Itapiracó no período de 1999 a 2010 em São Luís – MA** 2011. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade CEUMA – São Luís, 2011.

SIMÃO FILHO, J. N.; LOPES, M. C. **Trilha ecológica em mata ciliar e a preservação ambiental**. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE. Paraná, 2013, p.01-16.

VEN, V. L. V. D. Utilização de Sistemas de Informação Geográfica para a gestão de Unidades de Conservação. **Diversidade e Gestão**, v. 01, n. 01, p.88-102, 2017

ZANATA, J. M.; PIROLI, E. L.; DELATORRE, C. C. M.; GIMENES, G. R. Análise do uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente da microbacia Ribeirão Bonito, apoiada em técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, v. 02, n. 04, p. 1262-1272, 2012.

## **Avaliação da resistência mecânica de concretos com reaproveitamento da areia de desmoldagem**

### *Evaluation of the concrete's mechanical resistance with reuse of the demolding sand*

**Sara Borges Correa Santos, Engenheira Civil, FURB**

sara.mussa@hotmail.com

**Leondiniz Gomes de Sousa Júnior, Mestrando em Engenharia Ambiental, FURB**

leonjuninhoceulp@gmail.com

**Mateus Nascimento Vieira de Melo, Mestrando em Engenharia Ambiental, FURB**

mateusmelo@id.uff.br

**Joel Dias da Silva, Doutor em Engenharia Ambiental, FURB**

dias\_joel@hotmail.com

#### **Resumo**

Diariamente, grandes volumes de areia de desmoldagem são descartados pela indústria da fundição na forma de resíduos, e finalmente dispostos em aterros industriais. Buscando valorizar e eliminar este passivo, objetivou-se identificar o comportamento do reuso desta areia na substituição do agregado miúdo natural, na fabricação de artefatos de concreto. Foram realizados ensaios de caracterização com os agregados utilizados. Posteriormente foram confeccionados corpos-de-prova, os quais foram submetidos a ensaios destrutivos de resistência à compressão axial. Os resultados desta pesquisa indicam o aumento da compressão do concreto simples pela inclusão da areia de desmoldagem, além do impacto positivo no meio ambiente, minimizando a exploração de recursos naturais, os mesmos recursos que estão esgotando muito rapidamente.

**Palavras-chave:** Fundição; Areia de desmoldagem; Reuso; Artefatos de concreto.

#### **Abstract**

*Every day, large volumes of demolding sand are disposed of by the foundry industry in the form of waste, and finally disposed of in industrial landfills. In order to valorize and eliminate this liability, we aimed to identify the behavior of the reuse of this sand in the substitution of the natural kid aggregate, in the manufacture of concrete artifacts. Characterization tests were performed with the aggregates used. Subsequently, specimens were prepared, which were submitted to destructive tests of resistance to axial compression. The results of this research indicate the increase of the compression of the simple concrete by the inclusion of the sand of demolding, besides the positive impact on the environment, minimizing the exploitation of natural resources, the same resources that are depleting very quickly.*

**Keywords:** Foundry; De-molding sand; Reuse; Concrete artifacts.

## 1. Introdução

No cenário brasileiro, a Indústria da Construção Civil apresenta grande importância, não somente pela geração de empregos (diretos e indiretos), mas também, por impactar na vida de todas as pessoas, seja no desenvolvimento da infraestrutura, na construção de hospitais e residências, rodovias, dentre outros (HONDA, 2011). Só no ano de 2013, por exemplo, segundo Souza et al. (2015), a indústria da Construção Civil representava cerca de  $\frac{1}{5}$  (um quinto) do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, que na época, totalizava R\$ 4,8 trilhões.

Em contrapartida, é sabido que, desde os primórdios, a devastação do meio ambiente andava paralelamente com a Construção Civil. A mineração, devastação e exploração dos recursos naturais, sem qualquer preocupação com seu esgotamento, considerado até mesmo como normal e quaisquer tentativas de impedi-los, era como que impedir o crescimento e desenvolvimento da civilização. Com o passar dos séculos, a visão do homem quanto aos recursos naturais começou a mudar, com a percepção e constatação de sua finitude (SÁNCHEZ, 2008). Desta forma, o desenvolvimento dito sustentável passou a ser um dos temas mais recorrentes em reuniões com delegações de diversos países, das mais diversas áreas do conhecimento, incluindo os da Construção Civil, levando-se em conta o efeito adverso causado pelos grandes empreendimentos, projetos e programas ao meio ambiente (CORRÊA, 2009).

O Brasil começou a ter consciência da problemática dos resíduos sólidos mais tardiamente, onde muitas das ações tomadas visam corrigir e/ou atenuar danos, que por vezes são irreparáveis. A busca por novas tecnologias, procedimentos mais limpos, bem como normas e políticas públicas mais restritivas aparecem como alternativas na solução de problemas desta natureza (SANTO et al., 2014).

A areia de desmoldagem, subproduto da indústria de fundição, resultante da fabricação de moldes de peças fundidas, apresenta um potencial para substituir o agregado fino na composição do concreto, especialmente na fabricação de artefatos da construção civil (GOLUB; SILVA, 2017). De acordo com Pereira (2016), é crescente a reutilização da areia de desmoldagem como material alternativo na Construção Civil, com inúmeras possibilidades para a sua valorização como matéria-prima, seja parcialmente ou em sua totalidade (BHARDWAJ, 2018).

A areia de desmoldagem é basicamente uma mistura de areias e ligantes utilizados pela indústria de fundição para a fabricação de moldes e machos que dão formato às peças de metal (KOFF et al., 2010). Esta areia de uso industrial poderá ser reutilizada várias vezes, enquanto garantir as características físico-mecânicas dos moldes, contudo, após um determinado período, transformam-se em material residual (JADHAV, 2017). Outra vantagem na valorização desta areia é no quesito ambiental, que além de viabilizá-la como matéria-prima em outros processos industriais, possibilita também a economia dos recursos naturais, como os depósitos naturais de rochas para a produção de areia manufaturada, economizando assim o custo total da construção (JUNKES, 2002).

Recentemente, o Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina (CONSEMA) aprovou a Resolução que Dispõe sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição nº 17.479 de 15/01/2018, permitindo a utilização de areia de desmoldagem como matéria-prima para obras como rodovias e redes de saneamento, possibilitando

também a sua utilização na produção de artefatos de concreto, concreto asfáltico, assentamento de tubulações e cerâmica vermelha (SANTA CATARINA, 2018). A partir deste entendimento, o presente trabalho objetiva avaliar a viabilidade mecânica de substituição da areia natural pela areia de desmoldagem como parte do agregado miúdo na fabricação de concreto, com a atenuação dos impactos ambientais decorrentes de seu descarte, por vezes, inadequado.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 Indústria de fundição

De acordo com a Associação Brasileira de Fundidos (ABIFA, 2016), a produção de 2017 chegou a 2,315 milhões de toneladas de peças fundidas e faturamento de US\$ 7,5 bilhões. Atualmente o Brasil, acumulou percentuais positivos em 3,8%, no comparativo com os nove primeiros meses de 2017, o que pode ser observado na Tabela 1.

Metal	Jan-Set 2018 (t)	Jan-Set 2017 (t)	2018/2017 (%)
Ferro	1.404.839	1.341.837	4,7
Aço	178.433	138.923	28,4
Não ferrosos (total)	146.151	185.975	-21,4
Cobre	15.707	15.445	1,7
Zinco	864	885	-2,4
Alumínio	125.800	165.503	-24
Magnésio	3.780	4.142	-8,7
<b>TOTAL</b>	<b>1.729.423</b>	<b>1.666.735</b>	<b>3,8</b>

**Tabela 1: Produção acumulada de fundidos entre janeiro e setembro de 2018. Fonte: Adaptado da ABIFA, 2018.**

A indústria de fundição é dividida entre a composição da liga do fundido e o tipo de processo de fundição utilizado, que afetam diretamente as propriedades mecânicas da peça final. Desta forma, na composição da liga, os fundidos serão classificados como ferrosos ou não ferrosos (CASOTTI, 2011). Segundo a American Foundry Society (AFS) a areia de desmoldagem é uma areia sílica de alta qualidade, misturada com aglomerante, água e aditivos, sua granulometria varia em torno de 0,05mm a 2mm. Nas últimas décadas, bem mais de 100 milhões de toneladas de areia na produção têm sido utilizadas no processo, e destas, pelo menos 7 (sete) milhões de toneladas têm sido descartadas em aterros sanitários, com potencial de reaproveitamento em outros setores.

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB, o consumo de areia para a produção é de acordo com o tipo de peças que a empresa fabrica na sua linha de produção, ficando em 800kg a 1.000kg de areia a cada 1.000kg de peças fabricadas. Essa areia é retirada das jazidas de cava ou rios, que são recursos naturais

(SÃO PAULO, 2002). Segundo Lopes (2009) essa areia tem como finalidade ser um material de moldagem, que forma a forma externa da peça fundida como núcleos que formam espaços vazios internos, por sua resistência mecânica a areia aguentar o metal líquido no momento do vazamento, até a peça conseguir solidificar.

A areia de desmoldagem pode ser classificada conforme o seu risco à saúde pública e ao meio ambiente, através dos critérios de avaliação da norma NBR 10004 (ABNT, 2004 [a]), esse resíduo pode ser classificado como sendo da Classe I (perigosos); Classe II (não perigosos), dentro da classe II é subdividida em classe II A (não inerte) e classe II B (inerte). Porém, na sua grande maioria esses resíduos de areia de desmoldagem são classificados como Classe II A, ou seja, possuem ao menos um de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos valores máximos permitidos por norma de sua classificação (VALENTINA et al., 2015).

O estado de Santa Catarina através da Resolução CONSEMA nº 26 - estabelece critérios da utilização da areia de desmoldagem, a mesma permite o uso desse resíduo desde que sua classificação fique dentro da classe de não perigosos e possuir limites inferiores aos máximos estabelecidos, quando analisada a toxicidade aguda (SANTA CATARINA, 2013). O reaproveitamento dos resíduos deve obrigatoriamente obedecer a critérios e estudos técnicos. Além disto, deve-se analisar a durabilidade, o desempenho, e alinhá-los ao custo e impacto ambiental. Estudos de durabilidade, por exemplo, ajudam a estimar a vida útil, definida como período de tempo durante o qual o produto vai apresentar desempenho satisfatório, nas diferentes condições de uso (SJÖSTRÖM, 1996).

Armenge (2006) fez um estudo da utilização da areia de fundição residual como fonte de matéria-prima para fabricação de argamassas utilizadas na construção civil, levando-se em conta os resultados obtidos nos ensaios de lixiviação e análise de massa. Observou-se que, todos os elementos químicos avaliados apresentaram-se menores do que os valores máximos estabelecidos pela NBR 10004/87. Contudo, os ensaios de solubilização mostraram que a adição de resíduo na argamassa deve ser limitada para evitar impacto ambiental.

Por fim, o Toledo (2017), verificou a viabilidade técnica e ambiental da utilização de ADF como agregado na fabricação de pavimento intertravados de concreto, concluindo que é possível a utilização da ADF Verde e ADF Silicato como substituinte parcial de agregados miúdos na produção de pavimentos de concreto, pois, os resultados dos ensaios ambientais indicaram que estes resíduos estavam de acordo com as exigências estabelecidas na NBR 10.004 (ABNT, 2004) para a lixiviação e solubilização dos contaminantes presentes.

### **3. Procedimentos metodológicos**

Os procedimentos adotados para a caracterização dos materiais utilizados para realizar a dosagem do concreto e para a elaboração dos corpos-de-prova, seguiram os protocolos estabelecidos pela Associação Brasileira de Cimento Portland/*American Concrete Institute* (ABCP/ACI) para concretos simples não estruturais.

### 3.1 Materiais

O cimento utilizado no presente estudo foi o CPV-ARI, esse tipo de cimento é o mais usado para aplicações onde é necessária uma elevada resistência, como é o caso das indústrias de pré-moldados, classificado como um aglomerante hidráulico devido à ser reagente a ação da água (SOKOLOVICZ, 2013), que juntamente o agregado miúdo e a água comporão a pasta do concreto. A resistência do concreto dependerá da relação entre os pesos da água e cimento, denominado fator relação água/cimento. O fator água/cimento adotado para o estudo de 0.45, seguindo os critérios da NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

A areia de desmoldagem utilizada foi cedida por uma indústria de fundição localizada no Distrito Industrial de Gaspar/SC. Foram coletados dois tipos de areia de desmoldagem, a areia verde, composta por areia de uso industrial acrescida de bentonita, pó de carvão e água, e a areia cura frio cuja composição é areia e resina uretânica. A ALUMETAF, a empresa cedente do material utilizado no estudo, apresenta capacidade instalada para a produção de 500 toneladas por mês de peças fundidas, tornando-se referência no mercado de Fundição de ligas de ferro cinzento, branco e nodular na região.

Como agregado miúdo foi utilizado uma areia proveniente do município de Blumenau/SC. Para a realização dos experimentos o agregado foi submetido a um peneiramento na malha 4,75mm de acordo com o ensaio de granulometria realizado segundo a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Os agregados graúdos são classificados conforme os tamanhos das partículas componentes (diâmetros mínimos e máximos), a saber: Brita 0 → 4,8 a 9,5mm; Brita 1 → 9,5 a 19mm; Brita 2 → 19 a 25mm; Brita 3 → 25 a 50mm; Brita 4 → 50 a 76mm; Brita 5 → 76 a 100mm (BAUER, 1992, p. 80). Foi utilizado como agregado graúdo brita 1, que também foram submetidos a ensaio de granulometria segundo a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 Análises físicas

Foram seguidos os procedimentos descritos na NBR NM 248 Agregados - determinação da composição granulométrica. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Materiais (ECV/FURB). O agregado miúdo fino selecionado para realizar a dosagem do concreto, com finalidade da elaboração dos corpos de prova foi a areia grossa, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Inicialmente, a amostra de areia media foi separado, colocados em um jogo de peneiras normalizadas, previamente limpas, encaixadas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, a amostra de areia foi colocada sobre a peneira superior, havendo uma agitação mecânica durante 5 (cinco) minutos, permitindo-se a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Obteve-se 2,4mm de dimensão máxima e 2,17mm para o módulo de finura. A realização do ensaio de granulometria da Brita 1 seguiu o protocolo estabelecido pela

norma Brasileira supracitada. O mesmo procedimento da brita 1, foi adotado para determinar o ensaio granulométrico da areia grossa. A mesma obteve uma dimensão máxima de 19mm e módulo de finura de 7,04mm.

### 3.2.2 Proporções da areia de desmoldagem

Como forma de avaliação da viabilidade da utilização da areia de desmoldagem, foram definidos 3 (três) traços de concreto com areia de desmoldagem substituindo a areia natural, que serão comparados com um traço de referência, sendo: Traço 1 – com 0% de substituição; traço 2 – com 10% de substituição; traço 3 – com 20% de substituição; traço 4 – com 30% de substituição. O traço é a dosagem do concreto e objetiva determinar as proporções de cada material a ser empregado para que possa assim atender a 2 (duas) condições básicas de resistência desejada e de plasticidade suficiente do concreto fresco (ANDOLFATO, 2002). Desta maneira, a formulação do traço foi realizada conforme as seguintes normas técnicas elencadas no Quadro 1.

ABNT NBR	DESCRIÇÃO
NBR 16697	Cimento Portland – Requisitos
NM 248	Agregados - Determinação da composição granulométrica;
NBR 7211	Agregados para concreto – Especificação;
NBR 7212	Execução de concreto dosagem em central;
NBR 12655	Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento;

**Quadro 1: Relação de normas para elaboração do traço. Fonte: elaborado pelos autores.**

A moldagem dos corpos de prova iniciou-se após a caracterização de todos os elementos que o constituem. Escolheu-se um traço adequado de 30MPa, para a produção mesmos, cuja determinação em massa foi de 1:1.23:2.23:0.45, com a proporção de cimento, areia, brita e água, respectivamente. O traço usado para a dosagem do concreto foi igual para ambos os agregados utilizados, conforme mostra a Tabela 02.

Material Seco	Traço para 10kg de aglomerante		
	(kg)	(L)	(m <sup>3</sup> )
Aglomerante (cimento)	10,00	3,21	0,0032
Agregado	37,06	43,97	0,0439
Agregado miúdo	14,82	5,64	0,0056
Agregado graúdo	22,23	38,34	0,0383
Água	4,50	4,50	0,0450
<b>Total de Concreto</b>	<b>51,06</b>	<b>51,18</b>	<b>0,0512</b>

**Tabela 2: Dosagem do material. Fonte: elaborado pelos autores.**

Foram moldados 28 corpos de prova, dos quais 12 eram constituídos de agregado miúdo com areia cura frio, 12 eram constituídos de agregados de areia verde. Os 12 corpos de prova, foram separados em 3 (três) grupos de 4 (quatro) corpos de prova, sendo eles com proporção de substituição de 10%, 20% e 30%, respectivamente. Foram confeccionados também mais 4 (quatro) corpos de prova sem a adição da areia de desmoldagem para ter um comparativo com os resultados obtidos, os quais foram chamados de corpos de prova de referência. Após a moldagem dos corpos-de-prova, os moldes foram colocados em uma superfície horizontal plana, rígida e protegidos de qualquer vibração durante 24 horas. Em seguida os mesmos foram desmoldados e submetidos à cura submersa durante 28 dias, após esse tempo realizou-se a preparação de suas bases através da retificação dos mesmos, com o intuito de deixar suas superfícies uniformes. A retificação da amostra é realizada através do desgaste mecânico com disco diamantado.

### **3.2.3 Ensaio de resistência à compressão**

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Foi utilizada uma prensa hidráulica da marca EMIC, disponibilizada pelo ECV/FURB. Este equipamento possui a leitura em tonelada-força (tf), sendo assim, para cálculo da resistência a compressão e transformação da medida em megapascal (MPa). A realização do ensaio ocorreu aos 28 dias de cura depois da moldagem dos corpos de prova, onde foram rompidos.

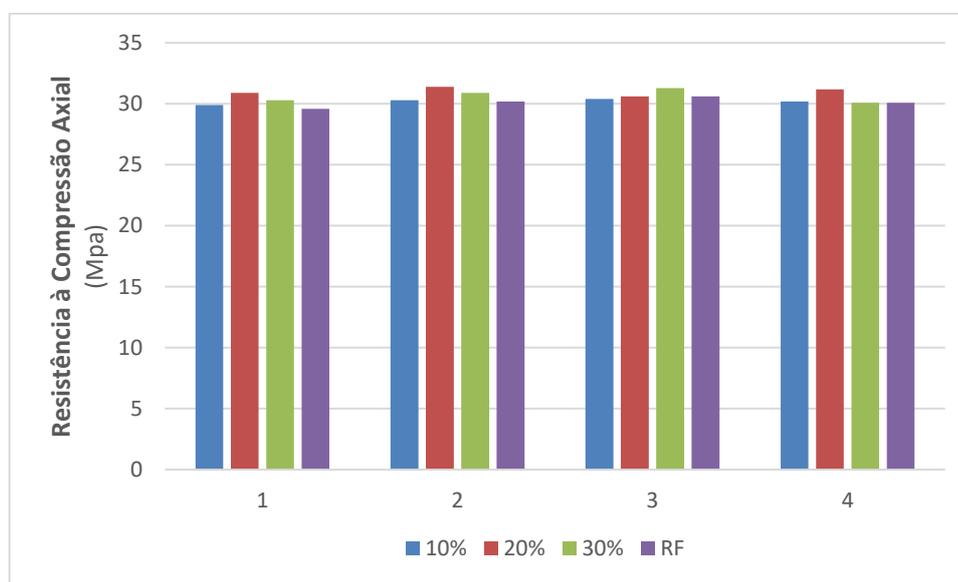
### **3.2.4 Laudos ambientais da areia de desmoldagem**

Visando a questão da ecotoxicidade das areias de desmoldagem utilizadas nesta pesquisa, a empresa forneceu os laudos ambientais, os ensaios foram realizados pelo laboratório IP – Instituto de Pesquisas Químicas EIRELI EPP por meio de procedimentos de amostragem e preparo das amostras seguindo as exigências da norma NBR 10007 – Amostragem de Resíduos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Essa classificação é de suma importância, pois, visa determinar se existe algum impacto ao meio ambiente e perigo de saúde a sociedade, tendo em vista tais aspectos, foram realizados testes de lixiviação e solubilização das areias, os mais importantes quanto a sua classificação. Comparando com a NBR 10004, a areia descartada de fundição é classificada como II A – não inerte, por apresentar valores de ensaios da massa solubilizada acima do limite máximo permitido. Já conforme a resolução CONSEMA 26/2013, a areia de desmoldagem descartada apresentou conformidade com os limites estabelecidos.

## 4. Resultados

### 4.1 Areia cura frio

Os resultados da resistência à compressão do concreto contendo a areia cura frio foram realizados aos 28 dias de cura. Aos 28 dias de idade, os três traços obtiveram valores de resistências superiores ao traço referência (RF), que permaneceu em média 29.93MPa, sendo o traço com 10% de substituição da areia natural pela areia cura frio, permaneceu em média de 30,2MPa e o traço com 20% de substituição da areia natural pela areia de cura frio, permaneceu em média de 31,3MPa, enquanto que o traço de 30% de substituição da areia natural pela areia de cura frio manteve-se muito parecido com o da RF com média de 30,65MPa, conforme o Gráfico 1.

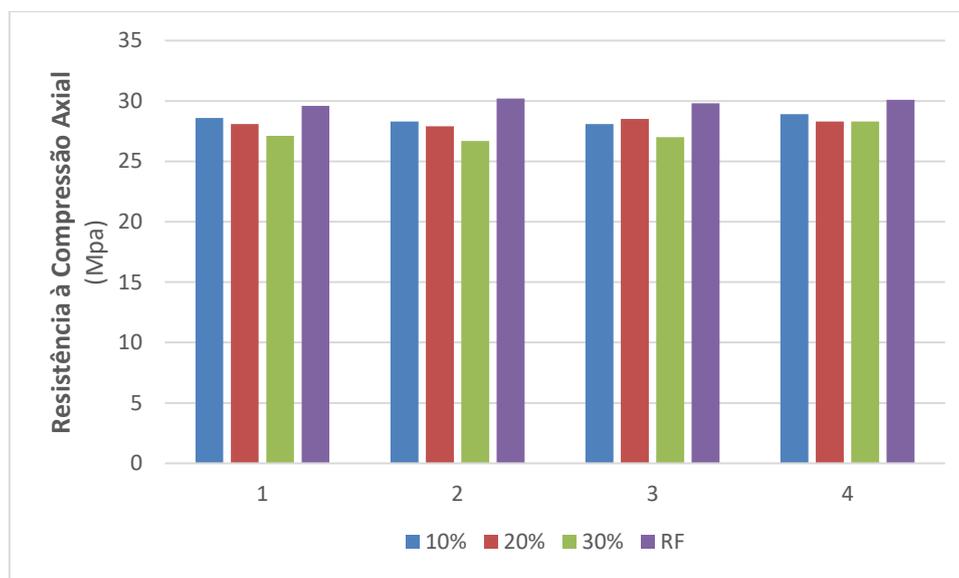


**Gráfico 1: Resultados do ensaio de resistência à compressão da areia cura frio. Fonte: elaborado pelos autores.**

O aumento da resistência com a utilização da areia cura frio pode ser explicado através dos ensaios de caracterização desta areia, sendo que através dos ensaios de granulometria o módulo de finura da areia cura frio resultou em 1,37. Pelo fato da areia de desmoldagem possuir grãos mais finos que a areia natural, a mesma consegue preencher melhor os vazios do concreto e também contribuir para a melhor hidratação do mesmo.

### 4.2 Areia verde

O ensaio da resistência à compressão do concreto contendo a areia verde também foi realizado aos 28 dias de cura, o Gráfico 2 mostra os resultados obtidos com as 3 (três) proporções estabelecidas previamente.



**Gráfico 2: Resultados do ensaio de resistência à compressão da areia verde. Fonte: elaborado pelos autores.**

Aos 28 dias de idade, os três traços obtiveram valores de resistências um pouco abaixo dos corpos de prova de referência (RF), que atingiu em média 29,93MPa, sendo o traço com 10% de substituição da areia natural pela areia verde com média de 28,98MPa e o traço com 20% de substituição da areia natural pela areia verde com resistência média de 28,20MPa, enquanto que o traço de 30% de substituição da areia natural pela areia verde atingiu 28,27MPa de resistência.

## 5. Conclusões e recomendações

A caracterização da brita e da areia utilizada no traço obteve-se resultado satisfatório, obedecendo ao limite imposto na norma, já a caracterização da areia cura frio, apresentaram resultados satisfatórios para os limites comparativos impostos pela norma de agregado, contudo, a areia verde, apresentou-se um pouco acima do limite superior da NBR NM 248/2003.

Verificou-se que, conforme pontuado na literatura, a resistência do concreto não sofreu nenhuma influência negativa quando substituição parcial de insumos, possibilitando-se o reaproveitamento da areia de fundição descartada como substituo parcial do agregado no concreto. Em relação à resistência compressão, os corpos-de-prova com porcentagens da areia de desmoldagem não apresentaram alterações significativas em comparação com os resultados obtidos dos corpos-de-prova ao traço de referência, com areia natural, onde na literatura, frações entre 10% a 45% não interferem na resistência do concreto simples não estrutural. Contudo, estudos de acompanhamento das peças, ao longo de sua vida útil, são necessários para verificar sua integridade e possível toxicidade ao meio ambiente, bem como a confiabilidade dos resultados. Além disto, a areia possui característica distinta em decorrência da sua fonte de origem, com isso um estudo mais

específico e detalhado de cada tipo de areia de desmoldagem é necessário para que sua melhor aplicação seja feita. Finalmente, verificou-se que, a areia do processo de cura a frio reproduziu os melhores resultados em relação a areia verde, além de apresentar resistência à compressão superior aos traços de referência das exigências ambientais NBR 10.004 e 10.005, onde a reutilização deste material torna-se uma alternativa sustentável com a inserção deste resíduo industrial, representativo e volume, como matéria-prima na fabricação de novos produtos.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: 2009: Agregados para concreto: Procedimento. Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 10004: 2004[a]: Classificação de resíduos sólidos: procedimento. Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10005:2004[b]: Ensaio de Lixiviação: procedimento. Rio de Janeiro/RJ, ABNT 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10006:2004[c]: Ensaio de Solubilização: procedimento. Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10007:2004[d]: Amostragem de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 7215:1996: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. NBR NM 248:2003: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. NBR 12655:2015: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento, Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 5738:2003: Moldagem e cura de corpos de prova cilindro ou prismático de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 5739:2007: NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Procedimento, Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. Rio de Janeiro/RJ, ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIDOS. ABIFA. Guia de boas práticas do setor fundição. Disponível em: <<http://www.sifumg.com.br/wp-content/uploads/2016/02/cartilha-de-fundicao.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

\_\_\_\_\_. Anuário ABIFA 2016: Guia ABIFA de fundição. Disponível em:<[http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista\\_abifa\\_193.pdf](http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista_abifa_193.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2018.

AMERICAN FOUNDRY SOCIETY. Introduction to foundry sand. What is foundry sand. Disponível em < <https://www.afsinc.org/introduction-foundry-sand> > Acesso em: 04 set. 2018.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. Controle tecnológico do concreto: Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural, Ilha Solteira. 2002. p. 1-33. Notas de Aula. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

ARMANGE, Luciana Cristina. Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.

BAUER, L. A. Falcão (Luiz Alfredo Falcão). Materiais de construção. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, c1992.

BHARDWAJ, Bavita; KUMAR, Pardeep. Waste foundry sand in concrete: Review. Construction and building materials, India. Editorial Board, p.1-673, maio 2017. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.010> sand > Acesso em: 04 set. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 3 de agosto de 2010[a]. Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. DOFC – Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília col. 1; p.3. Poder legislativo.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, DOFC – Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília. Poder legislativo. < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 25 out. 2018.

CASOTTI, Bruna Pretti; BEL FILHO, Egmar del; CASTRO, Paulo Castor de. Indústria de Fundição: Situação Atual e Perspectivas. Metalurgia: BNDES Setorial 33, pp. 121-162. 2011. Disponível em: < [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BS%2033\\_final%20A.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BS%2033_final%20A.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2018.

FATMA. Fundação do Meio Ambiente. Portaria nº 017, 2002 – Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências.

HONDA, Ricardo Hiroshi. Subsídios para o planejamento da implantação do sistema de Lean Construction em uma construtora. 2011. 130 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

JADHAV; TANDE; DUBAL. Beneficial reuse of waste foundry sand in concrete of Waste. International Journal of Scientific and Research Publications, India, v. 7, n. 3, p.2250-3153, mar. 2017. Disponível em < <http://www.ijsrp.org/research-paper-0317/ijsrp-p6311.pdf> >. Acesso em: 14 set. 2018.

JOINVILLE, Município. Lei Complementar nº 505, DE 19 DE JUNHO DE 2018, Joinville, p.1-10, 19 jun. 2018. Disponível em < <https://wwwold.joinville.sc.gov.br/public/portaladm/pdf/jornal/25a799373d17aeec36a4b3a02ce8439b.pdf> >. Acesso em: 10 set. 2018

JUNKES, Maria Bernadete. Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de

Santa Catarina., Florianópolis, 2002. Disponível em  
<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/9349.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2018.

KLINSKY, Luis Miguel Gutiérrez. Proposta de reaproveitamento de em sub-bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos. 2008. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transporte, Universidade de São Paulo, Sao Paulo, 2009.

KOFF, Lee et al. Effect of compost-, sand-, or gypsum-amended waste foundry sands on turfgrass yield and nutrient content. *Journal of environmental quality*, v. 39, n. 1, p. 375-83, 2010.

SANTA CATARINA. CONSEMA/SC Resolução nº 26 (2013), de 06 de setembro de 2013. Estabelece as diretrizes sobre a Utilização das Areias Descartadas de Fundação – ADF e adota outras providências.

SANTA CATARINA. nº 17.479 de 15/01/2018. Dispõe sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundação. DOFC – Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília.

SANTO, Juliete de Oliveira et al. Avaliação de impacto ambiental: conceito e método. São Paulo. Oficina de Textos. 2014.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e métodos. Editor: Officinal de Textos. 2008.

SOKOLOVICZ, Bóris Casanova. Microstructure and durability of a chloride prototypes with concrete gray rice husk with and without prior grind. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SOUZA, Bruno Almeida et al. Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil. *Revista de Desenvolvimento Econômico*, Salvador, v. 17, n. 31, p.140-150, jun. 2015.

TOLEDO, Jessica Marina Signorelli. Avaliação físico-química da utilização de areias descartadas de fundição na fabricação de pavimento intertravado de concreto. 2017. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Universidade Federal do Paraná., Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná., Engenharia e Ciência dos Materiais, no Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Curitiba, 2017.

VALENTINA, Luiz Veriano Oliveira dalla et al. Caracterização do resíduo pó de exaustão de fundição na indústria da construção civil. *Revista Espacios*, 13 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n05/15360509.html>>. Acesso em: 20 out. 2018.

## **Fabricação e estudo de produto dispersante à base de elementos biodegradáveis para adição em matriz de concreto visando efeito plastificante**

*Manufacture and study of dispersant product based on biodegradable elements for addition in concrete matrix aiming at plasticizing effect*

**Cayttano Saul de Sá Zarpellon, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso.**

czarpel@outlook.com

**Cristopher Antonio Martins de Moura, Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso.**

cristopherantonio@live.com

**Claudemir Batalini, Doutor em Química, Universidade Federal de Mato Grosso.**

pirapotimao@msn.com

### **Resumo**

O concreto é o material construtivo mais consumido no mundo, composto por partículas de agregados, classificados de acordo com suas dimensões, envolvidas por um meio aglomerante formado por cimento Portland e água, possuindo dois estados, sendo o fresco e o endurecido. A presente pesquisa tem como objetivo a fabricação e estudo de um sabão líquido que atua como produto dispersante produzido a partir de materiais biodegradáveis buscando efeito plastificante quando adicionado ao concreto. A amostra de dispersante fabricada em laboratório foi adicionada ao concreto com 2% em relação à massa cimentícia, mantendo fixa a relação água/cimento e os demais componentes. Os resultados mostraram que no ensaio do tronco de cone do concreto fabricado com o dispersante, verificou-se o aumento do abatimento, em relação à matriz de referência, o que indica a capacidade do elemento em ser um agente redutor da consistência, entretanto, ocasionou a redução da resistência à compressão, comparado ao concreto de referência. Dessa forma, avalia-se que o dispersante é um redutor de consistência que ocasionou a redução da resistência mecânica, devido a possível incorporação de ar, constatada com a redução da densidade dos corpos de prova, sendo necessário o estudo de dosagens experimentais que permitam elevação do abatimento, sem a redução significativa de resistência.

**Palavras-chave:** plastificante; concreto; aditivo biodegradável.

## **Abstract**

*Concrete is the most consumed construction material in the world, composed of particles of aggregates, classified according to their dimensions, surrounded by a binder consisting of Portland cement and water, having two states, being fresh and hardened. The present research aims at the manufacture and study of a liquid soap that acts as a dispersant product produced from biodegradable materials seeking plasticizing effect when added to the concrete. The laboratory dispersant sample was added to the concrete with 2% of the cementitious mass, keeping the water / cement ratio and the other components fixed. The results showed that in the test of the cone trunk of the concrete made with the dispersant, the increase of the abatement was verified, relative to the reference matrix, which indicates the capacity of the element to be a reducing agent of the consistency, however, caused the reduction of the compressive strength, compared to the reference concrete. In this way, it is evaluated that the dispersant is a consistency reducer that caused the reduction of the mechanical resistance, due to the possible incorporation of air, verified with the reduction of the density of the test specimens, being necessary the study of experimental dosages that allow elevation of the abatement, without the significant reduction of resistance.*

**Keywords:** *plasticizer; concrete; biodegradable additive.*

## **1. Introdução**

O concreto é o material construtivo mais consumido no mundo, capaz de adaptar-se aos mais distintos formatos, apresentando-se com considerável desempenho e reduzidos custos. É composto por partículas que variam entre agregados graúdos e agregados miúdos, classificados de acordo com suas dimensões, envolvidos por um meio aglomerante formado por cimento Portland e água, desenvolvendo o estado fresco e o estado endurecido (ABCP, 2017).

A produção do concreto in loco é uma atividade comum nos canteiros de obras, e nesse contexto, manter o controle tecnológico é muito desafiador, pois observa-se práticas que não condizem com o conhecimento técnico como a introdução de água além do traço estabelecido a fim de manter ou elevar a trabalhabilidade do concreto (TEIXEIRA, 2007).

O melhoramento do concreto em termos de aumento de abatimento, depende de propriedades como consistência e trabalhabilidade que podem ser otimizadas a partir da aplicação de aditivos, como os plastificantes comerciais a fim de evitar a introdução de água além do que prescrito pela dosagem para reduzir a consistência (HELENE; TUTIKIAN, 2012).

Sob essa ótica, o objetivo da presente pesquisa é a fabricação e estudo de um sabão líquido produzido com base em materiais biodegradáveis buscando efeito plastificante quando adicionado ao concreto. Tal estudo representa uma proposta no sentido da sustentabilidade na construção civil buscando a aplicação de um produto biodegradável a fim de solucionar uma deficiência presente nos canteiros de obra de menor porte.

## 2. Revisão bibliográfica

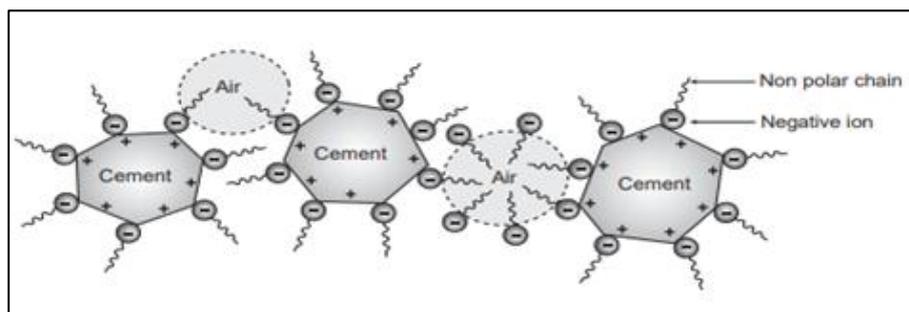
O concreto possui dois os estados no qual a matriz precisa desenvolver suas propriedades intrínsecas da forma mais eficiente, de modo que o controle tecnológico realizado no estado fresco contribua para o melhor desenvolvimento do estado endurecido. A fabricação do concreto pode ser realizada a partir de diversas bases cimentícias, denominados aglomerantes hidráulicos, além de conter na composição também, a presença de adições, como aditivos plastificantes, polímeros e fibras. As adições, como são nomeadas quaisquer inserções além da composição elementar do concreto, preveem a alteração de propriedades específicas que tem como objetivo o melhoramento do produto final, em relação à sua eficiência de projeto e durabilidade (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Os aditivos plastificantes são adicionados ao concreto com a finalidade de intervir no melhoramento de propriedades, como consistência e trabalhabilidade. Geralmente, estes aditivos são dispostos na forma líquida e adicionados ao concreto no intervalo de mistura em pequenas quantidades, não superiores a 5% da massa cimentícia, conforme a ABNT NBR 12655:2015 (FERGUSON, 2005).

De acordo com Neville (2016), com a adição do aditivo plastificante é possível aumentar a trabalhabilidade mantendo fixa a relação água/cimento. Deste modo, têm-se melhores resultados de abatimento do concreto, reduzindo a incidência de formação porosa, contribuindo para o ganho de resistência à compressão simples.

Recentemente foram estudadas aplicações de detergente comercial na matriz de concreto, com a finalidade de se obter a redução da consistência, avaliando efeitos análogos aos do aditivo plastificante comercial. Manhães e Souza (2016) realizaram estudos relacionados à eficiência do detergente como agente redutor da consistência no concreto e concluíram que o detergente sintético quando adicionado na matriz gera resultados de abatimento moderadamente superiores ao aditivo plastificante comercial.

Neste contexto, Freitas (2013) destaca que o efeito plastificante proporcionado pelo detergente na matriz de concreto, análogo ao efeito do aditivo plastificante comercial, é devido ambos pertencerem ao mesmo grupo químico de tensoativos aniônicos, assim como sabão líquido proposto nesta pesquisa, denominado produto dispersante. Esses tensoativos possuem como grupo hidrófilo um radical com carga positiva e outra negativa, interagindo com a partícula de cimento caracteristicamente positiva, enquanto a extremidade positiva fica exposta formando as chamadas micelas, como mostra a Figura 1. Desta forma, tem-se então a ação de repulsão eletrostática entre as micelas, promovendo o afastamento, logo reduzindo o atrito, causando maior deformabilidade no estado fresco, denominado como redução da consistência.



**Figura 1 – Representação de reação cimento-aditivo. Fonte: MEHTA; MONTEIRO (2008, p. 285).**

O sabão é o produto da reação entre óleos ou gorduras em contato com um álcali, sendo os mais utilizados o hidróxido de sódio ou potássio e o produto desta reação é denominado como sal de ácido carboxílico. Assim como os aditivos plastificantes comerciais são advindos da reação entre o ácido abiético, ácido sulfônico, dentre outros, com o hidróxido de sódio formando então como produto da reação o sal de ácido sulfônico, como exemplo, denominado plastificante; da mesma forma o óleo de soja, presente como ésteres do glicerol reage também com o hidróxido de sódio, formando então o sal de ácido carboxílico, denominado sabão líquido, reconhecido como produto dispersante. Os sais possuem em sua estrutura molecular ligações com caráter iônico, sendo que estas ligações possuem extremidades positivas e negativas, gerando diferença de eletronegatividade, formando um dipolo elétrico, o que garante a interação com as partículas de cimento, caracteristicamente positivas, resultando no desenvolvimento de micelas capazes de promover a repulsão entre as partículas, reduzindo o atrito e a consistência da matriz de concreto (NETO; PINO, 2011).

O dispersante (sabão líquido) tem a estrutura molecular formada predominantemente por carbonos e possui configuração linear. Por outro lado, o aditivo plastificante comercial tem a estrutura molecular também com predominância carbônica, porém possui configuração cíclica. Nesse contexto, destaca-se que de acordo com Pinto *et al.* (2012), existem microrganismos presentes na água, capazes de reconhecer e promover o processo de digestão de moléculas com estruturas carbônicas lineares, ao passo em que não desempenham esta mesma função com moléculas com cadeia carbônica cíclica. Este fator de ação dos microrganismos caracteriza o material como biodegradável ou não, logo, o plastificante comercial é um produto não-biodegradável e o produto dispersante é um elemento biodegradável.

Por conseguinte, entende-se que a adição do dispersante na forma de sabão líquido na produção do concreto, pode proporcionar à matriz característica favorável quanto à trabalhabilidade, que é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado em uma determinada utilização com facilidade e sem perda de sua homogeneidade, de modo a oferecer facilidade aos operários no processo de fabricação, transporte, lançamento e adensamento, pois mantendo a proporção de água imposta em projeto e adicionando-se o produto dispersante, analogamente ao plastificante, busca-se que o concreto obtenha um grau de fluidez satisfatório que viabilize a aplicação do dispersante produzido.

### 3. Metodologia

De acordo com Gil (2008), a pesquisa é um método sistemático de avaliação do objeto de estudo com o intuito de propor soluções para um determinado problema a partir dos resultados obtidos. De acordo com os procedimentos em submeter o objeto de estudo sob a influência de variáveis e parâmetros fixos, além de possibilitar a investigação das influências devido variações nos resultados e posteriores comparações de dados, é possível classificar a pesquisa como experimental e comparativa.

O dispersante com o qual se busca o efeito plastificante foi produzido nas instalações do LAPQUÍM (Laboratório de Pesquisa em Química de Produtos Naturais) da UFMT/CUA. Em um recipiente de plástico, dissolveu-se 50 g de soda cáustica em 100 mL de água fervente e a seguir, sempre com agitação a fim de promover a diluição e homogeneização de todos os compostos, foram adicionados 100 mL de óleo de soja comercial virgem. Logo após, foram adicionados 100 mL de etanol. O sistema permaneceu sob agitação e ao final, diluiu-se com água até um volume final de 3,5 litros (L).

Para fabricação do concreto, utilizou-se cimento Portland (CPII-Z 32), agregado miúdo, agregado graúdo e água potável, sendo que os agregados foram caracterizados e classificados de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003 e ABNT NBR 7211:2009, respectivamente. O traço dos materiais manteve-se fixo, variando apenas a adição do produto dispersante ( $A_1$ ) e plastificante comercial. A dosagem padrão dos materiais foi determinada como 1:3:3,67:0,52 de modo que os valores correspondem respectivamente ao cimento Portland, areia, brita e relação água/cimento.

Foram moldados cinco corpos de prova para cada elemento de estudo, como mostra a Figura 2, com diferentes matrizes de concreto, sem aditivos, com a adição da amostra de dispersante (sabão líquido) e com plastificante comercial, com a concentração de 2% para o plastificante e para o dispersante, em relação à massa cimentícia. Destaca-se que o percentual do plastificante é o valor máximo permitido pelo fabricante. Em sequência, dispôs-se então o concreto em moldes metálicos com base de 10 centímetros e altura 20 centímetros, permanecendo em repouso durante 24 horas, sendo este intervalo definido pela ABNT NBR 5738:2015 como o período de cura inicial do concreto.



**Figura 2– Corpos de prova de concreto. Fonte: Arquivo do autor (2018).**

No decorrer do trabalho, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone para avaliação, de modo geral, da trabalhabilidade da matriz fabricada com o produto

dispersante, aditivo plastificante comercial e sem aditivos, obtendo-se desta forma resultados relacionados à consistência do concreto. Além disso, realizou-se também o ensaio de resistência à compressão simples, realizado conforme indicado pela ABNT NBR 5739:2018 após 28 dias de submersão dos corpos de prova em solução saturada de hidróxido de cálcio. Os resultados destes ensaios possibilitaram a comparação entre o concreto produzido com o produto dispersante, aditivo plastificante e sem aditivos.

A resistência mecânica do concreto é determinada através dos ensaios de compressão dos corpos de prova cilíndricos, contemplada pela ABNT NBR 5739/2018. Desta forma, sabe-se que para uma mesma dosagem, ocorre a variação dos resultados de resistência e por isso é necessário demonstrar esses valores com caráter estatístico. Desta forma, admitindo a curva normal de distribuição, tem-se então a representação da resistência característica do concreto à compressão na equação (1), de acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2016).

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 * \delta. \quad (1)$$

Sendo:

$f_{ck}$  - o valor de cada resultado obtido no ensaio e  $n$  é o número de ensaios realizados.

$f_{cm}$  - valor médio dos resultados, em MPa.

$\delta$  - desvio padrão.

A ABNT NBR 12655:2015 determina um percentual que majora o resultado do desvio padrão e pela diferença com o valor médio das resistências obtidas, fornece o resultado do  $f_{ck}$  que é a resistência característica do concreto. O valor de 1,645 é denominado variável reduzida da distribuição normal que inclui a possibilidade de que no ensaio de ruptura, 5% do total de corpos de prova apresentem resultados de resistência abaixo do valor de  $f_{ck}$ , ou seja, a ABNT NBR 6118:2014 prevê que existem resultados de resistências menores do que as de projeto na curva de distribuição normal e isso não cause danos à estrutura.

#### 4. Discussões e Resultados

Após o ensaio de peneiramento com a série normal de peneiras, as quantidades retidas foram removidas e pesadas de modo a caracterizar a composição granulométrica do agregado miúdo, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1**

Resultados de granulometria do agregado miúdo

<b>Ensaio de Granulometria</b>					
<b>Peneira</b>	<b>Abertura</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>Percentual retido (%)</b>	<b>Percentual retido acumulado (%)</b>	<b>Módulo de finura</b>
4	4,75 mm	0	0	0	0
8	2,36 mm	33,80	3,38	3,38	3,38
16	1,18 mm	110,11	11,01	14,39	17,77
30	600 µm	200,98	20,09	34,48	52,26
50	300 µm	428,52	42,85	77,34	129,60
100	150 µm	206,43	20,64	97,98	227,58
200	Fundo	20,16	2,01	100,00	327,58
	Total	<b>1000</b>	<b>100</b>		<b>7,58</b>

**Tabela 1 – Resultados de granulometria do agregado miúdo. Fonte: Construção do autor (2018)**

Tem se então que a partir do ensaio de granulometria, o agregado miúdo foi classificado como areia grossa, de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003 e o agregado graúdo, classificado como brita 1 de acordo com a ABNT NBR 7211:2009. O ensaio de abatimento do concreto avalia a consistência entre os concretos fabricados com dispersante, plastificante comercial e sem aditivo, como mostra a Tabela 2.

<b>Abatimento do Concreto</b>	
<b>Corpo de Prova</b>	<b>Abatimento (cm)</b>
Produto dispersante	12,50
Plastificante comercial	10,00
Sem aditivo	3,50

**Tabela 2 – Resultados de abatimento do concreto. Fonte: Construção do autor (2018)**

Em relação aos resultados obtidos a partir do ensaio de abatimento do concreto, observa-se que o produto dispersante (sabão líquido), proporcionou resultado ligeiramente superior em relação ao aditivo plastificante comercial. Esses resultados coadunam com o que foi observado por Manhães e Souza (2016) em seu trabalho com detergente comercial agindo como agente redutor da consistência, resultados de abatimento ligeiramente superiores aos da matriz com plastificante comercial. Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, obtendo-se os seguintes resultados descritos na Tabela 3.

<b>Resultados de resistência à compressão simples</b>			
Sem aditivo	tf	MPa	Massa (kg)
CP1	14,17	17,70	3,70
CP2	14,13	17,65	3,70
CP3	14,38	17,97	3,70
CP4	15,80	19,74	3,75
CP5	14,13	17,65	3,70
Média		18,14	
Desvio Padrão		0,90	
fck		16,65	

**Tabela 3– Resultados de resistência à compressão simples do concreto sem aditivo. Fonte: Construção do autor.**

Observa-se que para os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos sem aditivo, tem-se considerável variação dos resultados o que implica em maior redução do resultado de resistência característica, calculado de acordo com a equação (1). Na tabela 4 estão indicados os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com o dispersante (sabão líquido).

<b>Resultados de resistência à compressão simples</b>			
Produto dispersante	tf	MPa	Massa (kg)
CP1	9,63	12,00	3,30
CP2	9,67	12,10	3,30
CP3	9,05	11,30	3,20
CP4	9,20	11,50	3,45
CP5	10,53	13,20	3,45
Média		12,02	
Desvio Padrão		0,73	
fck		10,80	

**Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão simples do concreto com produto dispersante. Fonte: Construção do autor (2018).**

Observa-se que para os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com o produto dispersante, tem-se menor variação dos resultados, em relação ao concreto de referência. Na tabela 5 estão indicados os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com o aditivo plastificante comercial.

### Resultados de resistência à compressão simples

Plastificante comercial	tf	MPa	Massa (kg)
CP1	18,19	22,70	3,71
CP2	19,14	23,90	3,71
CP3	18,68	23,30	3,67
CP4	18,55	23,20	3,70
CP5	18,18	22,70	3,72
Média		23,16	
Desvio Padrão		0,50	
fck		22,34	

**Tabela 5 – Resultados de resistência à compressão simples do concreto com plastificante comercial.**  
**Fonte: Construção do autor (2018).**

Em relação aos dados dos ensaios de resistência à compressão simples, é possível observar que o concreto com produto dispersante, obteve resultados inferiores quando comparado aos resultados de corpos de prova fabricados com o aditivo plastificante comercial e sem aditivo, devido a possibilidade elevada de formação porosa, relacionada a incorporação de ar. A Figura 3 representa os modos de ruptura de alguns corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.



(3.a - sem aditivo)



(3.b - aditivo plastificante)



(3.c - produto dispersante)

**Figura 2– Ensaio de resistência à compressão simples do concreto. Fonte: Arquivo do autor (2018).**

No que corresponde aos ensaios de resistência à compressão simples dos corpos de prova, com área da seção transversal de  $0,007885 \text{ m}^2$ , avalia-se que foi predominante os modos de ruptura cônica e bipartida para os corpos de prova ensaiados de acordo com a ABNT NBR 5739:2018. Diante dos resultados obtidos, entende-se que a dosagem com 2% para o dispersante pode ter sido o fator agravante na redução da resistência das amostras, devido a possível incorporação de ar que pode ter sido desenvolvida pelo sabão líquido.

## 5. Conclusão

Diante dos resultados obtidos de matrizes de concreto fabricadas com a adição do dispersante, avalia-se que este produto pode ser caracterizado como um agente que proporciona efeito plastificante, reduzindo a consistência, elevando o grau de plasticidade e trabalhabilidade, devido à capacidade de influenciar no índice de mobilidade do concreto. Entende-se que esse efeito de redução da consistência, análogo ao do aditivo plastificante é suscitado devido à origem química de tensoativo, destacando a capacidade de biodegradabilidade do dispersante, ao passo que o mesmo não se aplica ao aditivo comercial.

A adição do elemento dispersante tem o objetivo de promover o melhoramento de propriedades do concreto como trabalhabilidade, homogeneidade e consistência. Em termo de ensaios, avalia-se que o dispersante sintetizado em laboratório proporcionou resultados satisfatórios de abatimento, no entanto ocasionou também a redução da resistência à compressão simples, provavelmente através da incorporação de ar na matriz, que não foi consideravelmente removido no processo de adensamento, constatada pela redução da massa específica dos corpos de prova produzidos com aditivo dispersante, em relação ao concreto de referência e diante dos resultados obtidos, entende-se que a dosagem de 2% utilizada na fabricação pode ter sido o fator agravante na redução da resistência mecânica das amostras.

Em relação ao plastificante comercial, o fabricante não permite dosagens que ultrapassem o percentual de 2%. Portanto, é válido destacar que a pesquisa está em fase inicial, fazendo-se necessário o estudo de demais dosagens experimentais a fim de encontrar a proporção ótima que permita o aumento do abatimento, sem redução significativa de resistência.

## 6. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Programa Setorial da Qualidade de Cimento Portland**. ABCP, 2017. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos para Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011. 24 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 4 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12.655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 29 p.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014, 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

COUTO, J.A.S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. **O concreto como material de construção**, 2013.

FERGUSON, B.K. **Porous pavements**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

FREITAS Jr., J.D.A. **Métodos Materiais de construção**: Aditivos para Concreto. 2013. 93 f. Universidade Federal do Paraná. Estado do Paraná, PR, 2013. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/15/TC031\\_Aditivos\\_.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/15/TC031_Aditivos_.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2018.

MANHÃES, G.; SOUZA, L.V.S.; VIOLIN, R.Y.T. **Análise de viabilidade a incorporação de detergente sintético em concreto de Cimento Portland**. VIII Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica, I Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Tecnológica e Inovação. Maringá, 2016.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NETO, O.G.Z.; PINO, J.C.D. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes**. Estado do Rio Grande do Sul, 2011. 72 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.

PINTO, A.C.L. *et al.* **Sabão, detergente e glicerina.** 2012. 26 f. Universidade do Porto. Porto, 2012. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd\\_2012\\_13/files/REL\\_Q1Q3\\_02.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2012_13/files/REL_Q1Q3_02.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2018.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P. **Concreto: ciência e tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2012.

## **Eficiência Energética da Envoltória do Edifício “Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera” Em Quito – Equador.**

### ***Energy Efficiency of the envelope of “Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera” Building in Quito- Ecuador***

**Santiago Fernando Mena Hernández, Arquiteto – Especialista em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística, PUCE (Equador) – UnB (Brasil)**

info@santiagomena.com

**Marta Adriana Bustos Romero, Arquiteta – Doutora, UnB (Brasil)**

romero@unb.br

#### **Resumo**

A envoltória é o elemento encarregado de regular as condições e os impactos provenientes do exterior, por esse motivo, é essencial avaliar seu comportamento e as relações que influenciam diretamente seu desempenho (FERNANDEZ, 2011). O estudo busca contribuir com a análise da aplicação de estratégias bioclimáticas para o desenvolvimento de projetos com envoltórias envidraçadas no contexto climático estudado, demonstrando que as mesmas permitem uma redução do consumo energético durante sua etapa operativa visando o conforto térmico interno. A presente pesquisa investiga o desempenho energético da envoltória do edifício “*Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera*” considerando o cenário climático da cidade de Quito, por meio de simulação computacional com o software Design Builder v.4.5, analisando a situação do projeto original e duas alternativas para o mesmo edifício. O objetivo deste estudo é avaliar e comparar os resultados obtidos para demonstrar a importância da aplicação de estratégias bioclimáticas na redução do consumo energético, visando o conforto térmico interno considerando os aspectos solicitados na *Norma Ecuatoriana de la Construcción, Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador* (2011). Os resultados obtidos demonstram que a aplicação das alternativas propostas, reduzem o consumo de energia para condicionamento de ar em até 41,71% em relação ao projeto original, sendo importante avaliar nos projetos a combinação de estratégias bioclimáticas que permitam reduzir o consumo de energia e transformar a economia pela redução durante a vida útil em escolha e aplicação de materiais de melhor desempenho energético.

**Palavras-chave:** Envoltória; Desempenho energético; Conforto térmico; Simulação computacional.

#### **Abstract**

*The envelope is the element responsible for regulating the conditions and impacts from the outside, for that reason, it is essential to evaluate its behavior and the relations that influence directly its performance (FERNANDEZ, 2011). The study aims to contribute with this analysis of bioclimatic strategies, for the development of public and private projects with glazed envelopes in the climatic context of the study, demonstrating that those allow a reduction of the energetic consumption during the operational stage aiming the internal thermal comfort. This study researches the Energetic*

*Efficiency of the envelope for “Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera” building in Quito, through computer simulations using the software Design Builder v.4.5, the study analyzes the original projects as well as two alternatives. The goal for this study is to evaluate and compare the results obtained to demonstrate the importance of applying bioclimatic strategies in the reduction of the energetic consumption, aiming the internal thermic comfort, having in mind the aspects mentioned in the NEC - , Chapter 13, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador (Ecuadorian Normative for Construction, Energetic Efficiency for the Construction in Ecuador) (2011) The results obtained demonstrate that the use of the proposed alternatives reduce the energy consumption for air conditioning in up to 41.71%, compared to the original project, important also to evaluate in the project the combination of bioclimatic strategies which allow the reduction of energy consumption and to make the savings during its lifespan optional and usage of materials with better energetic performance*

**Keywords:** *Envelope, Energetic Performance, Thermic Comfort; Computer simulation.*

## 1. Introdução

A envoltória da edificação deve atuar como um filtro entre as condições internas e externas, servindo de controle para a entrada de ar, calor, frio, luz, ruídos e odores. Com relação ao consumo do sistema de condicionamento de ar (PALMER E GENTRY, 2012) afirmam que os vidros compõem uma das maiores complexidades entre os componentes da edificação, influenciando o conforto térmico e visual e, especialmente, o consumo energético. (apud ANDREIS et al, 2014)

Segundo Neveen (2008) apud Andreis et al, (2014) estima que as fachadas sejam responsáveis por aproximadamente 45% da carga de resfriamento da edificação, evidenciando a importância da sua composição e especificação adequada dos materiais para melhoria do desempenho energético do sistema de condicionamento de ar.

O presente artigo avalia o desempenho energético da envoltória do edifício “Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera” considerando a geometria e localização na cidade de Quito – Equador, que atualmente é o edifício de maior tamanho construído no país e forma parte do projeto do governo nacional de construir “Plataformas Gubernamentales de Gestión Administrativa Publica” para agrupar instituições de serviços afins e torná-los mais eficientes.

O edifício responde ao estilo internacional de arquitetura com grandes áreas envidraçadas que permitem transparência, possibilidade de integração visual com o exterior, admissão de luz natural no interior (SHAMERI et al, 2011), além de ser um atrativo estético valorizado por investidores e projetistas (apud ANDREIS et al, 2014) responsável pelas trocas térmicas dadas as condições climáticas da cidade de Quito.

No processo de pesquisa pretende-se analisar a proposta do projeto original de fachadas de vidro monolítico transparente com brises e duas alternativas para o mesmo edifício, uma com vidro de controle solar e brises e a segunda com uma pele dupla de vidro, com a finalidade de determinar o comportamento térmico nas condições climáticas de Quito e sua influência no consumo energético necessário para obter conforto térmico nos ambientes interiores.

O resultado servirá como informação para otimizar o recurso energético nas futuras edificações que sejam projetadas na cidade de Quito visando o uso de materiais e estratégias estudadas neste artigo.

## 1.1 Fundamentação

A energia está presente em todas as atividades humanas, incluindo a de sobreviver neste planeta. Como não está disponível diretamente na natureza e só pode ser obtida por meio de transformações de recursos naturais, sua utilização de forma adequada se torna um dos requisitos fundamentais para a construção de um modelo sustentável de desenvolvimento. (ROMÉRO et al, 2012,)

A AIE (IEA por suas siglas em inglês) em 2015 informa que a nível global do hábitat construído gera em torno de 40% das emissões de gases de efeito estufa e representa 35% da demanda global de energia, considerando que essa parcela vem em 70% de combustíveis fósseis que são uma fonte não renovável e contaminante, sendo assim, é uma prioridade avaliar o grau de eficiência energética dos componentes das edificações (apud SORIA, 2015)

Segundo publicações do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNEP, 2012), as edificações são o segundo maior consumidor de energia final no mundo, o incremento acelerado na população e o desenvolvimento imobiliário das zonas urbanas nos últimos dez anos tem triplicado a demanda de energia para sua operação.

Em uma edificação a energia que consumirá tem se tornado um forte determinante na decisão dos sistemas de controle ambiental utilizados (LAMBERTS et al, 2014), no caso do conforto ambiental é utilizada para aquecer os ambientes no inverno e resfria-los no verão devido a que o planeta apresenta uma ampla variedade de climas em todo o mundo e cada um com diferentes amplitudes térmicas durante o dia, as quais variam ao longo do ano.

A arquitetura, por outro lado, deve reassumir o papel que sempre teve, que é o de minimizar os efeitos climáticos e não intensificá-los ou agravá-los (ROMÉRO et al, 2012).

Parte importante de uma edificação é a envoltória, a qual está composta por todos os elementos que limitam espaços habitáveis com o meio onde se implantam e por todas as divisões internas que limitam estes com os espaços não habitáveis, que por sua vez estão em contato com o ambiente exterior. (NEC-11 Capítulo 13, 2011) além de ser o elemento encarregado de regular as condições e os impactos provenientes do exterior: temperatura, umidade, vento, ruído, etc. Por esse motivo, é essencial avaliar seu comportamento e as relações que influenciam diretamente seu desempenho (FERNANDEZ, 2011).

O conforto ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permite ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo (LAMBERTS et al, 2014). O conforto térmico forma parte do conforto ambiental o qual segundo a norma ISO 7730 (2005) e a ASHRAE 2001 (2001) é definido como a condição mental no que se expressa a satisfação com o ambiente térmico, considerando-se assim uma percepção subjetiva que para Givoni é a ausência de irritação o mal-estar térmico (FERNANDEZ, 1994)

Para ROMERO et al. (2016) a noção de conforto térmico, está associada uma boa dose de fatores psicológicos e fisiológicos. Esta característica bem como outras, que variam de pessoa para pessoa, podem conduzir a diferentes sensações de conforto térmico, dadas as mesmas condições de ambiente térmico.

Ainda, é importante adicionar que todo este processo é dinâmico. Efetivamente, não só o clima varia instantaneamente, como o conforto humano não é uma realidade estática, uma vez que o ser humano tem capacidade para se adaptar às variações das condições térmicas que o envolvem. (ROMERO et al, 2016)

Segundo a NEC-11 Capítulo 13 (2011) estabelece que para a existência do conforto térmico, as edificações devem manter-se dentro dos seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar ambiente de 18°C - 26°C
- Temperatura radiante média das superfícies do local entre 18°C - 26 °C
- Velocidade do ar de 0,05 a 0,15 m/s
- Umidade relativa de 40% - 65%

Os valores acima citados podem variar se mediante um estudo técnico, as variáveis se encontrem dentro dos parâmetros de conforto do diagrama de Fanger (NEC-11, 2011)

As normas existentes que visam reduzir o consumo energético de uma edificação não são uma limitação para a criação do arquiteto ou a qualidade da arquitetura, são apenas normas que visam otimizar o uso dos materiais existentes e a aplicação de estratégias bioclimáticas para um determinado local e da condição climática como as descritas por ROMERO et al. (2016)

As tecnologias passivas utilizam largamente as envoltórias verticais e horizontais, opacas e transparentes, e não demandam a utilização de nenhum tipo de energia para o seu funcionamento, a não ser a energia solar. Antes de se pensar no monitoramento de um único circuito ou conectar na tomada um simples aparelho circulador de ar, é preciso extinguir todas as possibilidades que as tecnologias passivas oferecem (ROMÉRO, 1996 apud ROMÉRO et al, 2012). O recomendável é primeiramente a aplicação de estratégias bioclimáticas passivas, para depois utilizar as tecnologias que geram consumo energético para obter o conforto térmico necessário para realizar as atividades nos espaços.

Nas novas edificações, ao utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, se comparada com uma edificação concebida sem o uso dessas tecnologias. (ROMÉRO et al, 2012)

A Nec-11 Capítulo 13 e a NTE INEN 2506:2009 de eficiência energética, estão em vigência desde o ano 2011 em Quito - Equador, com a finalidade de promover a sustentabilidade e eficiência energética no desenvolvimento das edificações. As duas normativas visam reduzir o consumo de combustíveis fósseis e recursos não renováveis além de contribuir para evitar as emissões de gases de efeito estufa (SORIA, 2017).

## **2. Objetivo**

O objetivo geral do presente trabalho é analisar o desempenho energético da envoltória do edifício segundo os materiais das fachadas do projeto original e comparar com duas alternativas de materiais diferentes no contexto climático da cidade de Quito, visando demonstrar a importância da aplicação de estratégias bioclimáticas no contexto climático estudado. Os objetivos específicos visam demonstrar a relevância da aplicação de estratégias bioclimáticas, como o uso de vidro monolítico com e sem brises, vidro de controle solar, com e sem brises e vidro duplo com e sem brises na envoltória do edifício estudado

## **3. Método**

Para realizar a pesquisa proposta analisamos em primeiro lugar o contexto climático da cidade de Quito –Equador, com definição das características do modelo de estudo do projeto original, definição também das variáveis das duas alternativas nas fachadas baseadas no modelo volumétrico original, simulação computacional no software Design Builder v. 4.5 do modelo atual e das duas alternativas e análise dos resultados de consumo energético dos estudos realizados.

### 3.1 Contexto Climático da Cidade de Quito no Equador.

A cidade de Quito no Equador está localizada na latitude 0°14' Sul a uma altitude de 2.850 metros acima do nível do mar, apresenta um clima temperado de altitude ou temperado andino em referência a sua localização na Cordilheira dos Andes, que segundo a classificação climática de Köppen-Geiger corresponde a Temperado Oceânico (KOTTEK et al, 2006). Com uma temperatura média anual máxima de 21.3°C, mínima de 10.2°C e umidade relativa média anual de 75% (INAMHI, 2014). Havendo oscilações anuais de 0.5 °C e diárias de 11.6°C, possui duas estações, verão, período de seca de abril a setembro e o inverno, época chuvosa de outubro a março (CRUZ, 2017).

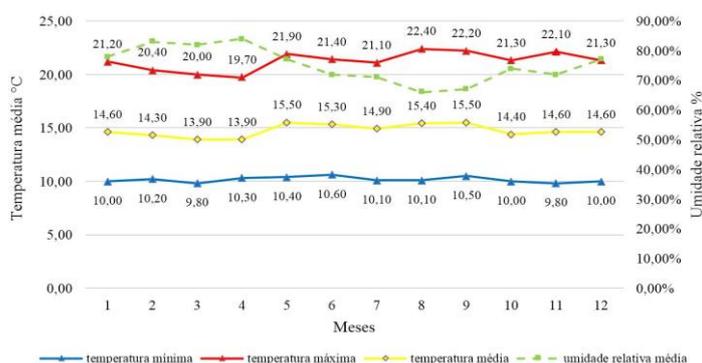


Figura 1 – Temperatura e umidade. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.2 Modelo de estudo projeto original

O edifício *Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera* é o prédio de maior tamanho construído no país, está localizado no setor centro norte da cidade de Quito, no bairro Iñaquito, setor predominado pela presença de edifícios de escritórios e administrativos públicos, com uma média de 12 pavimentos de construção devido às regulações antigas obrigatórias pela presença do antigo aeroporto da cidade o qual fechou no ano de 2013, devido à construção de um novo na localidade de Tababela fora da zona urbana de Quito, as novas regulações permitirão construções de até 25 pavimentos.

O edifício de forma retangular de 14 pavimentos de planta livre, divididos em várias zonas térmicas (figura 2, 3 e 5), onde a jornada de trabalho é de segunda-feira a sexta-feira de 08:00 a 18:00 horas, exceto os feriados nacionais, os quais são 11 dias úteis no ano. As quatro fachadas são de materiais similares sendo o mesmo tipo de vidro e geometria, além disso tem as mesmas características de lajes, cobertura de concreto, paredes nas zonas de serviços de alvenaria e brises com a intenção de fornecer sombreamento nas fachadas, que são horizontais de seção retangular com ângulo de 0° e largura de 8 cm. Para o caso desta pesquisa considera-se na simulação, todo o edifício com o pavimento tipo, conforme demonstra a figura 1, nos 14 pavimentos, sendo 11 pavimentos com sistema de condicionamento de ar (figura 3).

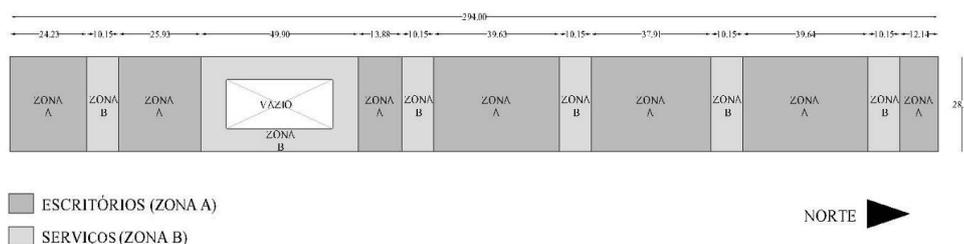
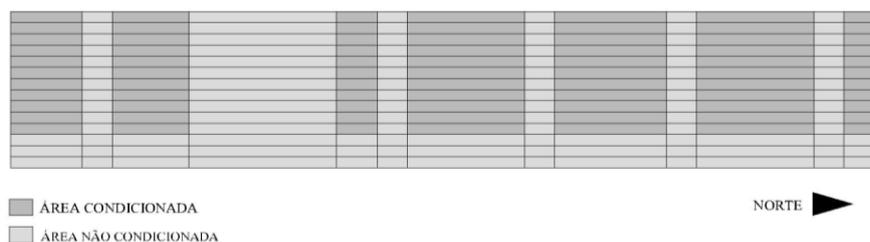
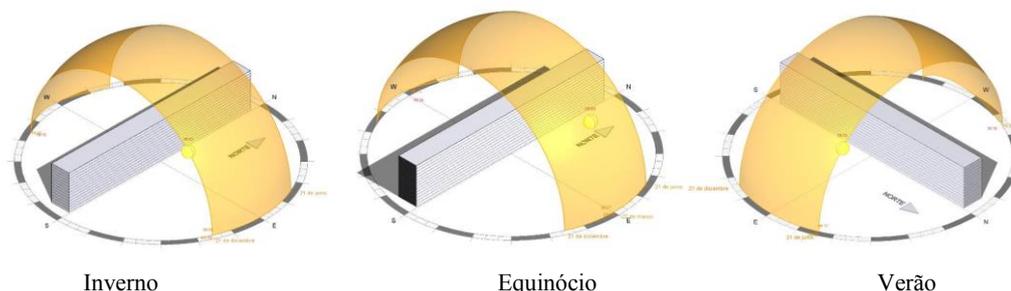


Figura 2 - Modelo de estudo – Pavimento tipo. Fonte: elaborado pelos autores.



**Figura 3 - Modelo de estudo – Corte tipo com áreas condicionadas e não condicionadas. Fonte: elaborado pelos autores.**

A figura 4 mostra o modelo de estudo no contexto da incidência solar na cidade de Quito – Equador, nos períodos de solstício de inverno, equinócios e solstícios de verão.



**Figura 4 – Modelo de estudo nos solstícios e equinócio. Fonte: elaborado pelos autores.**

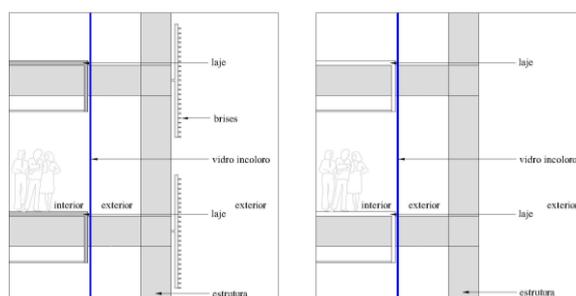


**Figura 5 – Render do projeto. Fonte: [www.inmobiliar.gob.ec](http://www.inmobiliar.gob.ec)**

As características espaciais do edifício se descrevem na tabela 1, no projeto original todas as fachadas são de vidro monolítico incolor do piso ao teto, sendo o material limite de contato entre o ambiente interior e exterior nos ambientes de escritórios. Do lado exterior está visível a estrutura do edifício onde está ancorado um sistema de brises. (figura 5 y 6).

Características principais do edifício		
Dimensões	Comprimento: 294 m	Largura: 28 m
	Altura de laje a laje: 4 m	Pavimentos: 14
Área total do projeto	108.857,85 m <sup>2</sup>	
Área condicionada	59.551,80 m <sup>2</sup>	
Sistema de condicionamento de ar	Sistema VRF / COP: 4.25 W/W	
Termostato	Aquecimento a 18°C e resfriamento a 26°C	
Ocupação	Densidade de ocupação: 8 m <sup>2</sup> /pessoa	
Uso	Escritórios - Serviço publico	
Horário útil	08:00 a 18:00	
U cobertura: 1,19	U paredes: segundo o vidro utilizado (tabela 2)	

**Tabela 1 – Características principais do edifício. Fonte: elaborado pelos autores**

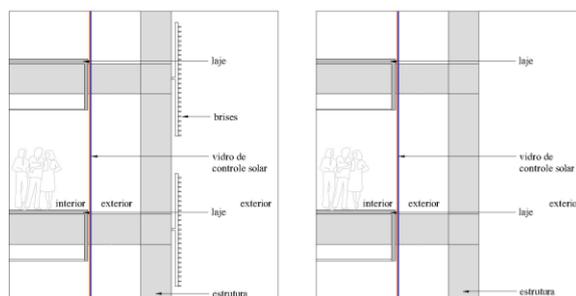


**Figura 6 – Corte da fachada do projeto original com e sem brises. Fonte: elaborado pelos autores.**

### 3.3 Parâmetros variáveis das duas alternativas de composição das fachadas

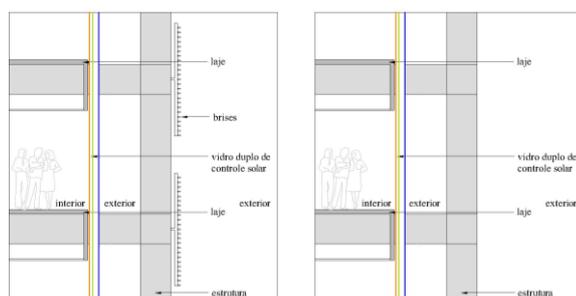
O detalhe das quatro fachadas das duas alternativas são as seguintes:

Alternativa 1: as fachadas conservam as mesmas dimensões do projeto original, o vidro muda de monolítico incolor para vidro de controle solar, conservando os brises do projeto original, além de simular uma opção sem os mesmos (figura 7).



**Figura 7 – Corte da fachada da alternativa 1 com e sem brises. Fonte: elaborado pelos autores.**

Alternativa 2: as fachadas conservam as mesmas dimensões do projeto original, o vidro muda de monolítico incolor para vidro duplo de controle solar com câmara de ar e conserva-se os brises do projeto original, além de simular uma opção sem os mesmos (figura 8).



**Figura 8 – Corte da fachada da alternativa 2 com e sem brises. Fonte: elaborado pelos autores.**

Propriedades dos vidros simulados					
Cenário	Material	Espessura (mm)	Fator solar (%)	Transmissão de luz (%)	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)
Original	Vidro incolor	10	83	90	5,66
Alternativa 1	Vidro de controle	10	46	60	3,72
Alternativa 2	Vidro incoloro + câmara de ar + vidro de controle solar	Int. 10 mm	83	52	2,02
		Ext. 10 mm	-		

**Tabela 2 – Propriedade dos vidros do estudo. Fonte: elaborado pelos autores.**

### 3.4 Simulação computacional no Software Design Builder v.4.5

Para Romero (1998) os softwares têm tido uma aplicabilidade cada vez maior pelo fato de poderem ser utilizados tanto para projetos que ainda estejam em processo de concepção, como para aqueles que já se encontram construídos e necessitam de algum tipo de modificação, por meio de análises de viabilidade (apud SILVA et al, 2016).

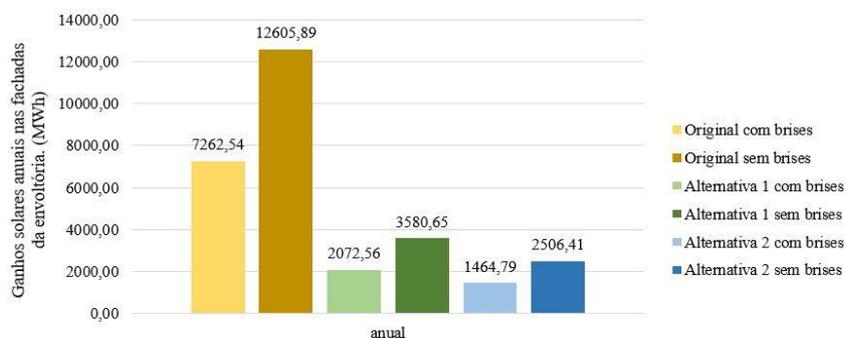
Considerando as características das fachadas do projeto original e as duas alternativas, serão realizadas as simulações computacionais pelo período de um ano de consumo energético, visando o conforto térmico interno do edifício no software Design Builder v.4.5, seguindo o algoritmo do Energyplus, o software é configurado de acordo com o contexto climático da cidade de Quito, e das atividades dos ambientes internos, horários de trabalho propostos, uso apenas de condicionamento de ar sem ventilação natural. Os resultados serão comparados segundo o consumo anual de energia e os custos da mesma no Equador. Diante disso, para esta pesquisa não é considerada a iluminação artificial.

## 4. Resultados

Os resultados demonstram que devido à localização geográfica da cidade de Quito no paralelo 0° e à geometria do edifício, sendo as fachadas maiores leste e oeste, os ganhos solares nas fachadas incrementam sem o uso de brises, evidenciando-se uma diferença para cada caso de estudo, no projeto original com brises os ganhos são 57,61% em relação ao total sem brises, na alternativa 1 com brises os ganhos são de 57,88% em relação ao total sem brises da mesma alternativa e na alternativa 2 com brises os ganhos são de 58,44% em relação ao total sem brises da mesma alternativa (figura10).

Os resultados evidenciam a importância do uso de elementos de sombreamento como brises sobre as fachadas envidraçadas, pelo qual, é importante quando são utilizadas estas estratégias, alinhando assim a um correto dimensionamento, configuração geométrica, seleção do material e localização para obter os melhores resultados de sombreamento, focando na redução do consumo energético para o resfriamento dos ambientes internos, neste caso de estudo utilizou-se a configuração geométrica proposta pelo projetista do projeto, porém, um estudo complementar poderia avaliar diferentes geometrias a fim de estabelecer qual configuração formal é mais eficiente no contexto climático estudado.

Sendo a configuração dos brises iguais para os 3 casos estudados, os resultados mostram que o vidro com melhor desempenho frente aos ganhos solares é o vidro duplo de controle solar da alternativa 2 e o vidro de pior desempenho é o vidro monolítico incolor do projeto original.

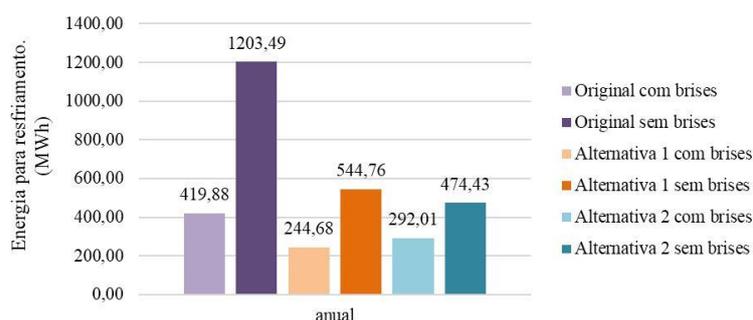


**Figura 10 – Ganhos solares anuais nas fachadas da envoltória. Fonte: elaborado pelos autores.**

O consumo de energia para condicionamento de ar inclui a demanda para aquecimento e resfriamento em cada caso de estudo, para o aquecimento no caso de maior consumo só

representou 0,20% do total na alternativa 1 com brises e o menor foi 0,01% do total no caso do projeto original sem brises, pelo qual é importante escolher a correta configuração de fachadas, que permitam balancear uma ótima relação entre ganhos internos produto da radiação solar e perdas das cargas térmicas internas, permitindo a possibilidade de eliminar a necessidade de um sistema de aquecimento dado sua porcentagem mínima.

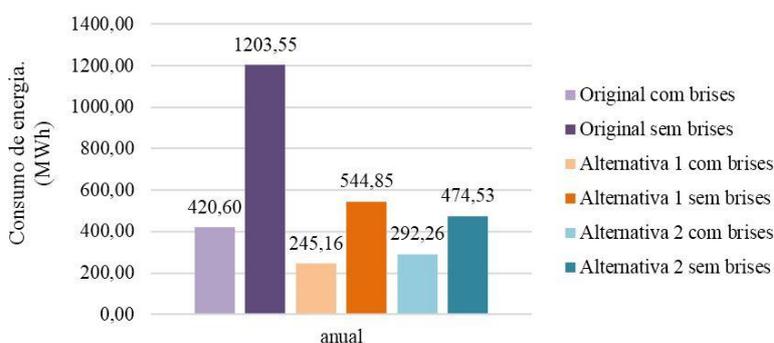
Os resultados demonstram que o uso de brises ao diminuir os ganhos solares nas fachadas, requer menor consumo energético para a refrigeração, no caso do projeto original com brises, o consumo é 34,89% do total sem brises; na alternativa 1 com brises, o consumo é 44,92% do total sem brises e na alternativa 2 com brises, o consumo é 61,55% do total sem brises (figura 11).



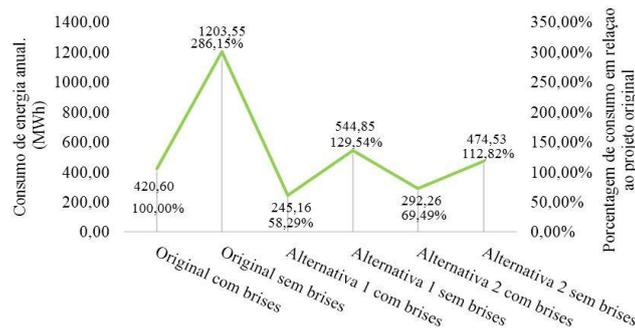
**Figura 11 – Consumo de energia anual para resfriamento. Fonte: elaborado pelos autores.**

Ao consolidar o consumo de energia anual para o condicionamento de ar no estudo proposto e sendo que a energia necessária para aquecimento no caso de maior consumo só representa o 0,20% do total, as porcentagens de relação entre o uso e não de brises são similares às descritas no consumo de refrigeração, as quais no projeto original é 34,95%; na alternativa 1 é 45,00% e na alternativa 2 é 61,59% conforme os valores da figura 12. A contribuição do uso de brises para reduzir o consumo de energia em cada caso de estudo, nestes resultados por quanto no projeto original representa 65,05%, na alternativa 1 é 55,00% e na alternativa 2 é 38,41%.

Portanto, quando usados os brises que são iguais em todos os casos de estudo e a única variável é o tipo de vidro das fachadas da envoltória, o vidro de melhor desempenho no contexto climático de Quito é o vidro de controle solar da alternativa 1, sendo esta a melhor alternativa para o edifício e o vidro com pior desempenho é o vidro monolítico incolor do projeto original, por outro lado, quando as fachadas da envoltória não utilizam os brises, o vidro de melhor desempenho é o vidro duplo de controle solar proposto na alternativa 2 e o vidro de pior desempenho nas mesmas condições é o vidro monolítico do projeto original, sendo esta a pior configuração de fachada de todos os casos estudados (figura 12).



**Figura 12 – Consumo de energia anual para condicionamento de ar. Fonte: elaborado pelos autores.**



**Figura 13 – Porcentagem de consumo de cada caso em relação ao projeto original. Fonte: elaborado pelos autores.**

Se comparamos os resultados das alternativas 1 e 2, é interessante verificar que as diferenças com e sem brises não são proporcionais no consumo de energia, no caso da alternativa 1 é mais eficiente com brises do que na alternativa 2, mas se as fachadas são sem brises a alternativa 2 é mais eficiente do que a alternativa 1, demonstra-se portanto que é importante avaliar a correta configuração das fachadas envidraçadas, sendo importante a correta escolha do tipo de vidro, necessidade ou não de brises e caso sejam necessários o uso de brises, a correta configuração geométrica no contexto climático de Quito.

Além disso, observamos outra informação importante, a configuração da fachada do projeto original de vidro monolítico incolor com brises é relativamente similar à proposta de fachada da alternativa 2 sem brises com vidro duplo de controle solar, sendo esta última um 12,82% maior que o projeto original, motivo pelo qual é importante mencionar que existem alternativas que permitem alcançar resultados similares no contexto da eficiência energética que possibilita explorar opções estéticas na composição arquitetônica dos edifícios.



**Figura 14 – Custo econômico anual de consumo de energia para condicionamento de ar segundo as tarifas de energia no Equador. Fonte: elaborado pelos autores.**



**Figura 15 – Custo de construção das fachadas estudadas (projeto original e das alternativas). Fonte: elaborado pelos autores.**

No contexto econômico é importante analisar o custo para implementar as alternativas propostas confrontando ao consumo de energia anual necessário para obter o conforto térmico interno, segundo a análise realizada, observamos que implementar o vidro de controle solar da alternativa 1, representa 52% a mais no investimento inicial da construção com relação ao projeto original de vidro monolítico incolor, mas o consumo de energia com o uso de vidro de controle solar diminui entre 42% a 55% em relação ao projeto original de vidro monolítico, segundo a configuração da fachada utiliza-se brises ou não. O vidro da alternativa 2 representa 195% a mais no investimento inicial da construção em relação ao projeto original de vidro monolítico incolor e o consumo de energia com o uso de vidro da alternativa 2 diminui entre 31% a 61% em relação ao projeto original, segundo a configuração da fachada utiliza-se brises ou não.

## 5. Conclusões

A presente pesquisa avaliou por meio de simulação computacional a envoltória do edifício *Plataforma Gubernamental de Gestión Financiera* no contexto climático da cidade de Quito, localizada no paralelo 0°, afetando diretamente a composição de todas as fachadas envidraçadas com alternativas que permitiram avaliar o desempenho energético com várias configurações, criando variáveis entre uso ou não de brises e diferentes tipos de vidro, o qual serve como repertório no momento de aplicar estratégias bioclimáticas passivas para reduzir o consumo de energia e obter um nível de conforto térmico interno.

Os resultados demonstram que a configuração da fachada do projeto original (vidro monolítico incolor com brises) não é a melhor opção por quanto existem outras configurações propostas nesta pesquisa que poderiam reduzir o consumo de energia para o condicionamento do ar em até 41,71%, em relação ao consumo do projeto original.

Conclui-se também a importância de uso de brises devido a cidade de Quito está localizada no paralelo 0°, com 12 horas de sol por dia, durante todo o ano, recebendo os maiores níveis de radiação, o qual, no caso de fachadas 100% envidraçadas, propicia maiores ganhos solares internos, especialmente nas fachadas leste e oeste, as quais tem maior exposição solar, o uso de brises deve ser estudado focando nas necessidades das edificações, sendo assim, priorizar a importância de realizar estudos de geometria, material e dimensões. Esta pesquisa demonstrou que o uso de brises reduz os ganhos solares em até 58,44%, o qual afeta diretamente o consumo de energia necessária para a refrigeração.

No contexto climático da cidade de Quito, foi evidenciado se o projeto é de fachadas envidraçadas e não utiliza brises, a melhor opção é o uso de vidro duplo de controle solar, mas no caso que o projeto utilize brises a melhor opção é o vidro de controle solar.

A aplicação de estratégias bioclimáticas passivas nas fachadas das edificações deve se avaliar custo – benefício, já que, a economia no consumo de energia durante a vida útil da edificação pode se transformar em um investimento de vidros de melhor desempenho ou na aplicação de brises, razão pela qual é importante avaliar as alternativas tecnológicas disponíveis no mercado onde o projeto vai se desenvolver e as necessidades do projeto.

A presente pesquisa contribui com dados relevantes para a aplicação de estratégias bioclimáticas passiva em edificações localizadas na cidade de Quito.

## Referências

ANDREIS C. et al. Desempenho Energético de Fachadas Envidraçadas em Climas Brasileiros. Maceió: ENTAC, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, VENTILATING AND AIR- CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 2001 Fundamentals Handbook**. Atlanta, 2001.

CRUZ D.V.C. **Comportamiento térmico de las cubiertas en el clima de Quito**. Barcelona: UPC-ETSAB, 2017.

EVANS J.M. et al. **Evaluación del Impacto del Sol en Envolvertes Vidriadas**. Buenos Aires: Asades, 2003.

FERNANDEZ F.G. Serie Geográfica. **Clima y Confortabilidad Humana. Aspectos Metodológicos**. Madrid, v.4, p. 109-125, 1994.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN 2506:2009 Eficiencia Energética en Edificios**. Quito, 2009.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. **Anuario Meteorológico Nro 51-2011**. Quito, 2014.

ISO. **ISO 7730 Ergonomía del Ambiente Térmico**. Madrid, 2006.

KOS D. **Eficiência Energética, Conforto Ambiental e Certificações de Sustentabilidade**. Brasília, 2018

KOTTEK M. et al. Meteorologische Zeitschrift. **World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated**. Stuttgart, v.15, p.259-263, 2006.

LAMBERTS R, et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Electrobras / Procel, 2014.

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA DEL ECUADOR. **Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, Capítulo 13, Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador**. Quito, 2011.

MONTENEGRO G.L.O. **Propuesta de estrategias bioclimáticas para la reutilización de edificios del centro norte de Quito. Caso de estudio: Ministerio de Finanzas**. Quito: PUCE, 2017

OLGYAY V. **Arquitectura y Clima, Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1998.

RODRIGUEZ D.P.D. **El vidrio como envolvente arquitectónica**. Colombia, COLMAYOR.

ROMERO M.A.B. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Editora UnB, 2015.

ROMERO M.A.B. **Estratégias Bioclimáticas de Reabilitação Ambiental Adaptadas ao Projeto**. Brasília, 2018. Disponível em: <[http://www.reabilita.fau.unb.br/pluginfile.php/596/mod\\_resource/content/3/Reabilita\\_ESTBIO\\_Texto.pdf](http://www.reabilita.fau.unb.br/pluginfile.php/596/mod_resource/content/3/Reabilita_ESTBIO_Texto.pdf)>. Acesso em: 25 agosto 2018.

ROMERO M.A.B. et al. **Tecnologia e Sustentabilidade para a Humanização dos Edifícios de Saúde**. 2. Ed. Brasília, 2016.

SILVA C.F. et al. **3º Curso de Simulação Termo-energética**. Brasília, 2016.

SORIA P.L.E. **Evaluación de la eficiencia energética en la envolvente de tres edificios de oficinas, construidos en la ciudad de Quito a partir del año 2011**. Quito: PUCE, 2017.

***Comportamento mecânico de argamassas com areia de descartada de fundição (ADF).***

***Mechanical behavior of mortar with waste foundry sand.***

**Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira, Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.**

gisleiva@ft.unicamp.br;

**Gabriella Macedo de Assis, Mestranda em Tecnologia e Inovação, pela Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.**

gabi.macedo@live.com

**Rosângela Cavalcanti de Melo, Graduada em Engenharia Civil, pela Universidade Nove de Julho.**

rosangela\_unicamp@hotmail.com

**Resumo**

A indústria da fundição descarta anualmente considerável volume de areia usada em moldes para peças metálicas; levando a degradação ambiental, neste contexto, estudou-se o desempenho de argamassas produzidas com areia descartada de fundição para mitigação dos impactos ambientais. O objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento mecânico de argamassas produzidas com a substituição parcial do agregado miúdo por ADF. A etapa experimental envolveu a moldagem de corpos de prova prismáticos (ABNT NBR 13279:2013), considerando dois teores de ADF (50% e 80%) e dois tipos de cimento Portland (CP II-Z e CP V-ARI). Os resultados indicaram que o teor de ADF é inversamente proporcional à resistência mecânica das argamassas. Isso pode ser justificado pela granulometria da ADF, que proporcionou aumento da área superficial dos agregados presentes nas argamassas com resíduo, resultando no aumento do consumo de água necessário à manutenção da consistência.

**Palavras-chave:** Resíduo Sólido; Areia Descartada de Fundição; Argamassa; Passivo Ambiental

***Abstract***

*The foundry industry annually discards huge volume of sand used in molds for metal parts, leading to environmental degradation, in this context, the performance of mortars produced with discarded cast sand to mitigate environmental impact was studied. The objective of this work was to determine the mechanical behavior of mortars produced with the partial replacement of the small aggregate by WFS. The experimental stage involved the molding of prismatic specimens (ABNT*

*NBR 13279:2013), considering two levels of WFS (50% and 80%) and two types of Portland cement ( C<sub>PII-Z</sub> and C<sub>VP-ARI</sub>). The results indicated that the WFS content is inversely proportional to the mechanical strength of the mortars. This can be justified by the granulometry of the WFS, which provides an increase in the aggregates present in the mortars with residue, resulting in the increase of the water consumption necessary to maintain the consistency.*

**Keywords:** Solid Waste; Waste Foundry Sand; Mortar; environmental Liability.

## 1. Introdução

A utilização de resíduos sólidos como matéria-prima de materiais que consomem recursos naturais não renováveis já está difundida em vários setores, como exemplo tem-se a construção civil. Neste mesmo contexto, está a indústria de fundição, entretanto, do outro lado, como geradora de resíduos sólidos ainda com funcionalidade para outros setores produtivos. Um dos resíduos que se destaca é a areia descartada de fundição (ADF), obtido durante os processos de moldagem de peças metálicas. Somente nos EUA ocorre a geração de 15 milhões de toneladas de ADF anualmente (American Foundrymen's Society, ano) e na Índia, esse número é de 1,71 milhão de toneladas anuais (Siddique, Singh, 2017).

Alguns estudos confirmam a possibilidade de se reutilizar a areia de fundição para produção de argamassas, embora, haja um consenso geral, que a areia de fundição por apresentar-se mais fina, demanda mais água para a manutenção da trabalhabilidade da argamassa, esse aumento no consumo de água diminui a resistência da argamassa, no estudo apresentado por Casali a maior redução, quando da substituição de 100% da areia, chegou a 57%; Casali ainda conclui “em relação aos resíduos da areia de fundição e às argamassas estudadas, foram classificados como não perigosos tanto pelo ensaio de corrosividade quanto de reatividade e não apresentaram nenhuma concentração de extratos lixiviados superior ao limite da norma”, a baixa possibilidade de corrosão é um ponto positivo, já que é considerada deletéria para estruturas de concreto armado.

Neste contexto, analisando pelo ponto de vista ambiental, vemos que a utilização deste resíduo é uma prática, que embora diminua a resistência mecânica da argamassa, ela é uma prática para mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte do resíduo em aterros. Andrade (et. al) conclui” Como avaliação final, ensaios mecânicos e de lixiviação foram realizados nos concretos de ADF e os resultados indicaram que há perda de desempenho mecânico com o aumento do teor de ADF, mas essa perda pode ser considerada pequena quando comparada com o valor ambiental da utilização da ADF como substituinte ao agregado natural na produção de concretos.

## 1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento mecânico de argamassas com substituição parcial da areia convencional por ADF.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Nesta pesquisa são utilizados dois tipos de cimento o CPV-ARI que é um cimento de alta resistência nos primeiros dias de idade, indicado para situações em que se necessita de desforma rápida e resistência aos agentes agressivos do meio ambiente, especialmente ao ataque dos sulfatos; também foi usado o CPII-Z-32 que é um cimento adequado para estrutura de concreto em contato com ambientes agressivos, ambientes úmidos e obras marítimas, ambos os cimentos são da Votorantim Cimentos S.A.

A areia natural utilizada nesta pesquisa é denominada quartzosa, formada, principalmente por grãos de quartzo com arredondamento e esfericidade variados, podendo conter diversas proporções de outros minerais, óxidos e silicatos que lhe confere uma variação na sua coloração (rosa, ocre, cinza, vermelha e branca).

A areia descartada de fundição (ADF) usada nesta pesquisa foi fornecida pela Indústria de Fundição Tupy Ltda, situada na cidade de Mauá – SP..

### 2.1 Metodologia

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos neste trabalho, o desenvolvimento da metodologia foi definido de acordo com o fluxograma apresentado na figura 1.

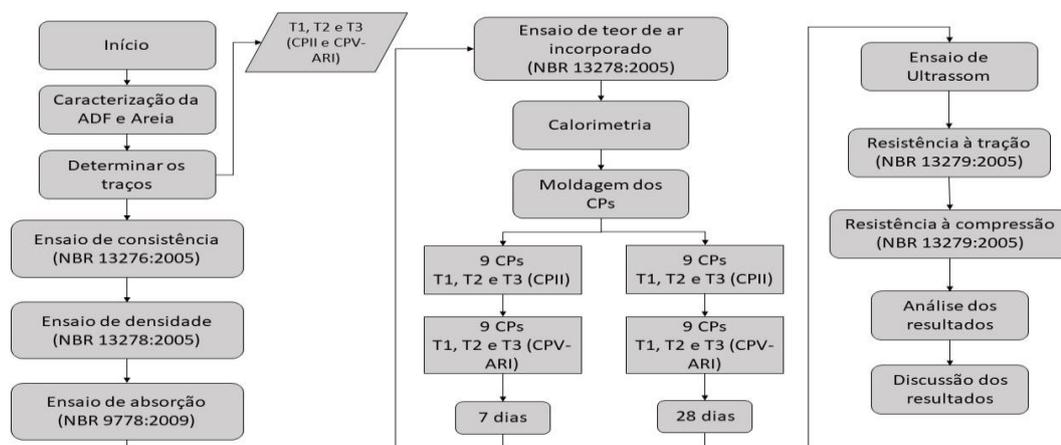


Figura 1: Fluxograma das atividades. Fonte: elaborada pelos autores

### 2.2 Estudo de dosagem

Neste estudo foram utilizados dois tipos de Cimento Portland (CPII-Z e CPV ARI) para compor os traços. Os teores de ADF foram definidos em função de trabalhos consultados na bibliografia (SILVA et al., 2011; FERREIRA et al., 2014; SARRO et al., 2015), o que resultou na substituição da areia convencional por 50% e 80% de ADF.

Em função do tipo de cimento e teor de ADF foram definidos 6 traços para esta pesquisa, os quais estão identificados como T1, T2 e T3 conforme os teores de ADF de

0%, 50% e 80%, respectivamente. Em relação ao tipo de cimento, os traços foram identificados como (CP II-Z) e V (CP V-ARI).

As relações a/c de cada traço foram definidas em função do índice de consistência, obtidos a partir da metodologia e limites prescritos na ABNT NBR 13276 (2005). As quantidades de materiais (em gramas) necessárias para a moldagem de 3 corpos de prova prismáticos (40 mm x 40 mm x 160 mm) de cada traço estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de materiais utilizados para a moldagem de 3 corpos de prova prismáticos de cada traço.

CP II Z 32					CP V				
Traço	Cimento (g)	Areia (g)	ADF (g)	Água (g)	Traço	Cimento (g)	Areia (g)	ADF (g)	Água (g)
T1	450	1440	0	300	T1	450	1440	0	300
T2	450	720	720	350	T2	450	720	720	350
T3	450	288	1152	425	T3	450	288	1152	400

Para a caracterização das argamassas no estado fresco determinou-se a densidade e absorção de água. Também obteve-se as curvas de hidratação (calor de hidratação x tempo) conforme metodologia descrita por autores consultados (BERALDO et al., 2013; FERREIRA et al., 2013; RODRIGUES, 2012). Para determinar a trabalhabilidade da argamassa foi realizado ensaio de retenção de água, a trabalhabilidade influencia no bom lançamento adensamento da mistura. O ensaio de hidratação serviu para certificar se a ADF altera a curva de hidratação do cimento, o que pode influenciar na resistência mecânica da argamassa.

Foram moldados 6 corpos de prova para cada um dos 6 traços considerados na pesquisa, totalizando 36 corpos de prova que foram submetidos aos ensaios de ultrassom, resistência à tração por flexão e resistência à compressão aos 7 dias de cura. Os corpos de prova foram mantidos submersos em um tanque com água em câmara úmida do laboratório de Materiais da FT - UNICAMP. As normas utilizadas nestas etapas da pesquisa estão apresentadas na tabela 2.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Ensaios de caracterização

Os ensaios iniciais de caracterização física estão descritos nas tabelas 2 .

Tabela 2 – Caracterização física das amostras de areia comum e ADF

Características	Areia	ADF
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,45
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,62	2,5
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,5	1,43

Modulo de Finura	2,4	1,51
DM (mm)	2,03	1,2
Classificação	Zona ótima	Zona utilizável inferior

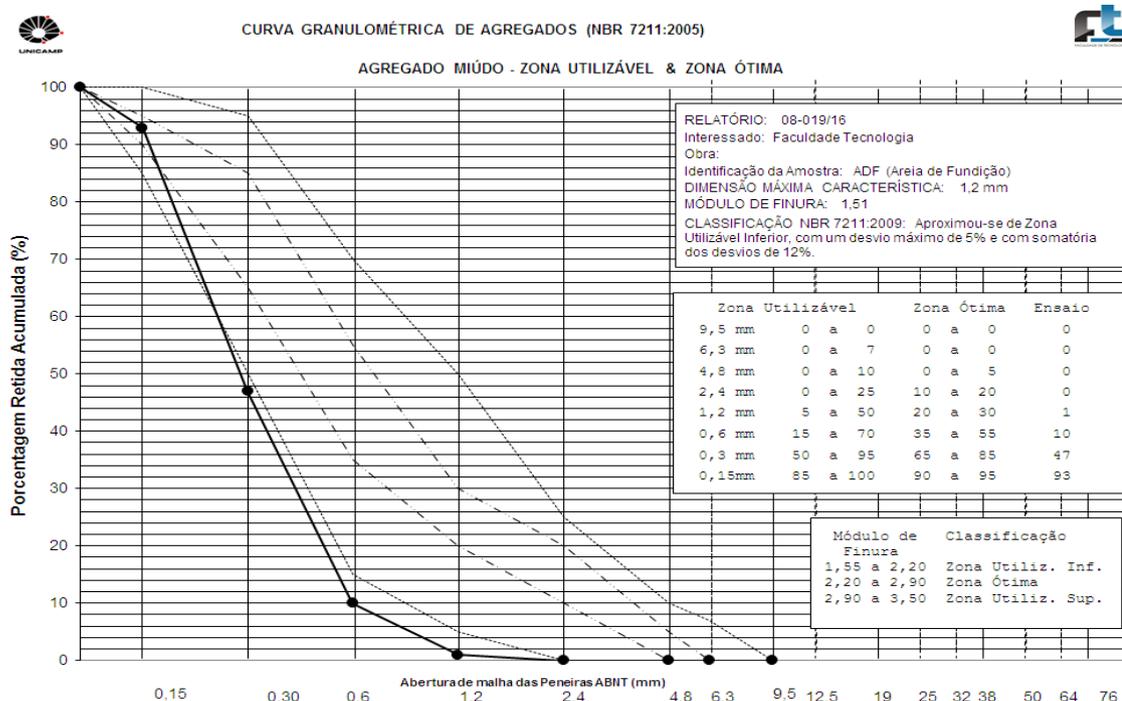


Figura 2: Curva granulométrica da areia de fundição

### 3.2 Índice de Consistência

A determinação do índice de consistência foi realizada pelo método *flow table* conforme NBR 13276:2005, tabela 3 que estabelece um índice de  $260 \pm 10$  para argamassa com consistência normal. Através deste ensaio é possível a determinação da trabalhabilidade da argamassa. Os traços com adição de ADF, por apresentarem maiores porcentagem de finos, necessitaram de adição de mais água para aumentar a fluidez da argamassa.

Tabela 3 - Índice de consistência em função da relação água/cimento

CP II-Z			CP V		
Traço	Relação a/c	Flow table (mm)	Traço	Relação a/c	Flow table (mm)
T1	0,67	250	T1	0,61	250
T2	0,78	250	T2	0,72	250
T3	0,94	250	T3	0,8	260

### 3.3 Calorimetria

De acordo com os dados obtidos através do ensaio de calorimetria (figura 3), é possível observar que as amostras de argamassas produzidas com CPII (T1, T2 e T3) apresentaram variação de temperatura entre os traços analisados de aproximadamente 1°C. Já as amostras de argamassas produzidas com CPV-ARI apenas a amostra T2 apresentou variação de 1°C das demais, sendo amostra T1 e T3 iguais. Ao compararmos o pico das curvas entre os dois tipos de cimento, observou-se que as argamassas produzidas com CPV-ARI apresentaram temperaturas de aproximadamente 42°C. Já as argamassas produzidas com CPII apresentaram temperaturas de aproximadamente 35°C, tendo uma variação de 7°C em relação ao CPV-ARI. As argamassas confeccionadas com 50% de ADF, nos dois tipos de cimento, obtiveram as maiores temperaturas em relação as demais amostras

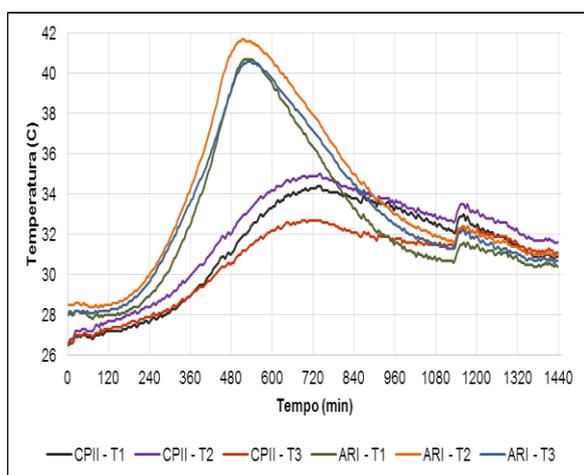


Tabela 4: Início e fim de pega

Argamassas	Início de Pega		Fim de Pega	
	min	h	min	horas
T1 – ARI	150	2,5	520	8,67
T2 – ARI	150	2,5	520	8,67
T3 – ARI	150	2,5	520	8,67
T1 – CPII	200	3,33	700	11,67
T2 – CPII	200	3,33	700	11,67
T3 – CPII	200	3,33	700	11,67

Figura 3 – Curva de hidratação das argamassas

A tabela 4, obtida através da interpretação da figura 3, indica os tempos (em minutos e horas) do início e fim de pega de cada traço. O início e fim de pega das argamassas com CPV-ARI foi de 150min (2,5 horas) e 520min (8,67 horas) respectivamente, sendo igual entre os três traços. E para as argamassas com CPII o início de pega foi de 200min (3,33 horas) e 700min (11,67 horas) respectivamente, para os três traços analisados.

### 3.4 Determinação da retenção de água

Foi realizado o ensaio de retenção de água conforme a NBR 13277:1995, para verificar sua capacidade de manter sua trabalhabilidade.

Tabela 5 - Retenção de água

NBR 13277 - Determinação da Retenção de Água

CP II			CP V		
Traço	RA (%)	Classificação	Traço	RA (%)	Classificação
T1	91,64	alta	T1	95,96	alta
T2	94,00	alta	T2	93,53	alta
T3	89,44	normal	T3	94,21	alta

### 3.5 Determinação da densidade em estado fresco

Os resultados dos ensaios de determinação da densidade em estado fresco foram realizados conforme a NBR 13278, conforme mostrado na tabela 6

Tabela 6 - Determinação da densidade no estado fresco

CP II Z 32		CP V	
Traço	Densidade (g/m <sup>3</sup> )	Traço	Densidade (g/m <sup>3</sup> )
T1	2,47	T1	2,49
T2	2,42	T2	2,46
T3	2,40	T3	2,41

### 3.6 Ensaio de Retenção de água

Quanto aos ensaios de capacidade de retenção de água, mostrados na tabela 7, as argamassas moldadas com CPIX, traço referência, 80% de ADF apresentam resultado “Normal capacidade de retenção” quando apresentam limites entre  $\geq 80 \geq 90$ ; já todos os traços com CPV – ARI, 0%, 50% e 80% de ADF, e os traços de 50% e 80% com CPIX apresentam resultado “alta capacidade de retenção” quando apresentam limites  $> 90$ .

Tabela 7: Resultado do ensaio de R.A.:

NBR 13277 - Determinação da Retenção de Água		
CP II	Ra (%)	Classificação
T1	91,64	alta
T2	94,00	alta
T3	89,44	normal
CP V		
T1	95,96	alta
T2	93,53	alta
T3	94,21	alta

### 3.7 Ensaios de resistência à tração e resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à tração e a compressão estão dispostas na tabela 8, e foram obtidos através da média dos resultados dos ensaios de rompimento de três corpos de prova. Através da análise da tabela, é possível concluir que os corpos de prova seguem um padrão, a medida que cresce o teor de ADF, a resistência tende a cair, isso ocorre devido a interação entre as partículas, onde na areia há uma melhor distribuição granulométrica, contendo partículas de tamanhos variados e na ADF a graduação é

uniforme. Conforme os requisitos descritos na NBR 13281:2005, os traços com incorporação de ADF (50% e 80%) foram classificados como argamassas tipo III ( $R_c > 8$  MPa) para a idade de 28 dias, mesma classificação do traço referência (0% de ADF).

Tabela 8 - Resistência a tração e resistência a compressão 7 dias e sua classificação.

Traços	Resistência à Compressão (MPa)	Classe: NBR: 13281:05	Resistência à Flexão (MPa)	Classe NBR: 13279:05
T1 – ARI	30,5	P6	6,7	R6
T2 – ARI	17	P6	4,6	R6
T3 – ARI	12,7	P6	3,2	R4, R5
T1 – CPII	11,8	P6	4	R5, R6
T2 – CPII	7	P5	2,4	R3, R4
T3 – CPII	3	P2, P3	1,4	R1, R2

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) é possível classificar as argamassas através do desempenho obtido nos ensaios de resistência à compressão (tabela 9) e à tração na flexão, como indicado na tabela 10.

Tabela 9 – Classificação das argamassas- NBR 13281:2005

Classe	Resistência à compressão (MPa)
P1	$\leq 2,0$
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	$> 8,0$

Tabela 10 – Classificação das argamassas- NBR 13279:2005

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)
R1	$\leq 1,5$
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	$> 3,5$

A análise das figuras 4 e 5 indicam graficamente o comportamento já constatado anteriormente, onde, à medida que há uma substituição da areia pela areia descartada de fundição (ADF), os valores das resistências à compressão e à tração, caem, indicando um desajuste na curva granulométrica e influenciando diretamente no desempenho dos corpos de prova.

O desajuste na curva granulométrica aponta a ausência de partículas importantes para a interação dos grãos, fazendo com que a graduação se torne uniforme ou aberta.

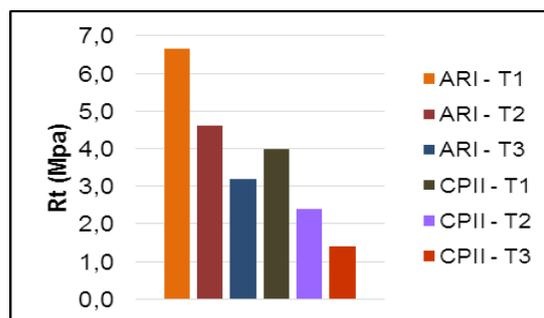
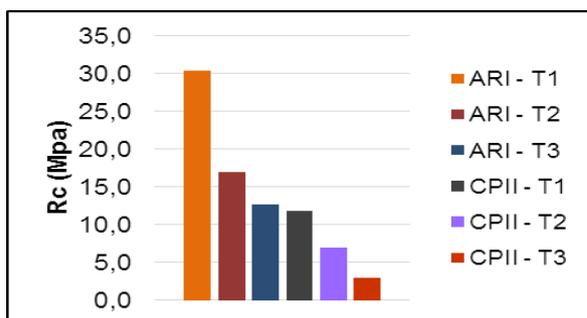


Figura 4 - Resistência à compressão (Rc) aos 7 dias

Figura 5 - Resistência à tração (Rt) aos 7 dias

### 3.8 Velocidade do pulso ultrassônico (VPU)

O ensaio não destrutivo de ultrassom, realizado previamente aos ensaios de resistência à compressão e tração, possibilita determinar a velocidade da propagação de ondas nos corpos de prova e correlaciona-las com outros parâmetros. A estrutura da metodologia para a execução dos ensaios de ultrassom seguirá os procedimentos descritos na ABNT NBR 15630 (2009)

A VPU foi determinada através da obtenção do tempo de propagação da onda ultrassônica pelo corpo de prova e aplicação da equação 1

$$VPU = \frac{L}{t} \text{ (m/s}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Onde: VPU: Velocidade do pulso ultrassônico (m/s<sup>-1</sup>)

L: Comprimento (metros)

t: Tempo (segundos)

A análise da figura 6 indica que a VPU apresenta o mesmo comportamento dos ensaios mecânicos, sendo maior nos corpos de prova com areia e caindo à medida que ocorria a substituição da mesma por ADF

Segundo Buccur (2006) alguns fatores causam distúrbios e interferências na propagação do pulso ultrassônico, como as características dos transdutores (frequência, dimensões e anatomia), as propriedades físicas do substrato (anisotropia e heterogeneidade do material), as características geométricas do material em análise (micro e macroestrutura), as condições ambientais como umidade e temperatura e as condições de medição (potência do equipamento e acoplamento).

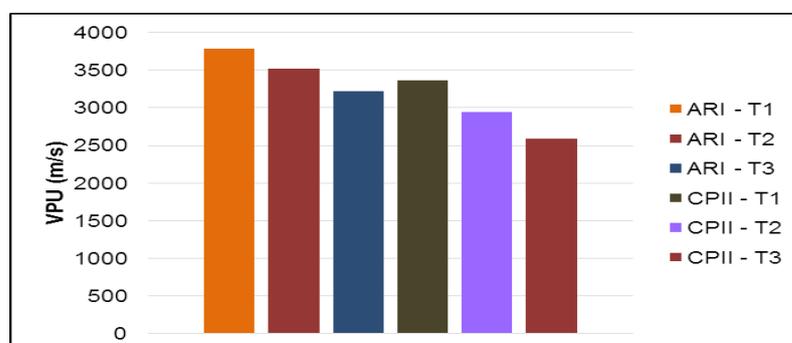


Figura 6 – Velocidade pulso ultrassônico (VPU) nos corpos de prova aos 7 dias

Os coeficientes de correlações (figura 7, 8 e 9) indicam que a VPU, Rc e Rt aumentam gradativamente. Os valores de  $R^2$  (tabela 11) indicam o quanto o modelo consegue explicar os valores observados, quanto maior o valor de  $R^2$ , melhor ele representa à amostra

Tabela 11 – Valores de  $R^2$

Parâmetros	$R^2$
VPU x Rc	0,862
VPU x Rt	0,947
Rc x Rt	0,959

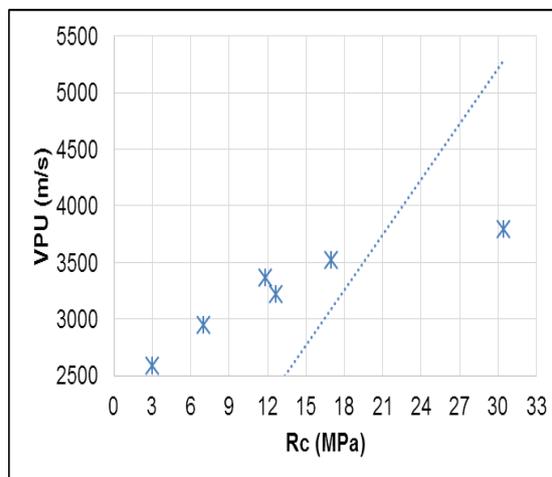


Figura 7 – Correlação entre VPU e Rc

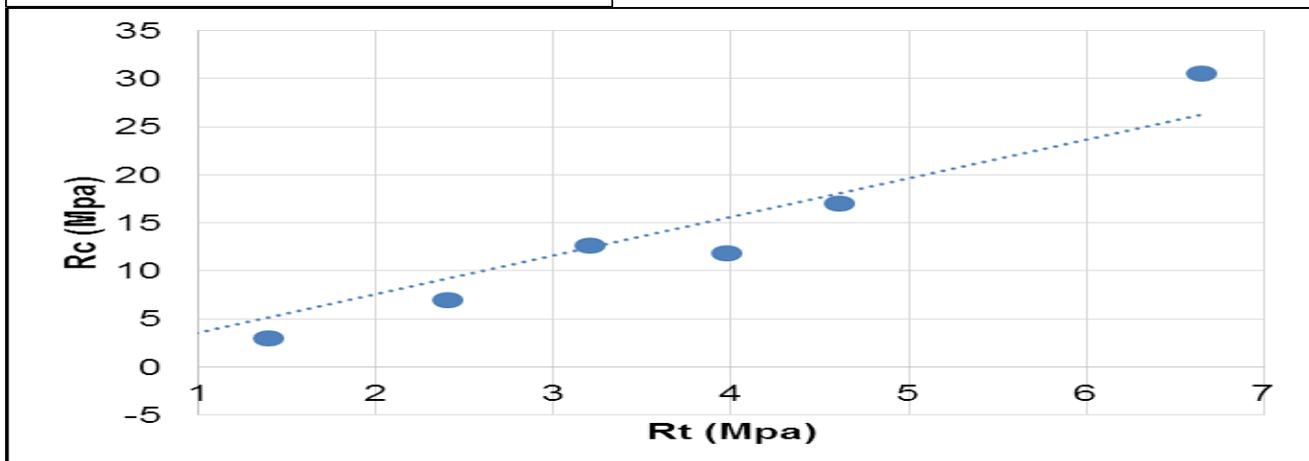
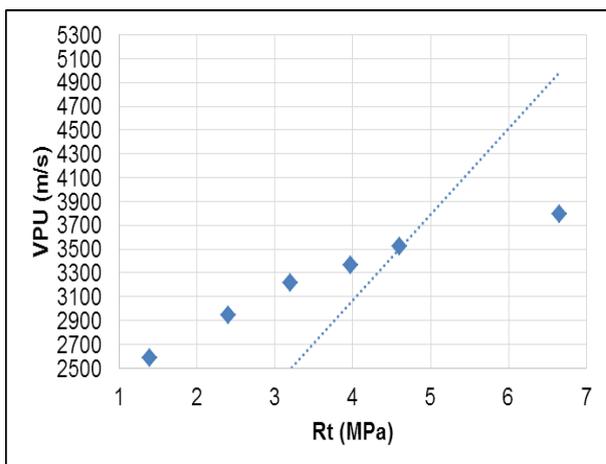


Figura 8 – Correlação entre VPU e Rt

Figura 9 – Correlação entre Rc e Rt

#### 4. Conclusão

Tendo em vista os objetivos estabelecidos para este projeto da pesquisa, pode-se concluir que é possível produzir argamassas através da substituição parcial de areia natural por areia descartada de fundição. O teor de substituição vai depender da resistência e consistência que se deseja obter.

Ao analisarmos o desempenho das argamassas quanto a resistência a compressão axial, as argamassas com substituição de areia por ADF é justificada devido a granulometria do resíduo. Como ele apresenta uma granulometria bem menor que a areia convencional, a área superficial é maior o que necessitaria de mais cimento para manter a mesma resistência mecânica. Como a concentração de cimento foi sempre a mesma, a resistência mecânica pode também ter diminuído devido ao aumento da superfície específica; e o aumento do consumo de água também foi um fator decisivo para queda da resistência mecânica, pois foi necessário adicionar água para manter a consistência da argamassa, consequentemente a trabalhabilidade. Logo podemos concluir que a areia de fundição alterou a resistência mecânica da argamassa por causa sua granulometria, mais fina que a areia natural utilizada.

#### Referências

- Andrade, L.B; Carmin, R, L.P; Pinto, R.C.A. Areia descartada de fundição para uso em concreto de cimento Portland: análise do agregado. Revista Matéria: artigo e-12160, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos- Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro.2009.

Bhardwaj, B., Kumar, P. Waste foundry sand in concrete: A review. Construction and Building Materials, Elsevier, 2017

Casali, J.M; Miguel, T.F; Felizardo, C.C; Meira, N.S; Dominguni, L; Betioli, A.M. Caracterização e influencia do teor do resíduo de areia de fundição fenólica em argamassas de revestimento. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 261-279, jan./mar. 2018.

Siddique, R., Singh, G., Singh M., Recycle option for metallurgical by-product (Spent Foundry Sand) in green concrete for sustainable construction. Journal of Cleaner Production, Elsevier, 2017.