

Jean Carlos Rodrigues
(Organizador)

ENGENHARIA DE MATERIAIS E MEIO AMBIENTE:

reciclagem, sustentabilidade,
novos processos e desafios

Vol. 4



Jean Carlos Rodrigues
(Organizador)

**Engenharia de materiais e
meio ambiente reciclagem,
sustentabilidade, novos
processos e desafios**

Vol. 4

Ponta Grossa
2023

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Me. Jean Carlos Rodrigues

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharia

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczek Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

Universidade Estadual de Londrina

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.ª Ma. Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

**Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros
Rodrigues**

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira
Miranda Santos**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

© 2023 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

E576 Engenharia de materiais e meio ambiente reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios [recurso eletrônico]. / Jean Carlos Rodrigues (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2023. 191 p.

v.4

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-379-8

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Cimento. 3. Construção civil - Controle de qualidade. 4. Gestão da qualidade total. 5. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 6. Sistemas de energia fotovoltaica. 7. Geração de energia fotovoltaica. 8. Energia solar. 9. Engenharia de produção. I. Rodrigues, Jean Carlos. II. Título

CDD: 620.11

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 11

01

A importância da implementação do sistema de gestão de qualidade (SGQ) na construção civil 12

Laura Storti Joia
Marcelo Romano Modolo
Fabiana Florian

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.1

02

Ensaio termoenergético para projetos de climatização na região amazônica 29

Djalma Almeida Araújo Júnior
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.2

03

Estudo de viabilidade de instalação de um sistema de energia elétrica solar fotovoltaico Off-Grid em um ônibus que vai ser transformado em um motorhome usando o método survey 36

Jhonathan Aziel da Silva Gonçalves
Elida de Paula de Moraes Corveloni

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.3

04

Energia solar fotovoltaica nas indústrias e suas práticas sustentáveis 48

Douglas Henrique da Silva
Antônio Pinto do Nascimento Neto

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.4

05

Análise do concreto com dosagens através de métodos de empacotamento de partículas com substituição parcial do cimento por pó de vidro e pó cerâmico..... 60

Luis Miguel Zanette de Oliveira
Dayana Ruth Bola Oliveira
Melissa Pastorini Proença

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.5

06

Sílica Mesoporosa: sustentabilidade e inovação..... 72

Antônia Millena de Oliveira Lima
Fernando Mendes
Ana Angélica Mathias Macêdo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.6

07

Propriedades físicas de painéis MDP (*Medium density particleboard*) produzidos com adesivo cardanol nanomodificado 86

Ana Carolina Corrêa Furtini
Danielly Stefani de Oliveira
Bruna de Castro Simão Viana
Maria Rita Ramos Magalhães
Douglas Lamounier Faria
Edgard Geraldo Bertoli Trindade

Carolina Aparecida dos Santos
Ellison Rosario de Oliveira
Lourival Marin Mendes
José Benedito Guimarães Júnior
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.7

08

Construção de mapas a partir dos dados do MapBiomas Coleção 1 Fogo: uma abordagem metodológica 95

Alexandre Rodrigues de Morais
Jorge Edmir da Silva Santos
Josimar Ribeiro de Almeida
Skarlat Reynnely Alves Tepedino
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.8

09

A reciclagem de materiais não infectantes utilizados em clínicas médicas 105

Cristiane Miranda
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.9

10

Reutilização de detritos de indústria de pré-fabricados para fabricação de novos elementos construtivos sem função estrutural 115

Diego de Moura
Eduardo Damin
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.10

11

Estudo de utilização de escória LD de aciaria para tratamento de efluentes da indústria de rochas ornamentais através da adsorção dos contaminantes no coproduto..... 131

Robson Salaroli
Raylane Gonçalves de Oliveira
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.11

12

Análise do cobreamento em aço 1020..... 149

João Pedro Paz Sarmento
Vitor Hugo Medeiros Eggers
Leonardo Felipe Debrino Leite
João Edson Leite Júnior
Maely Oliveira Batista
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.12

13

Análise da substituição da areia natural por pó de pedra na argamassa de revestimento 160

Mariana Ester Gebauer Venites
Dayana Ruth Bola Oliveira
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.13

14

Protótipo de um dobrador de vergalhão de baixo custo 170

Gabriel de Amorim Gomes
Athus Igor Castro Holanda
Luiz Eduardo Sousa Sena
Luana Borges Goulart
Lucas Yoshi Tsugawa Palheta

Matheus Silva Santos
Jullyane Raquel Almeida Nunes
Maria Adrina Paixão de Souza da Silva
DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.14

Organizador.....	184
Índice Remissivo.....	185

Apresentação

É com prazer que apresentamos o **“Engenharia de Materiais e Meio Ambiente: reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios – Volume 4”**, um livro que oferece um panorama sobre as práticas sustentáveis no campo da engenharia de materiais. Este volume é um convite à reflexão e à ação, destinado a todos que se interessam por inovações técnicas que respeitam o nosso planeta.

O livro inicia discorrendo sobre o papel vital dos sistemas de gestão de qualidade na construção civil, um setor chave para o desenvolvimento sustentável. Em seguida, mergulhamos nas peculiaridades dos projetos de climatização na Amazônia, destacando a necessidade de soluções energéticas adaptadas a contextos específicos.

A energia solar ganha destaque em dois capítulos, onde se discute a sua viabilidade em motorhomes e o seu uso nas indústrias, realçando a energia fotovoltaica como uma força motriz para práticas mais verdes no setor industrial.

Avançamos para a vanguarda com uma discussão sobre concretos alternativos e a aplicação de sílica mesoporosa, mostrando como materiais inovadores podem contribuir para um futuro mais sustentável. A seguir, exploramos o uso de tecnologias nanomodificadas em materiais de construção e metodologias de mapeamento ambiental, reforçando a importância da precisão e inovação na gestão de recursos e impactos ambientais.

Os capítulos que seguem ilustram a aplicação de conceitos de sustentabilidade em contextos práticos, incluindo a reciclagem de materiais de clínicas médicas, a reutilização de resíduos de indústrias e a purificação de efluentes com subprodutos industriais.

Finalizamos com estudos focados em melhorias de processos, como o cobreamento de aço, e na substituição de matérias-primas tradicionais por alternativas mais sustentáveis na produção de argamassa, além de apresentar a invenção de ferramentas de baixo custo para o setor da construção.

Cada capítulo é um passo adiante na busca por soluções inteligentes e ambientalmente responsáveis na engenharia de materiais, refletindo nossa dedicação em fazer a diferença no mundo através da ciência e tecnologia.

Boa leitura e que este livro inspire ações transformadoras em prol de um desenvolvimento mais sustentável.

A importância da implementação do sistema de gestão de qualidade (SGQ) na construção civil

Laura Storti Joia

Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP

Marcelo Romano Modolo

Orientador Engenheiro Civil e docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP

Fabiana Florian

Coorientador. Economista, Bacharel em Direito e docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP

RESUMO

As empresas têm um grande desafio, que é atingir a perfeição em termos de qualidade e produtividade, num mercado cada vez mais exigente e competitivo. Esses objetivos são fatores de sobrevivência, necessitando de abordagens alternativas para superar obstáculos e facilitar a tomada de decisões. As iniciativas de melhoria da qualidade das empresas brasileiras podem resultar em resultados operacionais positivos em termos de aumento de produtividade, alta qualidade, aumento da lucratividade e satisfação do cliente. O objetivo deste estudo é analisar a implantação do PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat) em duas construtoras civis, sendo uma certificada e outra não, por meio de metodologia e análise da gestão do PBQP-H ferramenta. Essa estratégia se justifica pela importância de garantir a qualidade do processo e visar a satisfação do cliente. O trabalho foi desenvolvido a partir de um referencial teórico para atingir o objetivo proposto, sendo abordados os conceitos e definições da ferramenta de gestão.

Palavras-chave: sistema de gestão de qualidade. satisfação do cliente. construção civil.

ABSTRACT

Companies have a great challenge, which is to achieve perfection in terms of quality and productivity, in an increasingly demanding and competitive market. These objectives are survival factors, necessitating alternative approaches to overcome obstacles and facilitate decision-making. Quality improvement initiatives by Brazilian companies can result in positive operating results in terms of increased productivity, higher quality, increased profitability and customer satisfaction. The objective of this study is to



analyze the implementation of the PBQP-H (Brazilian Habitat Quality and Productivity Program) in two civil construction companies, one certified and the other not, through methodology and analysis of the management of the PBQP-H tool. is justified by the importance of guaranteeing the quality of the process and aiming at customer satisfaction. The work was developed based on a theoretical framework to achieve the proposed objective, addressing the concepts and definitions of the management tool.

Keywords: quality management system. customer satisfaction. civil construction.

INTRODUÇÃO

O Sistema de Gestão de Qualidade (SGQ) é um conjunto de ferramentas estratégicas que auxilia na padronização de processos e produtos, que visa garantir o cumprimento dos padrões estabelecidos para determinado projeto ou empreendimento e conseqüentemente, alcançar a satisfação do cliente quanto ao resultado do produto final.

A implantação do SGQ na construção Civil tem se mostrado um método eficaz, pois graças a ele pode-se observar grande melhoria nos processos e procedimentos, redução de retrabalho e desperdício de materiais bem como aumento significativo da satisfação dos clientes. De acordo com Oakland (1994), esse núcleo sensível deve ser protegido por um compromisso com a qualidade, atendendo aos pré-requisitos do cliente e admitindo a mudança de cultura na maioria das organizações para implementar o SGQ com sucesso.

Segundo pesquisas realizadas, a introdução de sistemas de gestão da qualidade na construção civil por meio da adoção da norma ISO 9001 tem impacto significativo no fortalecimento da reputação e credibilidade das empresas e é amplamente reconhecida como norma mundial.

De acordo com Oliveira (2004, p. 3):

Engana-se quem pensa que a preocupação com a qualidade dos produtos oferecidos aos clientes é coisa recente. Por volta de 2150 a.C., o código de Hamurabi já demonstrava uma preocupação com a durabilidade e funcionalidade das habitações produzidas na época, de tal forma que, se um construtor negociasse um imóvel que não fosse sólido o suficiente para atender à sua finalidade e desabasse, ele, construtor, seria imolado.

O objetivo do presente trabalho é realizar abordagem de pesquisas relacionadas ao tema que comprovam por meio de dados a eficácia da implementação de sistemas de gestão de qualidade nas empresas que atuam na área de construção civil, para tanto, os dados obtidos serão organizados em tabelas e gráficos a fim de possibilitar análise mais apurada quanto a eficácia do sistema aplicado.

Segundo Mello *et al.* (2009, p. 2), a implementação de um sistema de gestão da qualidade pode proporcionar à organização uma forma mais eficaz e eficiente de gerir os seus processos garantindo, assim, que todas as etapas do projeto sejam fielmente cumpridas por meio da definição das etapas - O quê, quando, como e onde fazer - e dos respectivos responsáveis por cada atividade.

Para Pinto *et al.* (2005), as organizações que mais investiram em qualidade, pela

adoção de programas, entre os quais a Certificação de Sistemas de Qualidade pelas Normas ISO 9000, obtiveram sucesso nos indicadores de desempenho, embora os autores reconheçam que houveram alguns insucessos. Para Oliveira *et al.* (2011), a forma mais comum de SGQ adotada pelas organizações é baseada na norma ISO 9001. Já Maekawa *et al.* (2013) salientam a necessidade de desenvolver e implantar instrumentos tecnológicos e gerenciais que proporcionem consistentes vantagens competitivas.

Desse modo justifica-se a importância e a necessidade da realização da presente pesquisa onde por meio da análise de dados coletados será possível verificar a eficácia da implementação de sistemas de qualidade na produção de edificações. A pesquisa também visa contribuir principalmente para o setor de empreendimentos imobiliários, pois está intimamente relacionada com a gestão e melhoria dos processos, através de padrões, modelos e ferramentas que serão apresentadas no decorrer deste estudo.

Na construção civil, a falta de qualidade verificada nos processos é um problema recorrente que pode colocar em risco a segurança dos trabalhadores e usuários da edificação. Diante disso, surge o seguinte questionamento: Como a implantação de um SGQ pode contribuir para a melhoria da qualidade e segurança das obras civis?

A hipótese defendida neste artigo é que a implantação de um SGQ pode contribuir para a melhoria do setor da construção civil, garantindo a qualidade e segurança nos canteiros de obra por meio da adoção de procedimentos preestabelecidos que visam assegurar a qualidade dos produtos e serviços prestados pela empresa.

Para atingir os objetivos apresentados, será realizada pesquisa exploratória em sites especializados contendo bases de dados científicos referente ao tema. Desse modo, serão apresentados referencial teórico e análises sistemáticas sob a forma de textos, tabelas e gráficos, das informações e dados julgados relevantes e que venham contribuir com a hipótese levantada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica que abordou a implementação de programas de qualidade, como a ISO 9001 (2000), em empresas do setor da construção civil, bem como o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat PBQP-H. Essa revisão se baseou em artigos publicados nos anais de congressos de engenharia de produção, sendo posteriormente expandida por meio de outras fontes de pesquisa, conforme as descobertas surgidas ao longo do processo.

Sistema de Gestão

Ao longo dos anos, diferentes formas de conceituação surgiram sobre os Sistemas de gestão. De forma consistente e complementar, podemos citar a definição de Chiavenato (2000), que conceitua um sistema de gestão como “conjunto de elementos interdependentes, cujo resultado final é maior do que a soma dos resultados que esses elementos teriam caso operassem de maneira isolada”

A importância do SGQ na construção civil

A implementação de um SGQ na construção é fundamental para garantir que os projetos atendam aos requisitos do cliente, sejam concluídos no prazo e dentro do orçamento e cumpram os códigos e padrões estabelecidos. O SGQ pode ajudar a identificar e eliminar riscos e perigos potenciais, resultando em melhores resultados de segurança. Além disso, um SGQ pode aumentar a eficiência, a produtividade e melhorar a comunicação e a colaboração entre as equipes de projeto. (SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE)

O Sistema ISO 9000

A ISO 9000 - Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário é uma família de padrões que inclui além desta, a ISO 9001 e a ISO 9004. Estes padrões fornecem estrutura para gerenciamento e garantia de qualidade, bem como diretrizes para melhoria de desempenho. A série ISO 9000 é particularmente relevante para a indústria da construção, pois fornece um conjunto de princípios e práticas para gerenciar a qualidade, garantindo que os produtos e serviços atendam aos requisitos do cliente e melhorando continuamente os processos. (ABNT, 2015)

A importância da ISO 9001

Segundo a A ISO 9001 Sistema de gestão de qualidade - Requisitos é uma norma *Quality Management System* -QMS reconhecida globalmente que fornece às organizações uma estrutura para estabelecer, implementar, manter e melhorar continuamente seus sistemas de gestão da qualidade. O padrão desta norma é aplicável a todas as indústrias, incluindo a construção. A implementação dela pode ajudar as organizações a identificar e abordar os pontos fracos em seus sistemas de gestão da qualidade e garantir que atendam às expectativas do cliente e cumpram os regulamentos relevantes. (ABNT, 2015)

A importância da ISO 9004:

A NBR ISO 9004 fornece orientação para um sistema de gestão da qualidade com objetivos mais amplos do que a NBR ISO 9001, especificamente no que tange à melhoria contínua do desempenho global de uma organização e sua eficiência, assim como à sua eficácia. A NBR ISO 9004 é recomendada como uma orientação para organizações cuja Alta Direção deseja ir além dos requisitos estabelecidos na NBR ISO 9001, buscando melhoria contínua de desempenho. Entretanto, não tem propósitos de certificação ou finalidade contratual. (ABNT, 2000 p. 3)

O objetivo do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat PBQP-H

Segundo o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat PBQP-H [...] propõe-se a organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade e da modernização produtiva, gerando um ambiente de isonomia competitiva.[...]

A adoção sistemática de uma política de qualidade na cadeia produtiva aumenta a confiabilidade desses produtos e protege os direitos dos consumidores. Com isso, o setor pode implementar uma política de satisfação do cliente e atender com mais eficácia as necessidades e expectativas da população.

DESENVOLVIMENTO

Desde a introdução da ISO 9000 (2000), sua adoção aumentou em todos os setores da economia, tornando-se uma referência fundamental para a entrada no mercado global e para a competitividade industrial.

Sabemos que um dos elementos chave para garantir a eficácia deste sistema de gestão da qualidade é a fiscalização da documentação adequada das atividades e processos realizados, bem como a definição e implementação de conformidades, ou, dito de outra forma, a fixação dos requisitos de desempenho e das especificações que o produto deve atender.

Devido à repetição contínua e prolongada de seus processos e produtos, a indústria seriada não vê esses dois pontos fortes da ISO 9000 (2000) como um desafio. Isso permite a possibilidade de uma análise minuto a minuto durante um longo período de tempo.

Embora os processos e produtos da Indústria da Construção não sejam baseados na produção seriada, o Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9000 (2000) é tratado como pioneiro em contraste com as indústrias seriadas onde a ISO foi expressamente difundida.

Segundo Picchi (1993) e Pereira (2008), embora se saiba que os conceitos gerais de qualidade foram desenvolvidos em ambientes industriais com realidades distintas daquelas da engenharia civil, eles ainda podem ser usados como conceitos gerais desde que sejam adaptados às especificidades do setor. Os primeiros programas de implantação do SGQ - Sistema de Gestão de Qualidade - voltados para o setor da construção civil no Brasil podem ser vistos a partir da década de 1990.

Encontrar normas que estabeleçam a padronização de um produto na construção civil é difícil, e estabelecê-las não é possível devido à grande variedade de fatores influenciadores.

No entanto, a questão da qualidade na construção civil começa a ganhar destaque no cenário comercial e econômico e é foco de iniciativas de melhoria em diversos negócios.

A ideia de gestão da qualidade deixou de ser vista como uma ação corretiva baseada na técnica de busca de não conformidades para uma visão mais contemporânea baseada em medidas preventivas que levam em consideração todas as etapas de um processo sistêmico.

Antes disso, imaginava-se um cenário em que o preço fosse a soma do custo e do lucro. Como resultado do preço determinado pelo mercado, menos os custos de produção, temos lucro hoje (BARROS e SABBATINI, 1996).

Essa nova exigência passou a impor atitudes voltadas para a modernização aliada à busca de ganhos de qualidade nas ações das empresas que estabelecem atitudes como as descritas a seguir de acordo com a noção de "QUALIDADE" (LIMA, JR. 1993).

- Adequação dos procedimentos de gestão e governança para garantir a correta distribuição de decisões e responsabilidades;
- Adoção de métodos eficazes de gestão e governança para manter uma cultura

geral de gestão dentro da organização;

- Implementação de procedimentos de gestão baseados em sistemas de planejamento capazes de fornecer informações precisas;
- Reconhecer as relações entre um produtor e seu mercado permite que ele ajuste seus produtos às melhores condições de liquidez e produção possíveis, mantendo um alto padrão de qualidade.

O Sistema da Qualidade, que tem como base a série ISO 9000 (2000), destaca-se entre essas medidas no momento. Em particular, a norma ISO 9004 (2000) aborda a gestão da qualidade de forma mais abrangente, sem levar em conta as restrições contratuais.

Segundo Amorim, Sérgio R. Leusin de (1998), a implementação da ISO 9000 (2000) é, na verdade, baseada em dois níveis: um nível documental que é explicitamente declarado, e um segundo nível que está implícito nas normas e é baseado em participantes engajamento e persuasão. O projeto do produto em construção depende desse segundo nível não documentado.

Definir a qualidade de acordo com as especificações é um dos desafios de todos os engenheiros, porque se refere ao conjunto de características de um produto ou serviço. Essas características são referidas como especificações, descrições de produtos ou serviços em termos de utilidade, desempenho em relação a padrões ou atributos técnicos. (MAXIMIANO, 2015).

Ainda segundo o mesmo autor, adequação ao uso engloba as definições de excelência, especificações e conformidade e tem dois significados específicos que são a qualidade de projeto e ausência de defeitos.

A qualidade do projeto compreende as características do produto que atendem às necessidades ou interesses do cliente. Quanto mais o produto for capaz de cumprir a finalidade para a qual o cliente pretende utilizá-lo, mais elevada (ou adequada) é a qualidade do projeto. (MAXIMIANO, 2015, p. 78).

Conforme verificado o PBQP-H gera alguns benefícios para as empresas de construção civil, que aderiram aos programas da qualidade, assim conforme dados mencionados pelo PBQP-H (2017) entre os quais destaca-se:

- Moradia e infraestrutura urbana de melhor qualidade: um dos indutores que afetam a qualidade no seguimento da construção civil seria a baixa qualidade dos materiais e obras, especialmente nos segmentos de baixa renda. Deste modo o programa tende a melhorar a infraestrutura urbana inadequada, oferecendo uma melhor qualidade de vida;
- Redução do custo com melhoria da qualidade: o PBQP-H colabora para com as empresas na redução de desperdício de materiais e na melhoria com a qualificação das empresas construtoras, induzindo os recursos que são empregados nos financiamentos, para que possibilite o atendimento de um número maior da população;
- Aumento da produtividade: este benefício procede para a empresa melhoria nos processos tais como de produção e de materiais de construção e na execução

de obras;

- Qualificação de recursos humanos: conforme o PBQP-H (2017) este é considerado um dos maiores benefícios, pois [...] “é o envolvimento de seus recursos humanos com a melhoria contínua da qualidade”. Onde o mesmo é elaborado através de programas de capacitação e treinamento;
- Modernização tecnológica e gerencial: em relação a este benefício o PBQP-H (2017) tende a [...]“criar um ambiente propício à inovação e melhoria tecnológica, por meio do fortalecimento da infraestrutura laboratorial e de pesquisa”;
- Defesa do consumidor e satisfação do cliente: entretanto este benefício favorece políticas sistêmicas de qualidade, ao qual protege todos os direitos do consumidor de materiais de construção e dos compradores de unidades habitacionais, com fim de garantir a confiabilidade desses produtos e satisfazer as necessidades dos clientes.

Além dos benefícios mencionados acima, com o PBQP-H a empresa pode obter:

- Aprovação dos projetos junto aos agentes financiadores;
- Participação no programa Minha Casa, Minha Vida;
- Habilitar a empresa para participação de licitações municipais e/ou estaduais;
- Obtenção de benefícios junto ao BNDES.

O PBQP-H é um instrumento do governo federal que tem como objetivo a organização da construção civil, traz modernização na produtividade e qualidade, mas o setor deve confirmar assim. As verificações devem ser realizadas por meio da avaliação da conformidade das construtoras, qualificação das empreiteiras e utilização de materiais, serviços e mão de obra.

Os benefícios mais importantes incluem a oportunidade de solicitar financiamento de instituições públicas e privadas, participação no programa “Minha Casa, Minha Vida” e benefícios do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social BNDES. Além disso, a adesão ao PBQP-H permite que a empresa participe de licitações municipais e/ou estaduais, além de estabelecer um padrão de qualidade nas contratações.

A Caixa Econômica Federal exige o PBQP-H como pré-requisito para a concessão de financiamento habitacional no âmbito do programa Minha Casa, Minha Vida.

Uma das ferramentas do PBQP-H é o Sistema de Avaliação da Conformidade das Empresas de Serviços e Obras Cíveis (SiAC), desenvolvido no âmbito do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade Habitacional.

Em 15 de junho de 2018, o Ministério das Cidades publicou uma nova versão do Regimento Geral do SiAC por meio da Portaria nº 383, de 14 de junho de 2018. A publicação também inclui o Regimento Específico do SAC de Especialização Técnica em Execução de Projetos, bem como os padrões normativos de referência para os níveis B e A e os requisitos auxiliares para os subconjuntos desta especialidade.

O SiAC tem um caráter evolutivo, estabelecendo níveis de avaliação da conformidade de acordo com os níveis de gestão da qualidade em que os negócios são avaliados e classificados. De acordo com o Regulamento Geral do SiAC (PBQP-H-HABITAT, 2018, p. 40)

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat - PBQP-H está integrado ao Sistema de Aproveitamento da Conformidade dos Prestadores de Serviços da Construção Civil (SiAC), com o objetivo de promover a qualidade, a produtividade e a sustentabilidade do setor.

O objetivo do SiAC é avaliar a conformidade dos sistemas de gestão das empresas do setor de construção civil.

O processo de avaliação e certificação da conformidade deve ser realizado por um Organismo de Avaliação da Conformidade (OAC) credenciado pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO (CGCRE) com base no regime vigente, nos demais documentos normativos de referência e na ABNT NBR ISO /IEC 17021-1. - Requisitos de avaliação de conformidade para organizações que fornecem auditoria e certificação.

De acordo com o PBQP-H- HABITAT de Incidência (2018, p. 20), as especialidades técnicas abrangidas pelo atual Regimento são: I- Execução de projetos.

II. Prestação especializada de serviços de construção

III- Gestão Empreendedora

4. Desenvolvimento de projeto.

V. Outras especialidades técnicas que o C.N. definiu e os valores CTECH.

De acordo com o PBQP-H- HABITAT - Regimento Específico da Especialização Técnica de Execução do SiAC (2018, p. 27):

Os seguintes subconjuntos são certificados pelo SiAC para a especialização técnica “Execução de Juramentos”:

I - Construção de edifícios

II- Projetos básicos de manutenção da saúde

III- Obras de arte especiais e esculturas monumentais.

Um relatório de auditoria deve revelar se o SGQ cumpre os requisitos do Referencial Normativo, objetivos de qualidade, padrões, requisitos do cliente, regulamentos aplicáveis e requisitos legais, garante a qualidade dos bens e serviços controlados e gerencia efetivamente projetos e obras de acordo com planos de qualidade. (PBQP-H-HABITAT, 2018, p. 36)

A construtora deve atender aos requisitos de infraestrutura adequada, ter um representante, ter um manual da qualidade e ter uma estrutura capaz de garantir a qualidade dos seus serviços.

É possível identificar os aspectos fundamentais e as relações envolvidas isolando cada elemento funcional e desenvolvendo, quando possível, relações quantificáveis para fins de comparação de metodologias de engenharia, realização de análises e avaliações. (POLETO, 2010).

No caso das empresas brasileiras, sabemos que a gestão deve ser norteadada pelos padrões utilizados na ISO 9000 (2000).

Resultados positivos vêm sendo alcançados com a implantação de programas de gestão da qualidade, como o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H, 2002), embora ainda sejam constatadas diversas deficiências que ameaçam o empreendimento.

Devido à falta de requisitos relacionados à facilidade de execução do projeto no cronograma da obra, essas deficiências afetam a capacidade produtiva e o tempo necessário para a conclusão da obra, além de gerarem problemas na qualidade final do produto. Os custos são impactados diretamente pelo trabalho adicional, desperdício de material e manutenção adequada necessária após a entrega e ocupação das unidades habitacionais.

Segundo Reis e Melhado (1998), uma parcela significativa dos empresários da indústria da construção entende como o comprometimento é crucial para o sucesso de um programa de qualidade.

Outro desafio é a ausência de informações necessárias para a gestão e operacionalização dos processos. Segundo Souza e Mekbekian (1995), a cultura de centralização e autoritarismo na indústria da construção é a causa raiz das lacunas de informação existentes em todos os níveis hierárquicos.

Segundo Reis e Melhado (1998), entre os desafios encontrados estão a incapacidade de definir metas e objetivos de longo prazo, bem como a descontinuidade das ações de melhoria da qualidade.

Segundo Ambrozewicz (2003), o principal desafio para a manutenção do sistema de qualidade nas construtoras é a falta de comprometimento individual.

Segundo Souza e Mekbekian (1995), a razão pela qual os gestores não conseguem cumprir suas obrigações em relação ao programa de qualidade é porque eles estão preocupados com suas tarefas diárias. Dessa forma, o Programa de Qualidade é visto como um desafio e não como um auxílio para a conclusão de suas tarefas.

No mesmo sentido, Vivancos e Cardoso (2000) afirmam que o mestre de obras deixou de ser o encarregado de determinar a forma como o trabalho deveria ser feito e passou a ser o encarregado de garantir que os serviços fossem prestados de acordo com os procedimentos .

Segundo Melhado (1998), um subcontratado normalmente prioriza a produtividade em detrimento do calibre dos serviços entregues e dos lucros gerados. As dificuldades encontradas incluem o descompromisso das equipes terceirizadas com os procedimentos do canteiro de obras e a dificuldade de integração entre elas.

Ferramentas do controle de qualidade

5S

Após a Segunda Guerra Mundial, quando o Japão buscava competir no mercado,

a metodologia 5S surgiu entre as décadas de 1950 e 1960.

Para fazer parte desse cenário, a nação precisou formatar, organizar e aprimorar sua produção.

Envolve um conjunto de cinco ideias fundamentais para a gestão da qualidade. É conhecido como Método 5S, pois cada um desses conceitos começa com a letra “S”. Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke são eles.

No Brasil definidos como os sentidos de Seiri (utilização), Seiton (organização), Seiso (limpeza), Seiketsu (higiene) e Shitsuke (disciplina)

Metodologias semelhantes foram adotadas por nações como Espanha e Inglaterra sob nomes como “*Housekeeping*” e “Teoria da Escova”, respectivamente. Ambas as ideias são semelhantes às utilizadas no programa 5S.

O programa é aplicável a uma variedade de indústrias e negócios. Traz benefícios para todos que moram ou trabalham na região, garantindo melhores condições de trabalho, saúde e higiene. Tornar eficaz o Sistema da Qualidade.

A principal realização do programa é a conscientização do público em geral e dos envolvidos com o meio ambiente. A instalação do programa por si só não garante a eficácia do sistema de gestão da qualidade. O objetivo é prevenir quebras de negócios, educar as pessoas e a população afetada e manter o Sistema de Qualidade na produção.

MÉTODO SEIS SIGMA

A filosofia do seis sigma é uma estratégia geral de gerenciamento de mudanças com o objetivo de acelerar a melhoria de procedimentos, bens e serviços.

A letra grega “Sigma” representa o conceito estatístico do desvio de uma amostra da média. Maior variação de dados resulta em um maior desvio da norma.

O Seis Sigma possui seis níveis de qualidade, sendo que cada nível sigma representa o número máximo de erros por milhão. É assim que tem o seu nome. A ferramenta rastreia a frequência com que as pessoas cometem erros ao tentar aproximá-los usando dados estatísticos próximos ao sexto sigma (6-sigma).

Nível Sigma	Defeitos por milhão
6 sigma	3,4
5 sigma	233
4 sigma	6.210
3 sigma	66.807
2 sigma	308.537
1 sigma	690.000

O principal princípio do Seis Sigma é reduzir a variação nos processos e, ao fazê-lo, eliminar falhas ou defeitos em bens ou serviços (LINDERMAN *et al.*, 2003).

A estratégia de gestão Seis Sigma visa melhorar a lucratividade dos negócios em qualquer setor ou com qualquer tipo de receita (HAHN *et al.*, 2000; WESSEL; BURCHER, 2004) a fim de aumentar a participação no mercado, diminuir custos e otimizar as operações (BREYFOGLE III *et al.*, 2001).

A metodologia Seis Sigma prioriza o aumento da lucratividade porque concentra esforços na redução dos custos relacionados à qualidade e na melhoria da eficiência e eficácia de todas as operações de negócios com o objetivo de atender às necessidades do cliente (ANTONY; BANUELAS, 2001).

Assim, para garantir a implementação do programa, todos os níveis e funções da organização devem participar e se comprometer, além do comprometimento da alta administração. Isso para garantir o sucesso do programa e garantir a satisfação do cliente e da organização como um todo (BANUELAS; ANTONY, 2002).

Os benefícios do Seis Sigma são os principais incentivos para as empresas, pois focam na melhoria contínua do processo, satisfação do cliente, especificações claramente definidas, melhoria da qualidade, aumento da produtividade, eficiência do tempo, aumento da confiabilidade do produto, redução de custos e maximização da receita (ARNHEITER; MALEYEFF, 2005; BLAKESLEE JR., 1999; HAN; LEE, 2002; SNEE, 2000; YOUNG, 2001).

O PDCA

W.A. Shewhart, um estatístico norte-americano que levantou preocupações sobre a qualidade e a variabilidade observadas na produção de bens e serviços, é creditado por desenvolver a preocupação com a qualidade em um sentido mais amplo. Ele também desenvolveu o ciclo Planejar, Fazer, Verificar e Agir (PDCA), uma metodologia fundamental para o Sistema de Gestão da Qualidade.

Plan, Do, Check e Action são as iniciais da sigla PDCA. O objetivo do PDCA é tornar as atividades mais organizadas e eficazes:

- PLANEJAR = PLANEJAR. Isso implica definir os objetivos a serem alcançados e estabelecer os métodos para alcançá-los.
- EXECUTAR = FAZER. Colocar o plano em ação treinando a equipe, atuando e buscando informações próximas aos objetivos que estão sendo alcançados.
- VERIFICAR: é verificar através de documentos de verificação de serviço, como o Ficha de Verificação de Serviço (FVS) e a Ficha de Verificação de Produto. Isso significa verificar se a ação tomada estava de acordo com os padrões da Norma e com os requisitos da empresa, confirmando que não há requisitos para procurar atendimento médico para eles.
- ACTION é A + O. indica corrigir as inconsistências anteriores que foram descobertas

Um dos pontos fortes do PDCA é que ele já inclui auditoria interna e monitoramento, então o gerenciamento vai acontecendo conforme você o aplica, identifica, de forma mais organizada, onde estão as não conformidades, permitindo que o problema seja corrigido e

prevenido no futuro.

O ciclo PDCA é composto por quatro etapas que visam implementar mudanças. Sendo um ciclo, nunca deve terminar e sim repetir-se de forma a melhorar constantemente.

É utilizado para alcançar resultados dentro de um sistema de gestão e pode ser aplicado por qualquer empresa, independente do setor de atuação.

Cenários úteis incluem iniciar um projeto de melhoria, desenvolver um novo projeto, planejar uma coleção de análises para identificar problemas e encontrar soluções e implementar qualquer mudança.

O PDCA nasceu da necessidade de organizar e fiscalizar as atividades.

O conceito de PDCA é baseado no método científico, pois foi desenvolvido a partir do trabalho de Francis Bacon (*Novum Organum*, 1620). É uma ferramenta multifuncional para o trabalho e deve ser usada diariamente pelas organizações.

Como resultado, o PDCA divide a gestão em quatro partes com o objetivo de tornar os processos mais distintos e maduros em sua execução.

Gerenciamento de resíduos da construção civil (RCC)

É fundamental reduzir os efeitos ambientais causados pelos resíduos que sobraram após a construção civil. Em resposta ao crescimento desses resíduos, a Resolução CONAMA nº 307 de 2002 estabeleceu procedimentos e diretrizes a serem seguidas em relação aos resíduos. Em vigor em 2003, classifica como “resíduos da construção civil” os produtos da construção, reforma, demolição, derrubada de vegetação e escavação de atividades diversas.

Segundo Otávio Henrique da Silva *et al.* (2009), é necessário prevenir o desenvolvimento de RCC e, conseqüentemente, reduzir, reutilizar, reciclar, tratar os resíduos e descartar os rejeitos de maneira adequada no final da sua utilização. Assim, os resíduos da construção civil não podem ser depositados apenas em aterros de resíduos urbanos, em áreas de vazadouros, encostas, cursos d’água, terrenos baldios ou em áreas legalmente protegidas.

Segundo Miotto (2013), são vários os fatores que contribuem para a geração excessiva de CCR, entre eles, a má qualificação da mão de obra, a falta de princípios de racionalização na técnica construtiva, as falhas nos métodos de transporte de materiais nas zonas de trabalho e o excesso de materiais e produção de embalagens.

Do ponto de vista da geração ao descarte, as atividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos de fluxo único podem ser agrupadas da seguinte forma: geração, gerenciamento e separação, armazenamento e processamento de resíduos de fluxo único na fonte, coleta, separação, processamento, e transformação de resíduos de fluxo único, transporte e disposição (POLETO, 2010).

A utilização da ISO 9001 com o programa PBQP-H

Como já dito anteriormente, a norma ISO 9001 para sistemas de gestão permite às

empresas avaliar a consistência de seus processos, mensurá-los e acompanhá-los com o objetivo de aumentar sua competitividade e, assim, garantir a satisfação de seus clientes e atender suas necessidades.

Os clientes e a sociedade como um todo se beneficiam quando uma empresa recebe a certificação ISO 9001, pois serve como um reconhecimento nacional e internacional do calibre do trabalho produzido (ANDRADE, 2014).

A certificação PBQP-H, que é um programa que atende aos requisitos da ISO 9001, mas tem uma necessidade relacionada a projetos com especificidades para a construção civil, está sendo adotada pelas empresas. Por ser um programa semelhante ao das empreiteiras, elas acabam solicitando uma pós-auditoria para obter as duas certificações. Essa solicitação é atendida porque se uma empresa possuir o PBQP-H, automaticamente estará atendendo aos requisitos da ISO 9001 (ANDRADE, 2014).

As empresas de construção estão colocando mais ênfase em programas de qualidade devido às demandas dos clientes sobre o produto acabado, bem como à pressão para reduzir custos e cronogramas de projetos. Porém, a falta de recursos – sejam financeiros ou mesmo administrativos – para se engajar em programas que promovam a qualidade e a produtividade acaba dificultando o aproveitamento dessa vantagem competitiva. Com isso, essa competição acaba favorecendo empresas maiores (FERREIRA, 2012).

Perspectivas para a implantação da PBQP-H

As empresas afirmam que quando há investimento, colaboração profissional, aplicação de todas as regras e treinamento, o sistema de gestão da qualidade resulta em benefícios e retornos antecipados. As empresas que implementaram essa ferramenta para a gestão da qualidade conseguiram atingir suas metas, reduzindo problemas e melhorando os resultados (FERREIRA, 2012).

Devido à atenção aos detalhes dos funcionários treinados e à busca pela melhoria da qualidade do que fazem, houve uma diminuição na quantidade de trabalhos realizados em projetos para as empresas. Como resultado, há uma redução na quantidade de recursos financeiros e materiais necessários para o projeto (ANDRADE, 2014).

Segundo Andrade (2014), existem algumas empresas que possuem certificação, mas apenas organizam a papelada e trabalham durante o horário de auditoria, caso em que aderem aos padrões do PBQP-H quando esperam que os auditores verifiquem o trabalho. o que na verdade influenciam na verdadeira avaliação das empresas porque são credenciados, mas não se aplicam o esforço contínuo necessário para manter a qualidade e a produtividade do trabalho. A organização deve estabelecer, documentar, executar e manter um sistema de gerenciamento de dados e qualidade, bem como aumentar constantemente a sua eficácia de acordo com os requisitos de norma. Por conta disso, é fundamental que a empresa tenha sempre em mãos a sua documentação organizada e revisada com a assistência de uma empresa de consultoria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independentemente do tipo de negócio, os processos de gestão da qualidade e da produtividade exigem mudanças comportamentais e culturais. Será necessário o comprometimento de todos na empresa para atingir esse objetivo. A análise dos resultados setoriais específicos mostra que as ações para melhorar a produtividade e obter a qualidade dos produtos levam em consideração, entre outras coisas, questões relacionadas a procedimentos operacionais, programas de treinamento e conscientização dos funcionários. No entanto, notou-se uma resistência significativa às mudanças feitas pela empresa que não possui a certificação do programa no que diz respeito ao gerenciamento e execução dos serviços da obra.

Embora o programa exige muita burocracia, torna-se necessário que os processos sejam padronizados e regulamentados para dar mais controle ao processo.

Essas mudanças nos processos da empresa podem ser percebidas no volume de trabalho relacionado à organização e limpeza, na redução de materiais não conformes e na prestação de serviços devido à redução de trabalho.

Portanto, um engenheiro civil é essencial para auxiliar na gestão de projetos, pois ele escolhe as melhores formas de utilizar os fatores fundamentais da produção, como máquinas, materiais, pessoas e informações, para a prestação de um serviço. Por isso, servem de elo entre os objetivos propostos pela empresa e o desempenho operacional e buscam constantemente aumentar a produtividade por meio da gestão de pessoas, métodos, organizações, tecnologia e processos.

Assim, a recomendação com maior potencial para ajudar o programa a atingir os objetivos propostos é o desenvolvimento de uma cultura de qualidade. Antes da adoção do PBQP-H, sugere-se que seja desenvolvido um programa de treinamento para seus integrantes, com o objetivo de formar uma base de conscientização dos funcionários com foco em competência, liderança e trabalho em equipe. Esses valores são cruciais no desenvolvimento de uma forte cultura voltada para a melhoria contínua e a qualidade. Os achados e conclusões deste trabalho possibilitam a formulação de sugestões adicionais que aprimorem e atraiam empresas para o PBQP-H. No entanto, mais tempo e recursos seriam necessários para uma exploração mais profunda do assunto.

Como resultado, fica claro que mais pesquisas devem ser realizadas a fim de aprimorar as propostas que vêm sendo feitas e melhorar continuamente a qualidade na indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. A. C. S. Análise da Aplicação da ISO 9000 e PBQP-H nas Empresas Construtoras do Distrito Federal. Brasília. 2014.

AMORIM, S. R. L. Tecnologia, Organização e Produtividade na Construção. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 1995.

AMBROZEWICZ, Ayda Guimarães; TRAJANO, Isar. Análise da origem de defeitos em edifícios habitacionais: uma metodologia baseada em estudo de caso no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC-USP, 1998. p. 417-424.

ANTONY, J.; BAÑUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring Business Excellence*, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002

ARNHEITER, E. D.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*, v. 17, n. 1, p. 5-18, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9000. sistemas de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário. ABNT, Rio de Janeiro, Dezembro, 2000a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001. sistemas de gestão da qualidade – requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, Dezembro, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001. sistemas de gestão da qualidade – requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, Dezembro, 2000b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9004. sistemas de gestão da qualidade – Diretrizes para melhorias de desempenho. ABNT, Rio de Janeiro, Dezembro, 2000.

BACON, Francis. 1620. *Novum Organum; ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza*. Tradução usada: José Aluysio Reis de Andrade.

BRASIL. PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT – PBQP-H. 2012.

BRASIL. Empresas avaliadas no SiAC. PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT – PBQP-H. 2012

BRASIL. Ministério das Cidades. PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT – PBQP-H. 2012

BREYFOGLE III, F. W.; CUPELLO J. M.; MEADOWS, B. *Managing Six Sigma: a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottomline success*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Resolução nº 274, 29 de Novembro de 2000. Ministério do Meio Ambiente. _____, 2005.

CHIAVENATO, Idalberto. *Introdução à Teoria Geral da Administração*. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

FERREIRA, D. *Programas Setoriais da Qualidade: Benefícios para o Setor e para toda a Sociedade*. 2012

LIMA, E. B. Implantação da gestão pela qualidade total GQT, na seção de documentação técnica do Distrito de Exploração do Sudeste (DESUD) Petrobrás. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE BIBLIOTECONOMIA E DOCUMENTAÇÃO, 2; CONGRESSO BRASILEIRO DE

BIBLIOTECONOMIA E DOCUMENTAÇÃO, 17, 1994, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação dos Bibliotecários de Minas Gerais; Escola de Biblioteconomia da UFMG, 1994.

LINDERMAN, K. *et al.* Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, v. 3, n. 21, p. 193-203, 2003.

MELHADO, Silvio Burratino. Novos desafios da gestão da qualidade para a indústria da construção civil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC-USP, 1998. p. 619 - 626

MAXIMIANO, Antônio Cesar Amaru. Fundamentos da Administração: introdução à teoria geral e aos processos da administração. 3. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2015.

Maekawa, R., Carvalho, M. M. Oliveira, O. J. (2013), "Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades", *Gestão & Produção*, Vol.20, No.4, pp. 763-779. Sistema de gestão da qualidade para operações de produção e serviços.

MELLO ISO 9001:2008: Sistema de gestão da qualidade para operações de produção e serviços. 1ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

MIOTTO, Luana de Paula; MIOTTO, Viviane de Paula. Uma síntese acerca de estudos de modelos reduzidos de barragens. 2013. 76 f.

ISO 9001 Certificação no Brasil. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gp/a/rdyRynHz9g56J4KGSCWndKf/?lang=pt>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

NOGUEIRA, Claudia Mendes Chemppe. Gestão da Qualidade: A importância de um sistema de gestão da qualidade em uma organização, do Curso de Administração da Faculdade de Ciências Jurídicas e Gerenciais Alves Fortes – FACE-ALFOR, mantida pela fundação educacional de Além Paraíba - FEAP. 2015. 53 f. Monografia (Graduação em Administração)- Faculdade de Ciências Jurídicas e Gerenciais Alves Fortes, Além Paraíba, 2015.

OLIVEIRA, José Roberto Cerqueira. Aspectos Humanos dos 5 sentidos: uma experiência prática. 2ª edição – Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 1997.

OLIVEIRA, Valéria Faria. O papel da Indústria da Construção Civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional. Congresso Internacional de Cooperação Universidade-Indústria. Taubaté (SP), 2012.

OAKLAND, John S. (1994) Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-403604>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

OLIVEIRA, J. A., Nadea, J., Oliveira, O. J., Salgado, M. H. (2011), "Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas no interior de São Paulo", *Produção*, Vol. 21, No.4, pp. 708-723

OTÁVIO Disponível em: <https://issuu.com/cengagebrasil/docs/gestao_da_qualidade>. Acesso em: 15 abr. 2023.

PBQP-H-HABITAT, Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil- SiAC. Regimento Geral, Regimento Específico da Especialidade Técnica e Execução da Obras. Brasília, 2018.

POLETO, Leandro José do Carmo. Study of application of GPS in monitoring of dislocation in structures. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

PEREIRA, S.R.; FILIPPI, G.A.; CARDOSO, F.F. Micro e pequena empresa fornecedoras de mão-de-obra da construção civil: caracterização, organização e estratégias. In: II Congresso internacional de tecnologia e gestão da qualidade na construção civil, Universidade de Pernambuco, 2000.

PINTO, S. H. B., Carvalho, M. M., Ho, L. L. (2006), "Implementação de Programas de Qualidade: um survey em Empresas de Grande Porte no Brasil", Gestão & Produção, Vol.13, No.2, pp.191-203.

PICCHI, F.; MENDES, A. Avaliação de implantação de sistemas evolutivos de gestão da qualidade: estudo exploratório em construtoras do estado do Piauí. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 4; Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção, Porto Alegre, 2005.

Programa brasileiro de qualidade e produtividade do habitat. Disponível em:<http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_siac.php>. Acesso em: 01 Jun. 2023.

REIS, Palmyra Farinazzo; MELHADO, Silvio Burrattino. Análise do impacto da implantação de sistemas de gestão da qualidade nos processos de produção de pequenas e médias empresas de construção de edifícios. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: PCCUSP, 1998a. p. 459 - 467.

SISTEMA de gestão da qualidade. Disponível em:<<https://arquivoi.com.br/blog/o-que-e-um-sistema-de-gestao-da-qualidade/>>. Acesso em: 9 abr. 2023.

SOUZA, Roberto de; MEKBEKIAN, Geraldo; SILVA, Maria Angélica Colevo; LEITÃO, Ana Cristina Munia Tavares; SANTOS, Marcia Menezes dos. Sistemas de gestão da qualidade para empresas construtoras. São Paulo: CTE, Sinduscon-SP, SEBRAE-SP, 1994, 247 p.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. TQM PDCA- quatro revoluções na gestão da qualidade. Porto Alegre, Artes Médicas, 1997.

VIVANCOS, Adriano G.; CARDOSO, Francisco F. Reflexos da implementação de sistemas de gestão da qualidade na organização e no meio ambiente de trabalho de empresas construtoras de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VIII, 2000, Salvador. Anais... Salvador-BA. 2000. v.1, p.674- 681.

Walter A. Shewhart · Economic Control of Quality of Manufactured Product (English Edition) · Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. 1996

Ensaio termoenergético para projetos de climatização na região amazônica

Djalma Almeida Araújo Júnior

Arquiteto e Urbanista, Engenheiro Civil, Engenheiro de Segurança do Trabalho e Tecnólogo em Gestão Ambiental. Pós-graduado em Engenharia Elétrica e Eletromecânica

RESUMO

De forma a ajudar os projetistas de climatização da região amazônica elaborou-se um estudo piloto para determinação da quantidade necessária de energia térmica para climatizar um ambiente na região Amazônia. Onde temos temperaturas externas elevadas e que demonstra que os números usuais e sugeridos de carga térmica não correspondem com a realidade da região. Através desse estudo os projetistas de climatização e ar condicionado poderão utilizar o parâmetro para aplicação em seus projetos na região Amazônica sem precisar se preocupar com o subdimensionamento de carga térmica devido à falta de medições específicas de temperatura externa e suas variáveis.

Palavras-chave: clima amazônico. climatização de ambientes. carga térmica simplificada. física térmica. conforto térmico.

INTRODUÇÃO

Atualmente existem pela internet e em diversas lojas de climatização tabelas que demonstram uma estimativa de carga térmica em (BTU/m²) para seleção de máquinas e aparelhos de ar condicionado. Com base na física térmica muitos dos aparelhos selecionados acabam não cumprindo seu rendimento ideal quando instalados na região Amazônica.

Clima amazônico, também conhecido como clima equatorial, é predominante na região da Amazônia, que inclui partes do Brasil, Peru, Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guiana Suriname e Guiana Francesa. Este clima apresenta características distintas que o tornam único e influenciam diretamente a biodiversidade e o ecossistema da região. Aqui estão algumas das principais características do clima amazônico:

Temperatura Elevada e Estável: O clima amazônico é caracterizado por temperaturas elevadas e relativamente constantes ao longo do ano.

Umidade Elevada: A umidade relativa do ar na região é geralmente muito alta, frequentemente acima de 80%. Isso resulta em uma sensação de calor e contribui para a grande quantidade de chuva.



Precipitação Abundante: A característica mais marcante do clima amazônico é a precipitação abundante e regular ao longo do ano. A região experimenta chuvas significativas durante todo o ano, com médias anuais que podem chegar a mais de 2.500 mm em algumas áreas.

Estação Chuvosa e Estação Seca: Embora haja chuva durante todo o ano, a região pode ser dividida em uma estação chuvosa e uma estação seca. A estação chuvosa geralmente ocorre de dezembro a maio, enquanto a estação seca vai de junho a novembro.

Diversidade de Espécies: Devido ao clima amazônico, a região abriga uma das maiores concentrações de biodiversidade do planeta. A umidade constante e a temperatura agradável proporcionam condições ideais para uma grande variedade de espécies vegetais e animais.

Vegetação Exuberante: A floresta tropical amazônica é uma das mais exuberantes do mundo, com uma ampla variedade de árvores, plantas, lianas e flores. A vegetação é densa e exuberante, contribuindo para o apelido de “pulmão verde do mundo”.

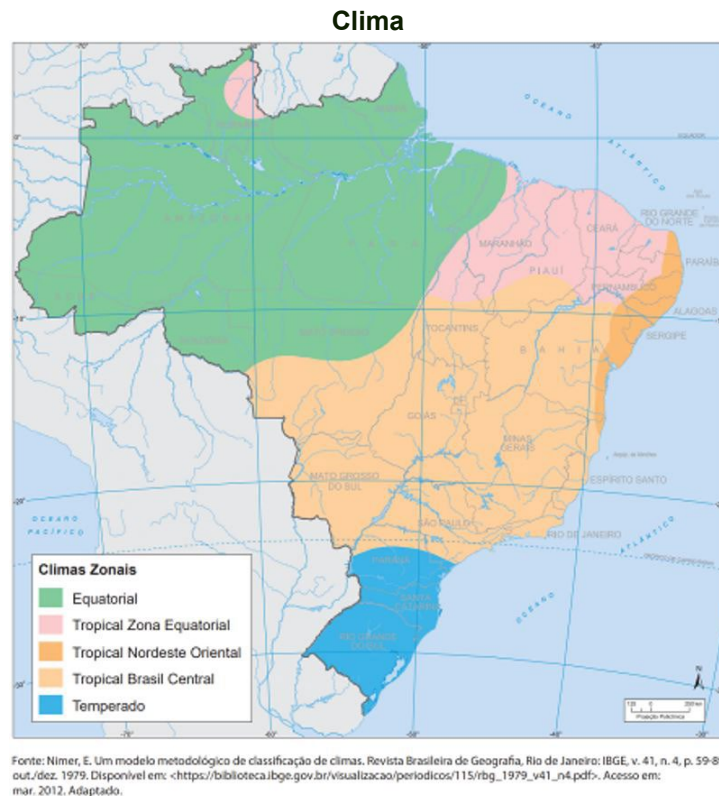
Rios e Lagos: A região abriga muitos rios importantes, incluindo o Rio Amazonas, o maior do mundo em volume de água. Os rios desempenham um papel fundamental no transporte e na ecologia da região.

Clima Monotônico: O clima amazônico é considerado monótono devido à falta de variação significativa nas temperaturas sazonais. No entanto, a variação diurna pode ser notável, com temperaturas mais baixas durante a noite.

Chuvas de Convecção: As chuvas na Amazônia são frequentemente associadas a processos de convecção, o que significa que elas se formam devido ao aquecimento da superfície terrestre, levando ao ar quente a subir e condensar em nuvens de chuva.

Influência nas Mudanças Climáticas: A Amazônia desempenha um papel crucial no clima global, absorvendo dióxido de carbono (CO₂) e liberando oxigênio (O₂) através do processo de fotossíntese das árvores. A destruição da floresta tropical amazônica pode ter impactos significativos nas mudanças climáticas globais.

O clima amazônico é uma parte fundamental do ecossistema da região, influenciando a vida vegetal, animal e as comunidades humanas que habitam essa área. A preservação desse ambiente único é uma preocupação global devido aos seus impactos no clima e na biodiversidade.



Com a vivência profissional na área da engenharia e da arquitetura podemos identificar diversos empreendimentos em que seus gestores reclamam do rendimento das máquinas em frente ao verão amazônico.

Muitos profissionais da área acabam baseando-se em tabelas de (BTU/m²) que não espelham a realidade do processo por procurarem uma simplificação do cálculo de carga térmica. Visto que o cálculo determinado pela ABNT leva em consideração vários fatores ambientais e climáticos do ambiente a ser climatizado. Gerando uma complexidade que alguns profissionais desprovidos de conhecimento específico acabam por projetar e instalar máquinas com capacidade insuficientes para garantir o conforto térmico na região Amazônica.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) possui normas específicas para o cálculo de carga térmica em edificações, visando garantir o conforto térmico e a eficiência energética dos sistemas de climatização. A norma mais relevante para esse fim é a ABNT NBR 15220-1:2019 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definição de termos.

A ABNT NBR 15220-1 é uma norma que estabelece os termos e definições relacionados ao desempenho térmico de edificações, incluindo o cálculo de carga térmica. No entanto, essa norma não fornece detalhes específicos sobre os métodos de cálculo em si, mas estabelece as bases conceituais para esse tipo de cálculo.

Para realizar o cálculo de carga térmica em edificações de acordo com as normas brasileiras, é necessário consultar outras normas complementares, como a ABNT NBR 15220-3:2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares e a ABNT NBR 15220-2:2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica,

da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor de superfície de elementos construtivos de edificações.

Essas normas detalham os procedimentos e os métodos para o cálculo de carga térmica levando em consideração fatores como isolamento térmico, orientação geográfica, ganhos internos de calor, entre outros. É importante consultar essas normas e, se necessário, buscar orientação de um profissional qualificado em engenharia de climatização para realizar cálculos precisos de carga térmica de acordo com as normas da ABNT.

DESENVOLVIMENTO

Para derrubar o mito das tabelas comerciais de (BTU/m²) e ter um parâmetro real para aplicação de sistemas de ar condicionados prediais na região Amazônica e atender com eficiência buscamos realizar um ensaio de climatização e coleta de dados para determinação de valores em (BTU/m³) para ambientes climatizados na região Amazônica.

Realizou-se a medição de stress térmico com uso de um termômetro de globo calibrado para identificação das condições térmicas externa ao ambiente em estudo.

- Temperatura ambiente externa: 37,3°C
- Temperatura de globo externa: 44,7°C
- IBUTG externo: 41°C
- Umidade relativa do ar: 13,1%

Ambiente de ensaio

Para ensaio foi determinado o ambiente com paredes de alvenaria, com incidência solar e instalação de um equipamento Split com capacidade de 22.000BTU/h, classe energética tipo A.

- Volume do ambiente de ensaio: 48,11m³
- Localização do ambiente de ensaio quanto ao norte: 86°L
- Elevação do ambiente ao nível do mar: 80m

Após o início do ensaio foi realizado 3 minutos depois do start da máquina as medições de temperatura dentro do ambiente interno.

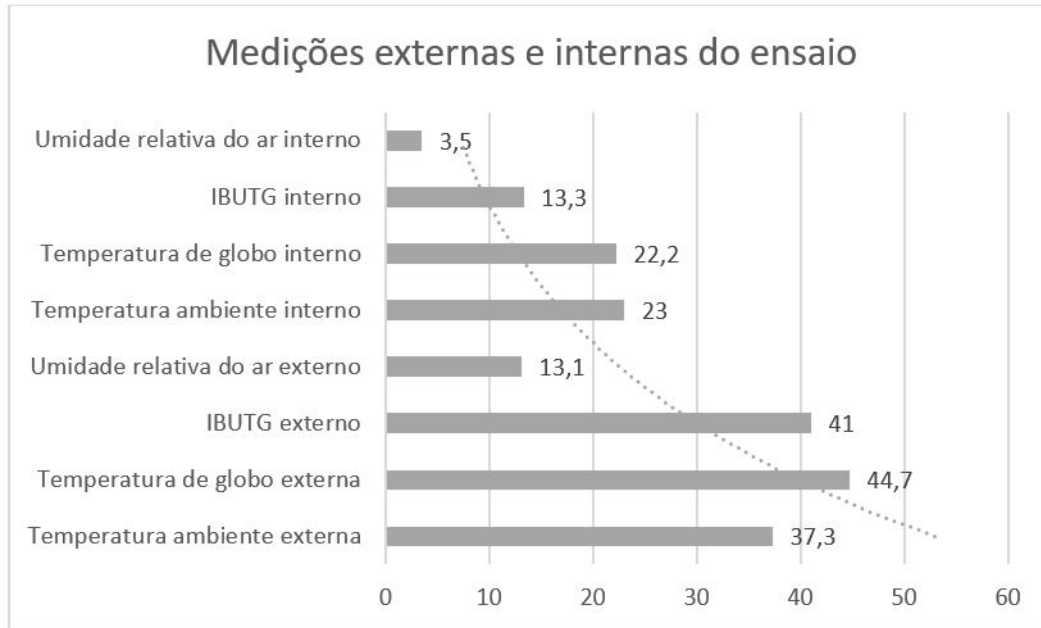
- Temperatura ambiente interno: 23°C
- Temperatura de globo interno: 22,2°C
- IBUTG interno: 13,3°C
- Umidade relativa do ar: 3,5%

Resultados do ensaio

Através das medições de stress térmico podemos identificar a particularidade do

clima amazônico e suas condições reais de temperatura ambiente, temperatura de globo, IBUTG externo e interno e Umidade relativa do Ar.

Gráfico 1 – Gráfico em barras com linha exponencial dos valores medidos externamente e internamente no ambiente de ensaio com máquina de ar condicionado.



Dessa forma podemos constatar que os valores medidos tiveram a redução esperada para garantir o conforto térmico das pessoas que utilizam o ambiente de ensaio.

Considerando o ensaio realizado podemos chegar nos seguintes parâmetros calculados:

Para ambientes localizados na região amazônica com incidência solar direta do sol da manhã e parte do sol da tarde pode ser considerado o valor de 460 BTU/m³ para o dimensionamento simplificado da carga térmica de ar condicionado.

Para ambientes localizados na região amazônica com incidência solar direta do sol da tarde e grande parte de vidros fixos pode ser considerado o valor de 500 BTU/m³ para o dimensionamento simplificado da carga térmica de ar condicionado.

Tais parâmetros iram garantir que as máquinas de ar condicionado possam operar dentro das condições normais realizando o desarme do compressor em regime de operação e reduzindo o custo de aquisição de equipamentos e instalação para clientes, uma vez que não terá superdimensionamento das máquinas e nem subdimensionamento de climatização nos ambientes da região amazônica.

Podemos deixar claro que os parâmetros realizados no ensaio podem nortear o projeto de climatização de forma a realizar um cálculo de carga térmica simples e atender o empreendimento em questão com eficácia e eficiência energética.

RESULTADOS

- Para ambientes localizados na região amazônica com incidência solar direta do

sol da manhã e parte do sol da tarde pode ser considerado o valor de 460 BTU/m³ para o dimensionamento simplificado da carga térmica de ar condicionado.

- Para ambientes localizados na região amazônica com incidência solar direta do sol da tarde e grande parte de vidros fixos pode ser considerado o valor de 500 BTU/m³ para o dimensionamento simplificado da carga térmica de ar condicionado.

Os valores foram medidos e ensaiados na prática e podem ser aplicados em cálculos de carga térmica simplificada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

APOSTILA de Ar-Condicionado e Exaustão. Brasília: Ed. UNICEUB, 2011. Disponível em: Acesso em: 01 abr. 2019.

AR-CONDICIONADO Janela 10.000 Btus com controle. [2019a] il. color. Disponível em: . Acesso em: 17 abr. 2019.

AR-CONDICIONADO, Split Consul só frio High Wall 18.000 Btu/h. [2019b]. il. color. Disponível em: . Acesso em: 20 abr. 2019.

AR-CONDICIONADO, Split Midea liva Frio 9.000 BTU/h. [2019c] il. color. Disponível em: . Acesso em: 15 abr. 2019. ASCOM. Conselho orienta sobre registro de ART de Plano de Manutenção, Operação e Controle. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia CONFEA. 2011. Disponível em: . Acesso em: 14 de abr. de 2019

FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional – NHO 06: avaliação da exposição ocupacional ao calor. 2. ed. GIAMPAOLI, Eduardo; SAAD, Irene Ferreira de Souza Duarte; DA CUNHA, Irlon de Ângelo; SHIBUYA; Elisa Kayo (Orgs.). São Paulo: Fundacentro, Ministério do Trabalho, 2017. Disponível em: . Acesso em: 10 mai. 2018.

ANEXOS

Figura 1 – Imagem da medição externa com termômetro de globo.



Figura 2 – Imagem da medição externa com termômetro de globo.



Figura 3 – Imagem da medição externa com termômetro de globo.



Figura 4 – Imagem da posição do ambiente de ensaio em relação ao norte magnético.

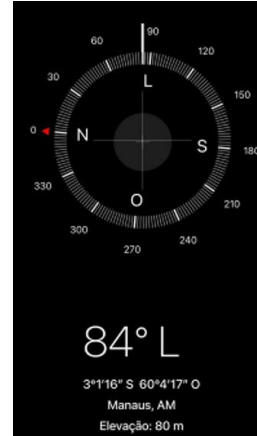


Figura 5 – Imagem com dados da capacidade de refrigeração da máquina de ar condicionado e etiqueta de eficiência energética.



Figura 6 – Imagem da medição interna com termômetro de globo.



Figura 7 – Imagem da medição interna com termômetro de globo.



Figura 8 – Imagem da medição interna com termômetro de globo.



Estudo de viabilidade de instalação de um sistema de energia elétrica solar fotovoltaico Off-Grid em um ônibus que vai ser transformado em um motorhome usando o método survey

Jhonathan Aziel da Silva Gonçalves

Engenharia de Produção, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, CPTL

Elida de Paula de Moraes Corveloni

Prof.ª Dr.ª, Engenharia de Produção, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, CPTL

RESUMO

Energia solar é um tipo de energia que está em alta no mercado e que cada vez mais sua busca está crescendo e também sobre as novas tecnologias que vem surgindo dela. É muito importante que ao viajar busca-se o conforto mais completo em relação a veículos, podendo ficar dias fora de casa. O motorhome é uma excelente opção para poder ficar despreocupado em relação onde se hospedar, podendo ser a melhor opção de ser um tipo de veículo para poder viajar. A autonomia de motorhome está em como essa energia é gerada e armazenada. A melhor forma de proporcionar uma excelente autonomia em um veículo é escolher energias renováveis, especificamente energia solar fotovoltaica. Esse tipo de energia ao longo do tempo está com facilidade no acesso e que muitas casas sobre rodas estão aderindo a esse tipo de energia. Esse trabalho tem como objetivo de fazer a viabilidade de instalação de um sistema *off-grid* para um veículo de recreação, analisando qual será o menor custo e o tempo de retorno de investimento desse tipo de projeto.

Palavras-chave: motorhome. autonomia. viabilidade.

ABSTRACT

Solar energy is a type of energy that is on the rise in the market and the search for it is growing more and more as well as the new technologies that are emerging from it. It's very important that when traveling you seek the most complete comfort in relation to vehicles, you may spend days away from home. Motorhome is an excellent option for being carefree about



where to stay, and may be the best option as a type of vehicle for traveling. Motorhome autonomy lies in how this energy is generated and stored. The best way to provide excellent autonomy in a vehicle is to choose renewable energy, specifically photovoltaic solar energy. This type of energy has become easily accessible over time and many homes on wheels are adopting this type of energy. This work aims to make the feasibility of installing an off-grid system for a recreational vehicle, analyzing what will be the lowest cost and return on investment time for this type of project.

Keywords: Motorhome. Autonomy. Viability.

INTRODUÇÃO

Viajar é sair da rotina, mas, também se tornou uma rotina para quem precisa trabalhar fora. A busca por veículos confortáveis vem aumentando. Dependendo para onde a viagem é planejada, existem vários custos, desde um custo de deslocamento de veículo o qual é o combustível e também custo de hospedagem em hotéis, pousadas e diversos locais. Para redução dos custos de hospedagem o *motorhome* vem se tornando uma excelente opção para quem quer viajar, quando tem uma opção de estacionamento gratuito.

Para Fátima (2016) o *motorhome* é um tipo de veículo específico para o lazer, adaptando para uma casa alguns veículos como van, ônibus, kombi ou caminhão. Dispensando despesas como hospedagem na hora de planejar a viagem.

A adaptação de um veículo para uma “casa sobre rodas” possuem vários processos como a retirada de partes do próprio veículo até a colocação de paredes, criação de móveis e como adaptar sua estrutura elétrica do seu carro para o fornecimento de energia para os móveis que vão ser necessários e todos os acessórios necessários.

Uma casa comum tem seus eletrodomésticos diversos e móveis específicos que consomem certa quantidade de energia, como chuveiro e ar condicionado caso a pessoa querer instalar.

A energia solar fotovoltaica está sendo um investimento para muitos brasileiros que buscam uma forma de economizarem na conta de energia. O investimento no início é muito alto, mas, muitas empresas que fornecem esse tipo de geração de energia garantem a economia da conta de luz nas residências.

Por ser um país que tem essa vantagem dessa disponibilidade de irradiação solar, a demanda de geração de energia própria é alta, principalmente para residências.

Um sistema de energia solar fotovoltaico é uma excelente opção para ter energia em uma casa sobre rodas. Pois a energia gerada pelos painéis solares e em seguida armazenada em baterias. Assim, pode ter acesso a energia elétrica em lugares remoto.

É importante dimensionar o projeto pois é nele que vão ser escolhidos os componentes e equipamentos necessário para a geração autonomia de energia elétrica.

O presente trabalho vai apresentar através de um estudo de viabilidade de

instalação de um sistema de geração energia solar fotovoltaica em um ônibus que vai ser aplicado em um *motorhome* usando o modelo tipo *survey* com abordagem quantitativa. Pois serão usados valores de custo e qual será valor do retorno do investimento durante um determinado tempo.

Justificativa

Para viajar é necessário planejar e verificar se o veículo estará confortável para poder ficar dias fora de casa. Uma casa sobre rodas precisa dar todo o conforto que uma casa convencional oferece, assim como na utilização de energia elétrica para seus eletrodomésticos. A energia solar fotovoltaica oferece uma geração de energia elétrica sustentável para seus eletrodomésticos e também possibilitando ficar alguns dias fora de casa com o todo o conforto de uma casa convencional.

Fialho (2020) diz que a energia solar fotovoltaica possui um custo muito alto de início, mas que ao longo do tempo vai compensar os gastos se fosse optar por outra fonte de energia. Para veículos que vão ser transformados em casa sobre rodas é muito importante a economia e principalmente que tipo de fonte de energia usar para consumo, já que a demanda está em alta, então é necessário um projeto bem dimensionado.

A vantagem de ter um veículo recreativo com fontes de energia renováveis é que pode proporcionar autonomia ao viajar, sem precisar ir a grande cidade ou até mesmo procurar locais para se hospedar.

Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica para a geração de energia elétrica em um ônibus de pequeno porte que será transformado em *motorhome*.

Objetivo específicos

Os objetivos específicos do desenvolvimento desse trabalho são:

- Ser capaz de identificar os problemas durante o caso e estabelecer alternativas para a melhor solução do problema;
- Otimizar o uso da energia elétrica no ônibus;
- Servir como exemplo, adaptar o estudo a outros veículos e servir como consulta acadêmica;
- Analisar a viabilidade técnica e financeira do projeto usando conhecimentos teóricos aprendidos;
- Calcular o retorno de investimento do projeto ao longo de um período;
- Definir o menor custo para o projeto;

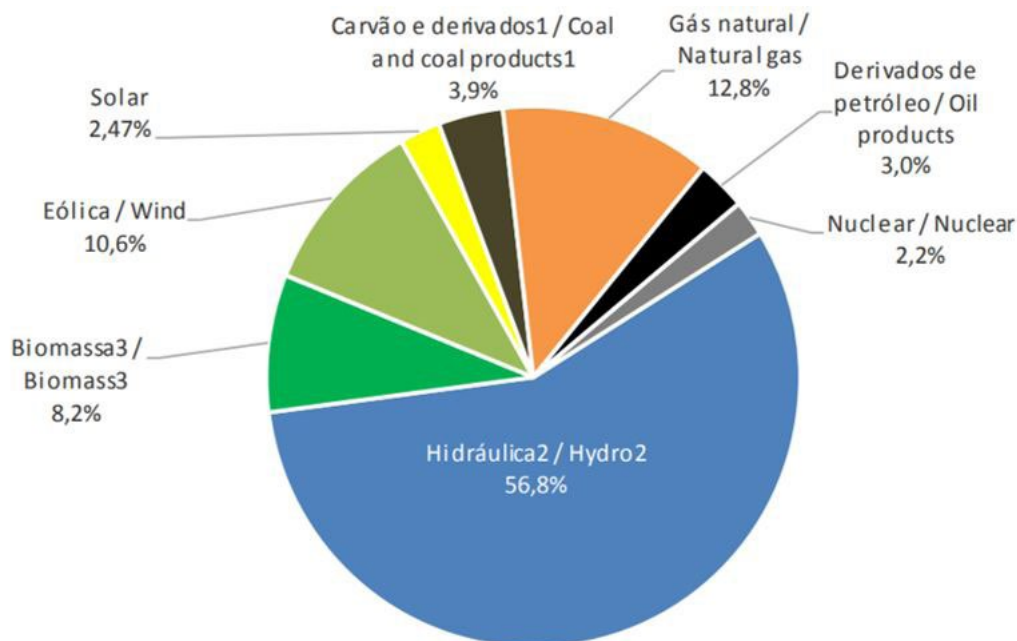
Referencial teórico

Matriz energética brasileira

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022) as fontes renováveis representam 78,1% de toda oferta interna de eletricidade no Brasil, o qual é uma referência da soma dos montantes de toda a produção de energia renovável. A energia solar representa 2,47% desse total em comparação a outras fontes renováveis. O Brasil sua fonte em destaque pela produção de energia vem das usinas hidroelétricas, sendo responsável por 56,8% da oferta interna de eletricidade em comparação as outras fontes.

Guitarrara (2023) diz que o Brasil é um dos países mais sustentáveis em relação na produção de energia elétrica, por ser composto por muitas fontes renováveis.

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.



Fonte: EPE

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022) até 2027 a energia solar pode superar a energia produzida pelo carvão, podendo se tornar a maior fonte global de energia, a estimativa é que chegue a capacidade 1,5 TW.

Sistemas fotovoltaicos

De acordo com Fialho (2020) são instalações realizadas com o objetivo de coletar e tornar disponível a energia proveniente da radiação solar e transformar em energia elétrica. Podendo ser "On-grid" (Conectado a rede) ou ser "Off-grid" (Isolados). Podem ser usados para uma variedade de aplicações, desde residências até mesmo em usinas de geração de energia.

On-grid - Sistemas conectado à rede

Para Santos e Sousa (2021) "Um sistema fotovoltaico conectado à rede ou sistema

fotovoltaico conectado à rede é um sistema de energia solar fotovoltaico que gera eletricidade e é conectado à rede elétrica”. Não precisam de armazenamento de energia pois toda a energia gerada é entregue diretamente a rede elétrica.

Off-grid - Sistemas isolados

Sistemas isolados são caracterizados pela geração de energia própria. Essa energia pode ser gerada através de bombas e também pelo uso de bateria o qual a energia gerada é armazenada.

Para veículos que vão ser transformados em *motor-home* o qual é tratado nesse trabalho, é necessário ter atenção ao dimensionar o sistema fotovoltaico. Verificando quanto de energia irá produzir para atender as necessidades do projeto.

Componentes do sistema fotovoltaico isolado

De acordo Fialho (2020) é um conjunto de elementos atuando em processo de armazenamento de energia. Pode ser usada nas mesmas condições que a energia elétrica convencional.

Para esse projeto serão necessários a instalação, montagem e interligação dos seguintes componentes:

- **Painéis solares:** responsáveis por transformar energia solar em energia elétrica;
- **Controladores de carga:** Evita a sobrecarga e descarga da bateria, conservando a vida útil da mesma;
- **Bateria:** Responsáveis por armazenar energia e sendo usada quando o ambiente não tem sol;
- **Inversores:** Responsáveis em transformar Corrente contínua das baterias em corrente alternada da tensão a ser dimensionada;
- **Cabos:** Responsáveis por fazer a interligação dos componentes citados e serem responsáveis pelo fluxo de energia entre eles;

Painéis solares

Os painéis solares são os principais componentes para a geração de energia, pois são através deles que a luz do sol é recebida e consequentemente sendo os responsáveis por gerarem energia.

De acordo com Fialho (2020) “São formados por um conjunto de células fotovoltaicas ligadas em série e/ou em paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes que são determinadas em projeto”.

Baterias

“As baterias são capazes de armazenar energia elétrica por meio de um processo eletroquímico de oxirredução ocorrido em seu interior, podendo ser recarregáveis (chamadas

de células secundárias) ou não (células primárias).” (PINHEIRO, 2018)

Alexandre (2017) diz que será necessário uma ou várias baterias para armazenar a energia gerada. Segundo Fialho (2020) a geração e o consumo de energia não se conflitam, fazendo com que seja necessário o armazenamento, mesmo que em períodos sem sol o sistema não perca a autonomia.

Controladores de carga

Controladores de Carga são dispositivos que se encarregam em levar a energia gerada para ser armazenada de maneira mais eficiente e controlada para as baterias. Pinheiro (2018) diz que eles gerenciam o fluxo energético dos geradores fotovoltaicos indo até as baterias, otimizando a energia que vai até as baterias.

Inversores

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 216) “Um Inversor é um dispositivo eletrônico que fornece a energia em corrente alternada (C.A) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (C.C)”. Podendo ser de baterias, geradores a combustível e outras fontes. Em sistemas *Off-Grid* os inversores são responsáveis por redirecionar a energia para as baterias.

Valor presente líquido

Segundo Souza e Tesca (2018) *apud* Gitman (2010) é a diferença dos valores futuros a serem descontados em uma taxa apropriada e o investimento Inicial do projeto.

Pinheiro (2018, p.41) diz que o VPL analisa o balanço entre os custos de instalação de um determinado projeto e também seus benefícios ao longo de sua vida útil. Souza e Tesca (2018) conclui que se um VPL for positivo o projeto é viável a taxa de desconto que for usada.

Payback Simples

Segundo Melo (2020, p.26), o *payback* mensura quanto tempo leva para recuperar o investimento realizado a instalação do sistema de Energia Solar Fotovoltaica.

Laercio (2018), *apud* Gitman (2007) diz que mede o tempo necessário para ter de volta o capital investido, considerando a mudança do valor do dinheiro ao longo do tempo.

Procedimentos

Para esse projeto foram dimensionados os componentes a serem implementados, com o objetivo de promover uma eficiência total. Foram realizadas análises de viabilidade técnica e financeira.

Trata-se de um projeto pessoal, com a intenção de recreação familiar, seguindo todas as normas técnicas como a NBR 10899 e ANEEL para melhor dimensionamento da energia solar fotovoltaica no veículo a ser realizado o projeto.

O Detran é quem fiscaliza se o veículo está apto ou não a ser uma motor-casa, passando por vistorias e também regularizando alguns documentos.

Características do veículo

O veículo é um tipo escolar o qual vão ser realizadas algumas mudanças em seu interior. Mudanças essas que são colocação de paredes, portas e também alteração em todo sistema elétrico do veículo, adaptando para uma casa.

As dimensões medidas externas são 8 metros de comprimento, 2,5 metros de largura e 2,2 metros de altura. Esse é o padrão de ônibus de pequeno porte. A imagem abaixo mostra o veículo aplicado nesse trabalho.

Figura 2 - Ônibus a ser transformado.



Fonte: Autor

Demanda de energia

Para fazer o dimensionamento da quantidade de energia a ser usada, é necessário verificar o qual o uso diário de energia de cada equipamento que vai ser instalado ou adquirido para o projeto. Vão ser analisados quais serão os aparelhos a serem instalados e também a medição de seus valores de potência e também qual será a demanda de energia. Esse sistema é pelas baterias do sistema e também do próprio veículo o qual vão fornecer energia para os equipamentos. A tabela 1 mostra quais foram os equipamentos que foram analisados e também seu consumo diário. Nesse projeto não será adicionado chuveiro elétrico.

Tabela 1 - Levantamento da demanda diária de consumo.

Equipamento	Qtd	Potência total (W)	Uso (h/dia)	Consumo (Wh/dia)
Geladeira 12 V	1	120	12	1440
TV 32'	1	50	3	150
Celulares	2	40	4	160
Bomba de água 12 V	1	96	1,5	144
Notebook	1	60	2	120
Total		366		2014

Fonte: Autor

De acordo com a tabela acima terá um consumo diário total de 2014 W, com uma potência de 60420 W por mês. De acordo com a proposta do projeto, não terá angulação para a instalação dos painéis solares, pois a instalação será realizada no teto do veículo.

Avaliação do cenário

Ao fazer uma viagem o veículo passa por dias fora dependendo do destino a ser planejado. Como não há conexão com a rede elétrica da concessionária, é necessário garantir a autonomia do sistema durante o trajeto.

Fialho (2020) diz que o Brasil é o país que muita irradiação solar em todo mundo. Assim, podendo favorecer a geração de energia solar a partir dos painéis solares.

Levantamento dos materiais do sistema fotovoltaico

Ao levantar a demanda de energia necessária para o consumo citado anteriormente, é necessário fazer o levantamento de todos os componentes necessários para o projeto.

Para auxiliar no levantamento dos materiais necessários, foram realizadas consultas com duas empresas diferentes para o levantamento de custo dos mesmos para a instalação do sistema fotovoltaico *off-grid*. A tabela 2 mostra o custo dos materiais levantados com a empresa Intelbras.

Tabela 2 - Custo dos materiais de acordo com o fornecedor Intelbrás.

Qtd	Modelo	Descrição	Preço Unit	Preço total
2	EMST 335P	HC MODULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO (OFF)	R\$ 1.341,00	R\$ 2.682,00
1	ECM 2024	Controlador de Carga MPPT	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
1	MC4	CONECTOR MC4-MACHO/FEMEA	R\$ 50,00	R\$ 50,00
1	CCB2.5	CABO ELETRICO PT/VM PINO 2,5MM2 3M 20A P/ CONTROLADOR (PAR)	R\$ 70,00	R\$ 70,00
1	IMV402	Inversor de Tensão Modificada 400W 24Vcc p/ 220Vac	R\$ 500,00	R\$ 500,00
1	CBI10	CABO ELETRICO PT/VM OLHAL M8 10MM2 3M 60A P/INVERSOR (PAR)	R\$ 45,00	R\$ 45,00
4	12MS162	BATERIA ESTACIONARIA CHUMBO SOLAR 12V 150AH	R\$ 1.500,00	R\$ 6.000,00
4	CBB35	CABO ELETRICO PRETO OLHAL M8 35MM2 30CM 125A P/BATERIA	R\$ 70,00	R\$ 280,00
Total				R\$ 10.627,00

Fonte: Intelbras

Em seguida foram levantados o custo com a empresa *Energysshop* sendo mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Custo dos materiais de acordo com o fornecedor ENERGYSHOP.

Qtd	Modelo	Descrição	Preço Unit	Preço total
2		PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO RESUN 340W	R\$ 699,00	R\$ 1.398,00
1		Controlador de Carga Solar MPPT130D 30A	R\$ 549,00	R\$ 549,00
4		Bateria Estacionaria Freedom 165Ah DF2500	R\$ 1.299,00	R\$ 5.196,00
1		Cabos e Conectores	R\$ 50,00	R\$ 50,00
1		Conector MC4 (Par) - Macho-Fêmea	R\$ 50,00	R\$ 50,00

2		Cabos solar (Ligação Painei Fotovoltaico)	R\$ 60,00	R\$ 120,00
1		Inversor Off-Grid Jay Energy 12Vcc / 220 Vca	R\$ 229,00	R\$ 229,00
Total				R\$ 7.592,00

Fonte: ENERGYSHOP

Para melhor comparação dos preços componentes como cabos e conectores de cada empresa tiveram seus custos somados para melhor entendimento mostrado na tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo de custos de materiais dos fornecedores.

Qtd	Descrição	Preço Unit. Intelbras	Preço total Intelbras	Preço Unit. Energysshop	Preço total Energysshop
2	PAINEL SOLAR FOTO-VOLTAICO	R\$ 1.341,00	R\$ 2.682,00	R\$ 699,00	R\$ 1.398,00
1	Controlador de Carga Solar	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$ 549,00	R\$ 549,00
4	Bateria Estacionaria	R\$ 1.500,00	R\$ 6.000,00	R\$ 1.299,00	R\$ 5.196,00
1	Cabos e Conectores	R\$ 445,00	R\$ 445,00	R\$ 220,00	R\$ 220,00
1	Inversor	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 229,00	R\$ 229,00
Total			R\$ 10.627,00		R\$ 7.592,00

Fonte: Autor

Foi verificado que o menor custo é da empresa *Energysshop* no valor de R\$7592,00.

Comparativo - gerador

Para fazer o *Payback* do projeto é necessário fazer a escolha de um comparativo de custo da geração de energia elétrica ao longo do tempo de uso. Para esse trabalho foi escolhido o Gerador portátil Tekna GT3500FB 3100W. Esse gerador é alimentado por gasolina e possui 12 horas de autonomia quando está em funcionamento.



Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/gerador-portatil-tekna-gt3500fb-3100w-monofasico-com-tecnologia-avr-115v230v/p/MLB15797959>

O preço médio da gasolina no Brasil é R\$5,74 o litro, mas, varia ao longo do tempo,

impactando no para o manter em funcionamento. O tanque possui 15 L de capacidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para manter o gerador em funcionamento é necessário ter disponível galões com combustível para abastecer o tanque do mesmo para gerar energia elétrica. O custo médio mensal que vai ser gasto com gasolina será de R\$2583,00, caso não haver alteração no preço do Litro, podendo aumentar ou diminuir. O custo de aquisição do gerador é de R\$1580,00. A tabela 5 mostra qual é o custo para encher o tanque do gerador citado como comparativo para esse trabalho.

Tabela 5 - Tabela de despesas e custos gerador.

Descrição	Unidade	Qtd	Custo Unit.	Preço Total
Gerador portátil Tekna GT3500FB 3100W monofásico com tecnologia AVR 115V/230V	PC	1	R\$ 1.580,00	R\$ 1.580,00
Capacidade Combustível Gerador	L	15	R\$ 5,74	R\$ 86,10

Fonte: Autor

Após o levantamento de da despesa foi realizado o cálculo do *payback* simples.

Payback (retorno sobre o investimento)

Para a realização do cálculo do *Payback* foi usado o valor do Investimento total dos materiais do sistema fotovoltaico off-grid e para o fluxo de caixa foi realizada a diferença com o gasto mensal de gasolina com o gerador mostrado na tabela 6.

Tabela 6 - Saldo sistema solar fotovoltaico usando a empresa Energyshop.

Mês	Saldo
0	-R\$ 7.592,00
1	-R\$ 5.009,00
2	-R\$ 2.426,00
3	R\$ 157,00
4	R\$ 2.740,00
5	R\$ 5.323,00
6	R\$ 7.906,00
7	R\$ 10.489,00
8	R\$ 13.072,00
9	R\$ 15.655,00
10	R\$ 18.238,00
11	R\$ 20.821,00
12	R\$ 23.404,00

Fonte: Autor

Foi verificado que o *payback* será de 2,94 meses e que após 12 meses o valor dessa economia será de R\$23.404,00. A TMA (Taxa Mínima de atratividade) de um sistema solar é de 13,25% ao ano, nesse trabalho o retorno do investimento foi em meses, assim, convertendo a TMA mês fica 1,0794% ao mês. A Taxa Interna de Retorno (TIR) vai ficar

29% ao mês, ficando muito mais alto do que a TMA ao mês. E também foi verificado que a economia usando um sistema solar *off-grid* eliminará gastos fixos com combustível.

Fazendo os mesmos cálculos usando os custos de materiais da empresa Intelbras foi verificado que o *payback* será de 4,11 meses. A Taxa Interna de retorno será de 15%.

Tabela 7 - Saldo sistema solar fotovoltaico usando a empresa Intelbras.

Mês		Saldo
0	-R\$	10.627,00
1	-R\$	8.044,00
2	-R\$	5.461,00
\$	-R\$	2.878,00
4	-R\$	295,00
5	R\$	2.288,00
6	R\$	4.871,00
7	R\$	7.454,00
8	R\$	10.037,00
9	R\$	12.620,00
10	R\$	15.203,00
11	R\$	17.786,00
12	R\$	20.369,00

Fonte: Autor

Foi verificado que durante 12 meses de uso a economia será no valor de R\$20.369,00, assim, também se tornando viável a instalação.

O menor custo de materiais para instalação de um sistema solar fotovoltaico *off-grid* será da empresa *Energishop* o qual ficou no valor de R\$7.592,00.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar é uma alternativa excelente pra quem procura gerar energia própria e também que vem crescendo no mercado através de suas tecnologias de armazenamento e geração. Esse trabalho é um trabalho para a criação de um veículo de recreação e também para ficar dias fora de casa e também não precisar ficar hospedados em hotéis e também não depender de energia de outra fonte. O uso da energia solar em *motorhome* proporciona a economia de custo para a geração de energia, sem ficar dependendo de gerador o qual faz barulho e também tem seu custo fixo com combustíveis fósseis, assim liberando carbono para a atmosfera.

De início o custo obter o sistema solar fotovoltaico *off-grid* se torna elevado, mas, verificando o quanto será gasto para manter o funcionamento durante 12 meses se torna viável a instalação.

É importante fazer o levantamento de qual será a demanda diária consumida para poder identificar qual eletrodoméstico consome energia elétrica durante seu uso. É importante verificar e confirmar com a empresa que vai ser consultada na escolha dos componentes corretos, garantindo que terá um custo adequado para a demanda diária

consumida.

REFERÊNCIAS

FIALHO, Giankarlo. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um Motorhome. 2020. Disponível em: < https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/15114/1/Artigo_Giankarlo_Ribeiro-%20Final.pdf />. Acesso em: 20 de out. de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

GALDINO, Marco Antônio; PINHO, José Tavares. Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2014. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 11 de mai. de 2023.

GUITARRARA, Paloma. “Matriz energética brasileira”; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/brasil/matriz-energetica-brasileira.htm>> Acesso em: 23 de fev. de 2023

ALEXANDRE, Francisco. Análise do efeito das variável radiação solar e temperatura ambiente no dimensionamento de um sistema fotovoltaico OFF-GRID. 2017. Disponível em: < <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/11237>> Acesso em: 22 de jul. de 2023

CANDIDO, Danilo, 2018. Energia solar fotovoltaica no brasil. 2018. Disponível em: < <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/11237>> Acesso em: 22 de jul. de 2023

PINHEIRO, Laís, 2018. Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico off-grid para escritório móvel. 2018. Disponível em: < https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54898/1/2018_tcc_Irplins.pdf> Acesso em: 10 de ago. de 2023

SOUZA, Sulma Vanessa; TOESCA, Régio Márcio, 2018. Viabilidade econômica da utilização de energia solar em sistemas de produção hidropônica. 2018. Disponível em: < <https://saber.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/19901/13800>> Acesso em: 05 de out. de 2023

FÁTIMA, Andrea, 2016. Design de interiores em Motorhomes. 2016. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17434>> Acesso em: 10 de out. de 2022

MELO, Lucas, 2020. Energia solar e seus benefícios: análise e medição de resultados. Disponível em: < <https://repositorio.unifaema.edu.br/handle/123456789/2773>> Acesso em: 09 de set. de 2023

SANTOS, Clarice Amaral; SOUZA, Tiago de Paula, 2021. Aplicações de sistemas fotovoltaicos on grid e off grid. Disponível em: < https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1991/TCC_Aplica%c3%a7%c3%b5es_de_sistemas_fotovoltaicos_on-grid_e_off-grid.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 10 de out. de 2023

LAERCIO, Ionathan, 2018. Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, instalados em posto de combustível. Disponível em: < http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14937/1/PB_COELT_2018_2_12.pdf> Acesso em: 09 de out. de 2023

Energia solar fotovoltaica nas indústrias e suas práticas sustentáveis

Photovoltaic solar energy in industries and their sustainable practices

Douglas Henrique da Silva

*Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA.
Araraquara- SP.*

Antônio Pinto do Nascimento Neto

*Orientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara
UNIARA. Araraquara-SP.*

RESUMO

Atualmente a busca pela transformação de matriz energética no Brasil tem se tratado constantemente como assunto de extrema importância, por vários fatores. Destacam-se como principais: O cenário energético, pois nas últimas décadas houve a diminuição das chuvas de forma significativa e isso acarreta na redução de energia gerada pelas hidrelétricas tornando-se assim insuficientes para atender a demanda. E ainda, devido a carência de explorar recursos renováveis que trazem maior rendimento e que enfatize a sustentabilidade em todo processo de geração e uso. Mediante esse cenário, a energia fotovoltaica apresenta-se como um método tecnológico em constante avanço no Brasil e mundialmente. O estudo abordará o princípio de sua utilização, explanando sua metodologia e seus impactos nas indústrias, abordando a sustentabilidade e comprovando através de dados quantitativos os ganhos.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica. eficiência. indústrias. sustentabilidade. consumo e econômico.

ABSTRACT

Currently the demand for the transformation of the energy matrix in Brazil has been constantly treated as a matter of extreme importance, for two main factors. The first is the energy scenario, because in recent decades there has been a significant reduction in rainfall and this causes the reduction of energy generated by hydroelectric plants to be insufficient to meet the demand. And yet, due to the need to explore renewable resources that



bring greater yield and that emphasize sustainability in the entire process of generation and use. Given this scenario, photovoltaic energy presents itself as a technological method in constant advance in Brazil and worldwide. The study will approach the principle of its use, explaining its methodology and its impacts in the industries, approaching the sustainability and proving through quantitative data the gains

Keywords: photovoltaic solar energy, efficiency, industries, sustainability, consumption and economic.

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos o uso de energia solar fotovoltaica tem aumentado consideravelmente no Brasil. Esse aumento está relacionado diretamente com o sistema de produção em massa, que nos últimos anos mostrou-se uma preocupação significativa com os problemas ambientais na geração de energia, devido a humanidade encontrar grandes desafios para atender a demanda produtiva em larga escala, proporcionando crescimento econômico sustentável. (IPEA,2010).

As indústrias são as que mais carecem de energia para se manterem produtivas e operando de maneira adequada. Nos dias atuais o Brasil segue no nono lugar no ranking dos países que mais produziram energia solar fotovoltaica em 2020 com quase 3.153 megawatts de potência adicionados ao sistema, essa é a melhor posição do país desde 2017. (TOP SUN, 2021).

Atualmente as pesquisas e investimentos em tecnologias voltadas para geração de energia solar, amentaram de forma significativa devido à forma eficiente de se gerar energia, utilizando um recurso natural e simples. Com isso tornou-se popular a procura da energia solar fotovoltaica, devido seu ao seu potencial sustentável.

Compreende-se a importância deste estudo ressaltar através de pesquisas que a eficiência de geração de energia solar é um método eficaz, econômico e não prejudica meio ambiente.

Vale ressaltar que a energia solar fotovoltaica utilizada pelas indústrias é algo que exige planejamento e responsabilidade ambiental, pois requerem conhecimentos técnicos e científicos quanto aos recursos provindos da natureza para geração da mesma. (RODRIGUES, 2006). O presente artigo está sendo desenvolvido através de pesquisas bibliográficas, artigos científicos, livros e sites confiáveis para a elaboração das informações.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

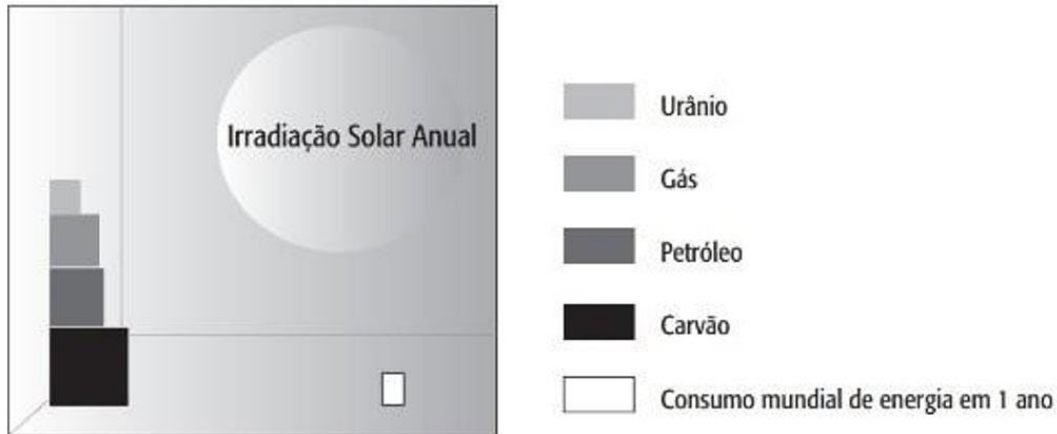
O que é a energia solar?

A energia solar gerada por meio do recurso do sol, chegando na terra como ondas eletromagnéticas. O sol irradia de forma constante, a intensidade da luz chega cerca de 1 Kw/M², uma parte dessa radiação é refletida pela atmosfera, já a outra absorvida por ela

em forma de calor.

O imenso potencial da energia solar é ilustrado na Figura 2.1 que permite a comparação da energia solar que atinge a superfície terrestre, fontes de energia nuclear e de combustíveis fósseis com o consumo mundial de energia, no período de um ano

Figura 2.1 – Energia solar, fontes nuclear e fósseis comparadas ao consumo de energia mundial em 1 ano.



Fonte: (THE GERMAN ENERGY SOCIETY, 2008)

A figura 2.2 pode-se tomar como base que a energia solar é uma fonte rica para se explorar, devido sua fácil exploração e simples de se captar. A média mundial de energia irradiada em 24 horas é cerca de 165 Kw/m² ou mais do que 5 mil vezes a necessidade energética da humanidade. Portanto é um recurso que deve-se explorar por diversas vantagens sentáveis e econômico.

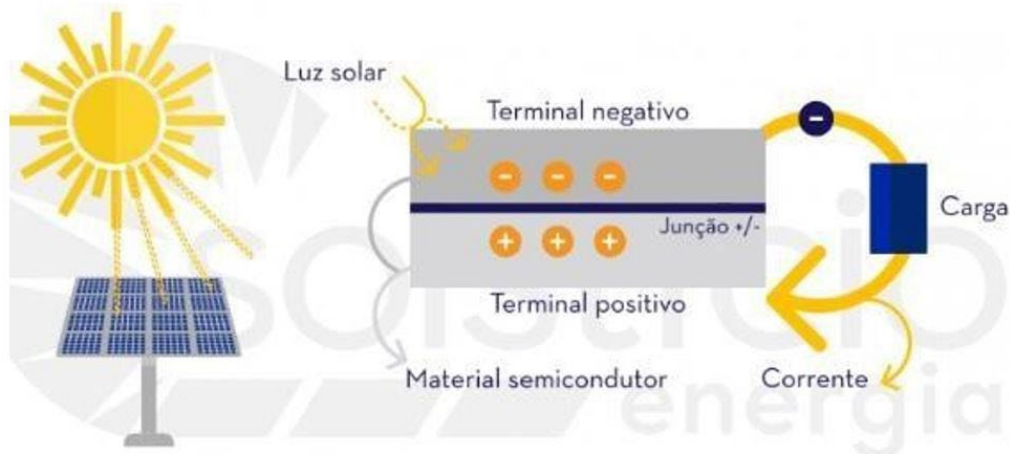
Figura 2.2 – Potencial de produção de energia de fontes renováveis.



Fonte: (University of Stanford).

Princípio de funcionamento

A energia solar fotovoltaica é gerada através da conversão da luz em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Na natureza existem materiais semicondutores, que se classificam por uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma condução totalmente vazia à temperaturas muito baixas. A figura 2 mostra a formação de uma célula fotovoltaica.

Figura 2.2 – Funcionamento da célula fotovoltaica.

Fonte: (SOLSTÍCIO ENERGIA,2023).

Sobre o funcionamento da célula fotovoltaica conforme a figura 2, podemos afirmar que:

A separação entre as duas bandas de energia permitida nos semicondutores (gap de energia) é da ordem de 1eV, o que os diferencia dos isolantes onde o gap é de vários eVs. Isto faz com que os semicondutores apresentem várias características interessantes. Uma delas é o aumento de sua condutividade com a temperatura, devido à excitação térmica de portadores da banda de valência para a banda de condução. Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível, com energia superior ao gap do material, excitarem elétrons à banda de condução. Este efeito, que pode ser observado em semicondutores puros, também chamados de intrínsecos, não garante por si só o funcionamento de células fotovoltaicas. Para obtê-las é necessário uma estrutura apropriada para que os elétrons excitados possam ser coletados, gerando uma corrente útil.(FADIGAS, 2020, p. 8)

Equipamentos que compõem um sistema de energia solar fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico utiliza um kit de energia fotovoltaica composto por:

- Painéis solares;
- Inversor solar;
- String Box;
- Sistema de fixação das placas solares (conhecidos popularmente como placas solares) e
- Conectores e cabeamentos.

Figura 2.3 – Painéis solares.



Fonte: (PORTAL ENERGIA, 2023).

Figura 2.4 – Inversores solar, modelo SYMO, fabricante Fronius.



Fonte: (EMERSON MOLINA, 2019).

Figura 2.5 – String Box, modelo 3-4E/2S, Fabricante Clamper.



Fonte: (GMAD Centro do Alumínio, 2023).

Figura 2.6 – Sistema de fixação das placas de painel solar.



Fonte: (ATECMETAIS, 2023).

Figura 2.7 – Conectores e cabeamentos.



Fonte: (BALFARSOLAR, 2023).

Benefícios da energia solar

Há certos benefícios relacionados a utilização da energia solar, empresas podem gerar sua própria energia, dessa forma estarão reduzindo custos referentes a parte energética da empresa e em paralelo contribuir com o meio ambiente utilizando uma fonte de energia limpa.

- Algumas das principais são:
- É uma fonte de energia renovável e alternativa;
- É uma energia limpa (sem emissões);
- Amplamente disponível em todo o mundo, especialmente em países tropicais, como o Brasil;
- Pode ser utilizada em regiões isoladas que não têm acesso à rede;
- Fonte gratuita, energia mais barata de produzir;

- Tecnologias de painéis solares com longa vida útil, baixa manutenção e rápida queda de preços.

Energia fotovoltaica no cenário das indústrias brasileiras

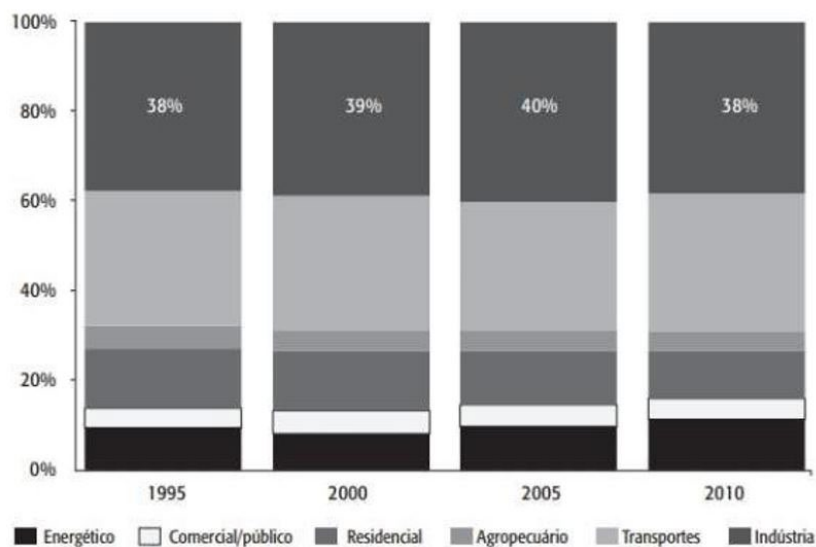
O potencial energético solar nas indústrias brasileiras esta se tornando cada dia mais comum e vem ganhando mais força na matriz elétrica, devido à vários fatores, a redução dos custos na implantação do projeto, a sua eficiência, sustentabilidade e o modelo de geração de energia, gerada através do uso do sol, que é fonte inesgotável partindo da visão humana, que traz vantagens significativas comparado com outros tipos de energia.

Com a abertura do mercado brasileiro no final dos anos 1980, as empresas brasileiras tiveram que enfrentar a concorrência dos artigos importados e, portanto, melhorar sua produtividade. Isso implicava adotar normas de qualidade e de atuação ambiental. Empresas exportadoras também foram pressionadas por seus compradores estrangeiros a implementar sistemas de produção mais limpos, já que os consumidores dos países industrializados preferem produtos ambientalmente corretos (AHK, 2011, p. 202).

O Brasil está situado quase que totalmente na região de incidência mais vertical dos raios solares, limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio. Esta condição propicia elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno. Isto confere ao país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar. (BRASIL, 2018, p. 133).

O setor industrial que mais demanda energia é formado por milhares de indústrias que, por peculiaridades nos materiais que processam e por características em seu modo de produção, utilizam grandes volumes de energia; seja na forma elétrica, térmica ou mecânica. (REIS, 2016 p. 677). Na figura 2.8 mostra esse quantitativo dos setoriais.

Figura 2.8 – Consumo de energia dos principais setores da economia brasileira.



Fonte: (EPE - Empresa de pesquisa energética)

Segundo os dados do IBGE de 2020 compreendia cerca de 300 mil empresas no território brasileiro. Portanto encontra-se muitas oportunidades para reduzir energia e aumentar a eficiência energética e esses grandes consumidores industriais incluem

empresas da cadeia de fundição de metais ferrosos e não ferrosos, indústria química e petroquímica, indústria de papel e celulose e vidro e cerâmica.

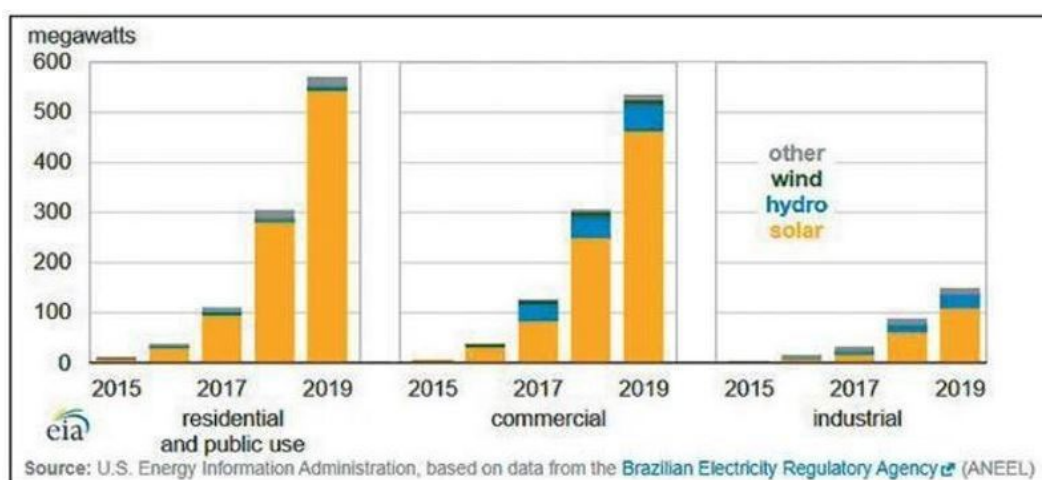
Estudos apontam que há um potencial de redução no consumo de energia no setor industrial de cerca de 30%. No entanto, ainda são poucas as iniciativas no sentido de reduzir essa demanda de energia e, conseqüentemente, diminuir as emissões atmosféricas resultantes da queima de diversos gases, que poderiam contribuir de forma positiva com o meio ambiente na geração de energia sustentável. Contudo as empresas precisam avaliar estratégias para que seus lucros sejam garantidos, e o valor da energia elétrica é um dos itens que mais agrega custo no valor do produto final, visto que, em 2002 a 2010 a variação do valor KWh sofreu diversas variações, fechando no percentual mais alto da época, cerca de 186% mais cara. Com a baixa dos níveis das hidrelétricas e a tarifa de bandeiras vermelhas são sinais predominantes que as empresas devem-se preocupar em implantar um projeto para geração de energia elétrica através do método solar fotovoltaica.

O setor empresarial é um dos que mais possuem contas de alto valor e esse gasto influencia diretamente na redução da proporção de investimento do negocio, e para se manter no mercado é necessário investir em tecnologia, podendo optar por um método simples e eficiente, instalando sistema de geração de energia faz com que a empresa não dependa da concessionária.

Existem dois tipos de sistemas, no sistema *on grid*, as empresas ganham ao compensar seus créditos de energia. Já no sistema *off grid*, as empresas reduzem os custos ao utilizar a energia solar e armazená-la em baterias para uso posterior. Dependendo da escolha da empresa a economia pode chegar a 100% do gasto, sendo necessário, em alguns casos, apenas pagar a taxa mínima. O retorno de investimento de um sistema implantado é um dos fatores que mais chama atenção dos empresários.

A Figura 2.9 mostra o crescimento das instalações de geração distribuída desde 2015 e evidencia, especialmente, o incremento de instalações fotovoltaicas principalmente no setor industrial, ultrapassando os 100 MW de capacidade instalada.

Figura 2.9 - Capacidade instalada em geração distribuída no Brasil de Janeiro 2015 até Novembro 2019.



Fonte: (EIA, 2019).

DESENVOLVIMENTO

As empresas hoje em dia devem se preocupar mais com a sustentabilidade, isso é uma questão de extrema relevância, não só para empresa mas também para as próximas gerações em relação ao uso de recursos provenientes da natureza. Ações sustentáveis nas empresas atraem os clientes mais criteriosos do mercado, com valores engajados à preservação da natureza que contribui de forma benéfica para produção de produtos através de métodos tecnológicos sustentáveis. Toda vez que uma marca adota medidas comprometidas contendo o real ganho aos aspectos ecológicos, remete a imagem da empresa com bons olhos pelos consumidores e principalmente aos investidores. Portanto a implantação de um projeto de energia solar fotovoltaica nas indústrias só traz ganhos significativos com mais competitividade, conquistando e captando novos clientes e também reduz os impactos ambientais. (NERIS, 2021).

Toda instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos são simples, podendo ser instalados em poucos dias por mão de obra especializada no assunto, mas seu funcionamento correto requer posicionamento na parte externa da edificação, preferencialmente no telhado para o sistema não ocupar espaços úteis do imóvel. Há casos que a instalação é feita no estacionamento da empresa, assim podendo ser utilizada como cobertura para os automóveis. Outro diferencial é a não interferência nos processos produtivos da indústria, considerando que o sistema pode ser instalado em qualquer dia e horário da semana.

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento, Comércio e Serviços o programa para a indústria de painéis solares, tem um potencial grande para impactar a “Economia Verde”, com a inclusão das placas fotovoltaicas que são um incentivo do governo para estimular a produção de energia renovável, que contribui para cumprir as metas dos acordos climáticos internacionais.

Existe hoje o chamado mercado livre de energia, um ambiente aonde é possível negociar diretamente com as empresas geradoras e/ou comercializadoras e, nessa relação, se estabelece preços, prazos, volumes, entre outros detalhes. Está é uma condição completamente diferente e inovadora em se adquirir energia das concessionárias, o chamado mercado cativo, que é o formato obrigatório de distribuição para residências e pequenos comércios.

Nessa opção tradicional, de mercado cativo, não existem aberturas para nenhum tipo de negociação ou alteração. É paga uma fatura mensal e as tarifas são controladas pelo governo. Um exemplo de prática do governo é o Sistema de Bandeiras Tarifárias, que indica se haverá algum acréscimo de valor na fatura de acordo com as cores verde, amarela e vermelha. As cores amarela e vermelha, existe acréscimo no valor devido a necessidade de utilizar energia vinda das usinas térmicas, que são mais caras, para amenizar impactos dos períodos mais secos e a perda de capacidade de geração das hidrelétricas. Se esse período de energia mais cara na fatura coincidir com a fase que o seu negócio também demandar mais energia, você terá um gasto ainda maior.

Já no mercado livre de energia, a empresa não passa por esses altos e baixos de tarifas e pode estimar os gastos por todo um tempo determinado de contrato negociado. No Brasil, o mercado livre de energia, também chamado de Ambiente de Contratação Livre

(ACL) é utilizado por empresas com demanda de pelo menos 500 kW, que fazem parte de uma categoria de “consumidores especiais”, que são as empresas que consomem entre 500 kW e 1500 MW. Nesse nicho, as empresas podem adquirir energia de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) ou de fontes como eólica, biomassa ou solar.

Já as empresas de demanda mínima igual à 1.500 MW se encontram no grupo de “consumidores livres”, que podem escolher de forma mais aberta à fonte geradora de energia elétrica desejável. Um dos gastos mais alto das empresas é sem dúvidas com energia elétrica. E, ao migrar para o mercado livre de energia, adquirindo esse insumo tão fundamental de forma personalizada, os custos com a energia elétrica podem ser reduzidos até 30%. O que é uma grande oportunidade de contribuir para o negócio.

RESULTADOS

O resultado obtido com o sistema fotovoltaico em comparado com sistema convencional está na redução da conta de luz em até 95% e a geração de energia de forma limpa sem agredir o meio ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou uma análise da energia fotovoltaica e a capacidade que as empresas tem em aperfeiçoar e utilizar o recurso solar para desenvolver economicamente sem impactar o meio ambiente.

O Brasil tem uma das energias elétricas mais caras do mundo, com isso a indústria nacional perde competitividade no mercado. E para as empresas existe uma tendência de produzir cada vez mais de forma sustentável e atingir eficiência da energia elétrica, enfatizando a preocupação nos aspectos ambientais e na redução de custos. O Ministério da Integração Nacional anunciou, mais de R\$ 3 bilhões para projetos de geração de energias que apresenta um grande potencial e de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), até 2024, cerca de 1,2 milhão de geradores de energia solar deverão ser instalados nas empresas em todo o país, representando 15% da matriz energética brasileira e até o ano 2030, segundo o Portal Lambda Consultoria.

Através das pesquisas conclui-se que a geração de energia através do sistema fotovoltaico nas indústrias evidenciou a viabilidade técnica vantajosa, pois beneficia a empresa com a redução de custos em seus gastos com energia elétrica, beneficia a sociedade com a redução na emissão de gases tóxicos emitidos na atmosfera e contribuindo com a economia do país.

REFERÊNCIAS

VIAN, ÂNGELO. Energia Solar Fundamentos Tecnologia e Aplicações. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2021.

JR, Arlindo, P. E Lineu Belico dos REIS. Energia e sustentabilidade. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Manole, 2016.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Sustentabilidade

Ambiental no Brasil: Biodiversidade, economia e bem-estar humano. Livro 07, (pag.15) 2010. Acesso em 28 de Março de 2023.

EPE. BALANÇO ENÉRGICO NACIONAL. Empresa de pesquisa energética. -. 2020. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em 31 de Março de 2023.

RODRIGUES, Raniere dos Santos. O uso de energia oriunda de fontes renováveis nas indústrias brasileiras: uma questão de sustentabilidade. São Paulo: 2006. Acesso em 29 de Março de 2023.

EPE. CADERNO SOBRE AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS BRASILEIRAS.-Empresa de pesquisa energética. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/caderno-sobreacoesdeeficienciaenergeticaemindustriasbrasileiras>>. Acesso em 04 de Abril de 2023.

FADIGAS, Eliane Aparecida Amaral Faria. Energia solar fotovoltaica, fundamentos, conversão, e viabilidade técnico-econômico. Produção de energia. Disponível em<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf>. Acesso em 02 de junho de 2023.

TOPSUN. Brasil ocupa 9ª posição no ranking de países que mais instalaram energia solar em 2020. Disponível em:<<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/07/26/brasil-ocupa-9a-posicao-no-ranking-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020.ghtml>>. Acesso em 04 de junho de 2023.

DIENSTMANN, Gustavo. Energia Solar, 2009. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24308/000736300.pdf>>. Acesso em 04 de junho de 2023.

SOLSTÍCIO Energias. Como funciona uma célula fotovoltaica. Disponível em: < <https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/l>>. Acesso em 04 de junho de 2023.

CAMPOS, Ana Cristina. Indústria brasileira compreendia 303 mil empresas. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-07/industrias-empregavam-77-milhoes-de-pessoas-em-2020-aponta-ibge#:~:text=Em%202020%2C%20a%20ind%C3%BAria%20brasileira,uma%20ou%20mais%20pessoas%20ocupadas>>. Acesso em 04 de junho de 2023.

NERIS, Alessandra. Conheça os benefícios da energia solar para indústrias. Disponível em :<<https://www.aldo.com.br/blog/conheça-os-benefícios-da-energia-solar-para-industrias/>>. Acesso em 05 de junho de 2023.

PADIS. Decreto do governo garante isenção fiscal para semicondutores e inclui energia solar em benefício. Disponível em:< <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/marco/decreto-do-governo-garante-isencao-fiscal-para-semicondutores-e-inclui-energia>>. Acesso em 05 de junho de 2023.

WA SOLAR. Energia solar nos estados unidos emprega mais que a indústria de combustíveis fósseis. Disponível em :< <https://www.wasolar.com.br/energia-solar-nos-estados-unidos>>. Acesso em 05 de junho de 2023

MOLINA, EMERSON. Energia solar, sistema fotovoltaico. Disponível em :< <https://engegrid.com.br/saiba-como-funciona-o-inversor-solar/>. Acesso em 05 de junho de 2023.

GMAD. Centro do Alumínio. String box-pv-sb-4e-2s-1000dc painel fotovoltaico. Disponível em :< <https://www.centrodoaluminio.com.br/string-box-pv-sb-4e-2s-1000dc-painel-fotovoltaico/309082/produto/>. Acesso em 06 de junho de 2023.

ATECMETAIS. Estrutura em alumínio para fixação de painel solar. Disponível em :< <https://www.atecmetais.com/estrutura-aluminio-fixacao-painel-solar>. Acesso em 06 de junho de 2023.

BALFARSOLAR. Cabos e conectores. Disponível em :< <https://balfarsolar.com.br/services/cabos-e-conectores-balfar/>. Acesso em 06 de junho de 2023.

AES BRASIL. O que é o mercado livre de energia?. Disponível em :< <https://livremercadodeenergia.com.br/o-que-e-o-mercado-livre-de-energia/>. Acesso em 06 de junho de 2023.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Nota técnica PR 04/18. Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050. Rio de Janeiro: MME, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico416/NT04%20PR_RecursoEnergeticos%202050.pdf. Acesso em: 20 setembro de 2023.

ESTUDO da aplicação de energia fotovoltaica. Pesquisa e Ação V4. Disponível em : <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/398/492> . Acesso em 23 de setembro de 2023.

Análise do concreto com dosagens através de métodos de empacotamento de partículas com substituição parcial do cimento por pó de vidro e pó cerâmico

Luis Miguel Zanette de Oliveira

Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

Dayana Ruth Bola Oliveira

2Engenheira Civil, Doutora, Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

Melissa Pastorini Proença

3Engenheira Civil, Mestranda no PPGECI-UNILA, Universidade de Integração Latino-Americano – UNILA, Foz do Iguaçu – PR, Brasil

RESUMO

Devido ao crescente desenvolvimento dos países a demanda por cimento, principal material para construção, também aumentou, e este material é responsável por 7% das emissões globais de CO₂. Assim buscam-se estratégias para reduzir estas emissões, envolvendo o uso de materiais de outras cadeias produtiva para substituir parcialmente o cimento e otimizar o traço para um menor consumo de cimento. Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar o uso de pó cerâmico e pó de vidro como substitutos parciais do cimento Portland, em conjunto com o empacotamento de partículas. Foram produzidos concretos com dois teores de substituição para cada material, um teor maior, 34% e 40%, e um teor menor, 25% e 18% de substituição por pó de vidro e pó cerâmico, respectivamente, e um concreto de referência. Estes foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, para análise do desempenho mecânico na idade de 28 dias, e o resultado deste ensaio foi utilizado como parâmetro para verificar os indicadores ambientais, índice de ligante (IL), destes concretos. Os concretos com pó cerâmico apresentaram resultados de resistência a compressão superior ao de referência aos 28 dias, 80% e 48%, para os teores de 25% e 34% de substituição respectivamente, além de um menor índice de ligantes, sendo o 16,42 kg/m³/MPa o de referência, e o maior dos cerâmicos foi de 7,17 kg/m³/MPa. Já o pó de vidro apenas o teor de 18% de substituição apresentou melhores resultados, 44% superior, enquanto o teor de 40% de substituição teve resistência 17% inferior, contudo ainda possui um índice de ligantes inferior ao de referência, sendo 12,49 kg/m³/MPa. Os dados apresentados demonstram o potencial do pó cerâmico e do pó de vidro como substitutos parciais do cimento, com uma dosagem otimizada, para a redução das emissões de CO₂ provindas da produção



do cimento.

Palavras-chave: materiais cimentícios suplementares. método de Alfred. indicadores ambientais

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e desenvolvimento econômico refletem na demanda de infraestrutura nas cidades, o que leva ao aumento na demanda de cimento Portland (Likes *et al.*, 2022; Scrivener; John; Gartner, 2018), um dos principais materiais de construção com um processo produtivo responsável por 7% das emissões de gás carbônico global (SNIC, 2019; IEA WBCSD, 2018), que conseqüentemente, em conjunto para fabricação de concretos, também leva um aumento da extração de recursos naturais e consumo de energia (Mansoor *et al.*, 2022).

Diante deste cenário, o setor do cimento busca estratégias para reduzir o impacto ambiental envolvem a otimização do uso do concreto na construção, evitando desperdícios, aperfeiçoar as instalações produtoras de cimento, tornando-as mais eficientes, captura de carbono (IEA WBCSD, 2018), cimentos com menor teor de clínquer, baseando-se na proposta de adicionar resíduos de outras cadeias de produção e uma melhor otimização na dosagem do concreto reduzindo o consumo de cimento (Campos *et al.*, 2022) a partir de técnicas de empacotamento de partículas permitem a otimização da dosagem de concretos através da distribuição granular dos materiais constituintes (Oliveira *et al.*, 2018), utilizando apenas os materiais necessários para o uso projetado do concreto, evitando gastos excessivos (PCA, 2021), para projetos estruturais, pode-se confeccionar matrizes mais densas, com maior desempenho mecânico e durabilidade, com menor consumo de cimento (Lopes, 2019).

O uso de materiais cimentícios suplementares (MCS) como substituto ao cimento vem crescendo, estes materiais são compostos por partículas finas com características semelhantes ou complementares ao do cimento Portland, podendo ou não apresentar propriedades pozolânicas, e muitas vezes são resíduos obtidos de outros processos produtivos (Scrivener; John; Gartner, 2018). Além de dar destinação aos resíduos, a utilização deste na substituição parcial do cimento também promove uma redução da porosidade do concreto, visto a capacidade de preencher os vazios (Adesina, 2020).

A NBR 12653 (ABNT, 2014) descreve material pozolânico como aquele que reage com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ proveniente da hidratação do cimento formando (C-S-H) que contribui para melhorias físicas e mecânicas do composto cimentício.

O pó de vidro tem potencial como material pozolânico, e é um material de fácil acesso visto que, no Brasil, cerca de 980 mil toneladas de vidro são produzidas por ano e 53% não é reciclada (Soares *et al.*, 2019). Resíduos de construção e demolição, principalmente resíduo cerâmico, devido à presença de sílica e alumina na composição, também vem sendo estudados na substituição ao cimento Portland, pensando em uma finalidade para que estes materiais retornem a cadeia produtiva (Tanash *et al.*, 2023).

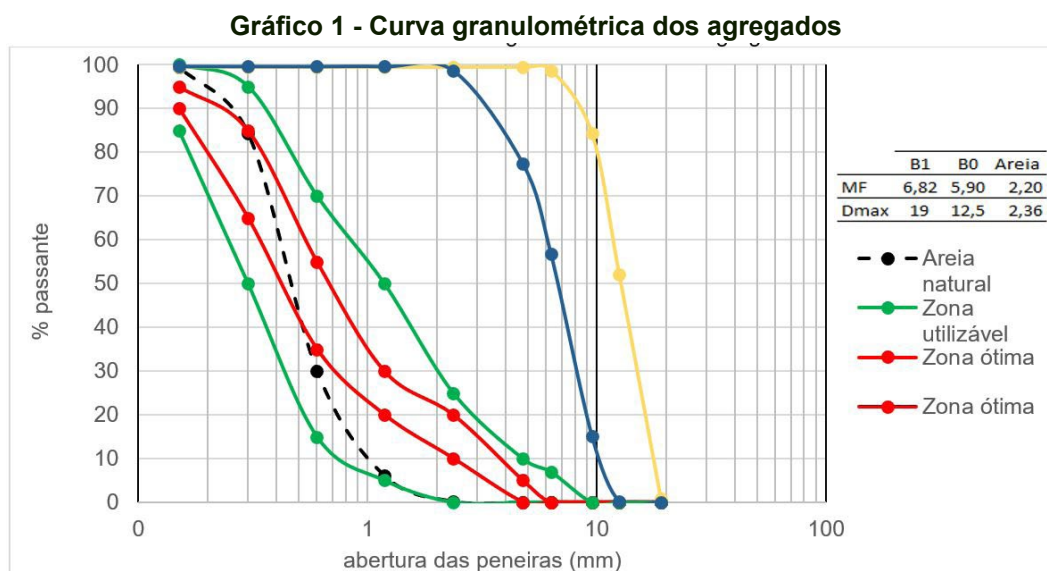
Conforme o cenário apresentado, este estudo busca o desenvolvimento de concretos otimizados através da técnica de empacotamento de partículas com substituição parcial do cimento por pó de vidro e pó de tijolo investigando o desempenho dos concretos produzidos e trazendo uma contribuição quanto a eficiência das dosagens relacionadas ao consumo de cimento e indicadores ambientais.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental consistiu na produção de concretos dosados a partir da otimização dos materiais granulares pelo método de empacotamento de partículas de Alfred, sendo realizada a substituição parcial de cimento Portland por pó de vidro e pó cerâmico em dois teores, avaliando-se o desempenho mecânico aos 28 dias e o indicador ambiental de índice de ligante.

Materiais

Para a composição dos concretos utilizou-se como ligante principal o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) com massa específica de $3,12 \text{ g/cm}^3$, devido ao menor teor de adição na composição. Para maior trabalhabilidade das misturas, empregou-se aditivo superplastificante a base de policarboxilato de terceira geração com massa específica da $1,1 \text{ g/cm}^3$ conforme a NBR 11768 (ABNT, 2019). Os agregados dos traços, tem origem natural, sendo areia de rio e britas basálticas, com distribuições granulométricas conforme Gráfico 1.



Fonte: O autor (2023)

As características de massa específica e massa unitária dos agregados, dimensão máxima, absorção de água, índice de vazios e material pulverulento são apresentados na Tabela 1, sendo determinadas conforme os parâmetros normalizados da ABNT, indicados.

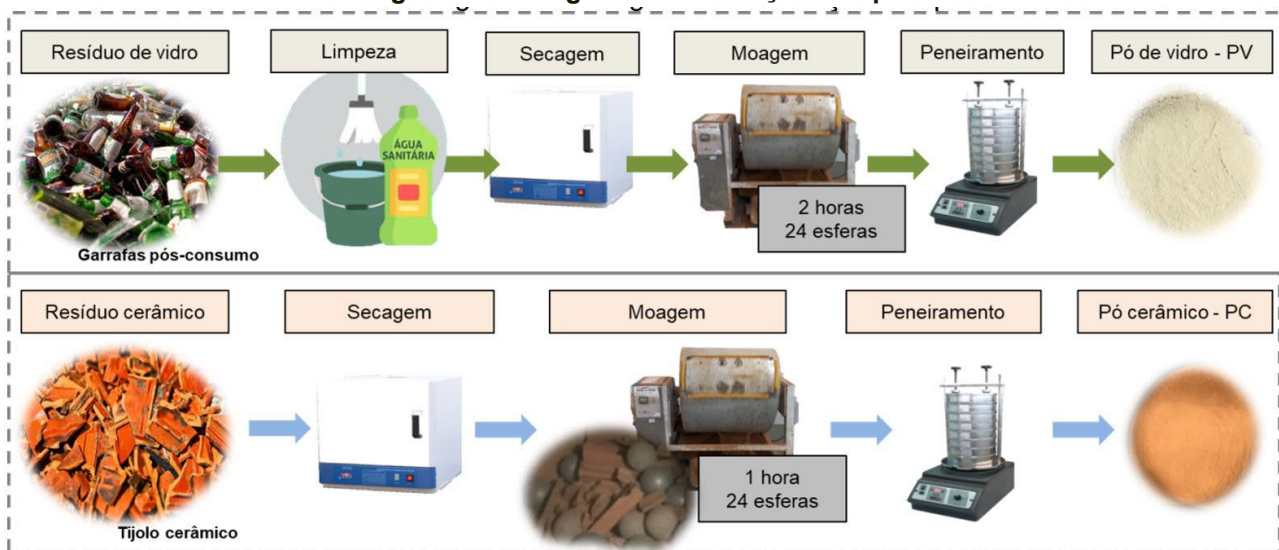
Tabela 1 - Caracterização do agregado graúdo

Agregado	D _{máx}	Densidade do agregado na condição seca	Absorção de água	Massa unitária compactada	Índice de vazios	Material pulverulento
	NBR 17054:2022 (mm)	NBR 16917:2021 e NBR16916:2021 (g/cm ³)	NBR 16917:2021 e NBR16916:2021 (%)	NBR 16972:2021 (g/cm ³)	NBR 16972:2021 (%)	16973:2021 (%)
B0	12,5	2,87	1,72	1,6	44	2,14
B1	19	2,87	1,75	1,63	43	1,37
Areia	2,36	2,66	11,71	1,56	37	0,32

Fonte: O autor (2023)

Os pós utilizados como materiais cimentícios suplementares, tem origens residuais, sendo o pó de vidro obtido através de garrafas de bebidas do tipo soda-cal submetidas a limpeza com hipoclorito de sódio para retirada dos rótulos. Os tijolos cerâmicos que originaram o pó cerâmico foram fornecidos por fábrica de tijolos da cidade de Foz do Iguaçu. Ambas frações grosseiras de materiais passaram por secagem em estufa por 24 horas a 105°C, sendo submetidos a cominuição em máquina de abrasão de Los Angeles, com 24 esferas de aço, pelos períodos de 1 e 2 horas para o pó cerâmico e de vidro, respectivamente, processando-se uma massa de 15 kg por batelada. Após moagem os materiais foram peneirados na peneira de malha mesh #100 (Ø<0,15mm), sendo reservadas as frações de pó, com rendimento de 30% e 35% para a fração de vidro e cerâmica.

Figura 1 - Fluxograma de obtenção dos pós.



Fonte: O autor (2023)

As características das frações de pó utilizadas neste estudo são demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização dos pós.

Finos	Densidade do pó (g/cm ³)	Absorção (%)	Atividade pozolânica com cal (MPa)	Atividade pozolânica com cimento (%)
	NBR 16916:2021		NBR 5751:2015	NBR 5752:2014
Pó de vidro	2,55	18,51	4,62	73,00
Pó de tijolo	2,66	25,37	6,62	88,63
Cimento	2,95	X	X	X

Fonte: O autor (2023)

Métodos

Produção dos concretos

A dosagem dos concretos foi realizada a partir de traços otimizados (Tabela 3) pelo método de empacotamento de partículas, utilizando-se o método de empacotamento de Alfred (Funk e Dinger, 1994) para reduzir os espaços vazios do concreto, criando um composto mais compacto que proporcione uma redução no consumo de cimento.

Foi utilizada uma programação baseada no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) associado ao método de Monte Carlo, baseado no estudo de Christófolli (2020), buscando-se o menor desvio entre a curva teórica do modelo de Alfred e a curva da mistura (com base na composição granulométrica dos materiais), quando o desvio entre as curvas é mínimo representado pela soma dos quadrados residuais, o empacotamento tende a ser otimizado (Yu; Spiesz; Brouwers, 2014).

A programação foi desenvolvida no *Google Colaboratory*, sistema que permite escrever e executar programação *Python* no navegador. Para dar início é necessário importar um arquivo CSV que contenha a distribuição granulométrica de cada classe de grãos, e adoção de um coeficiente de empacotamento “q”, adotado neste estudo de 0,27. A composição dos concretos é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Traço e consumo dos concretos dosados.

		CPV	MCS	Areia	Brita 0	Brita 1	a/f	
Referência	Traço	1	0	1,91	1,53	2,45	0,4	
	Consumo (kg/m ³)	352,61	0	674,89	538,42	863,52	141,04	
Cerâmico	25%	Traço	0,75	0,25	1,68	1,38	2,42	0,4
		Consumo (kg/m ³)	277,27	93	622,81	512,36	896,76	148,1
	34%	Traço	0,66	0,34	2,16	1,59	2,85	0,4
		Consumo (kg/m ³)	212,99	108,92	695,23	512,78	917,62	128,77
Vidro	18%	Traço	0,82	0,18	1,86	1,41	2,41	0,4
		Consumo (kg/m ³)	296,46	63,84	670,95	509,24	869,63	144,12
	40%	Traço	221,67	147,03	620,83	481,77	919	147,48
		Consumo (kg/m ³)	0,6	0,4	1,68	1,31	2,49	0,4

Fonte: O autor (2023)

Para confecção dos concretos foi utilizado uma betoneira de 120 litros, e a ordem dos materiais utilizados se iniciou pelos agregados graúdos, começando pela brita 1 e depois a brita 0, depois foi colocado metade da água, e então adicionado o cimento já mistura e

homogeneizado com o MCS, dado um intervalo de 1 a 2 minutos para então adicionar o restante da água e a areia. Então foram moldados os corpos de prova e desmoldados no dia seguinte para ficarem sobre cura úmida até a idade de 28 dias para serem submetidos aos ensaios.

Ensaio do concreto

Avaliou-se a resistência a compressão axial aos 28 dias, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os resultados passaram por uma análise estatística conforme teste Tukey com nível de significância de 0,05. Estes resultados do ensaio a compressão também foram utilizados como parâmetro para medir o índice de ligantes dos concretos, estimando-se o indicador ambiental destes concretos.

Índice de ligantes

De acordo com Daminelli *et al.* (2010) é possível definir a eficiência de um concreto em termos de uso de aglomerantes, custo total de produção ou impactos ambientais gerados na produção, medidos a partir de um indicador relevante como a resistência a compressão, por exemplo.

Assim podemos medir o índice de ligantes, que mede a quantidade de aglomerante necessários na produção de um concreto para entregar uma determinada resistência a compressão a partir da Equação 1:

$$IL = \frac{l}{f_c} \quad (1)$$

IL É o índice de ligantes;

l É o consumo total de materiais ligantes do concreto, em kg/m³;

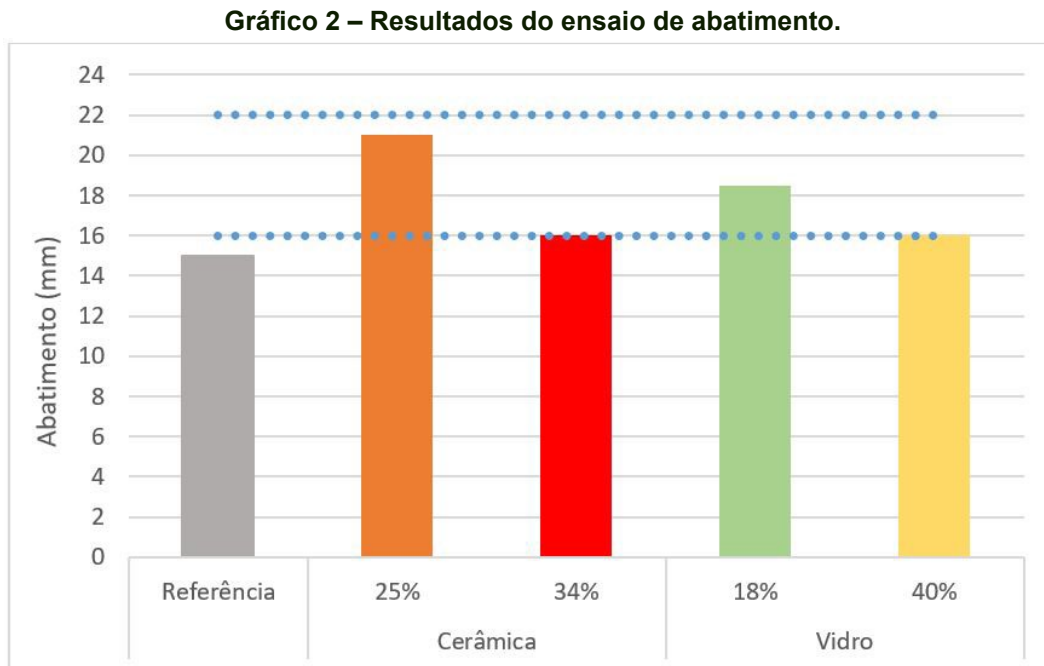
f_c É a resistência a compressão aos 28 dias, em MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta resultados de ensaios realizados com e sem o uso de MCS em concretos, assim sendo possível analisar a eficiência desses concretos e mensurar os impactos ambientais gerados pela fabricação deles.

Abatimento tronco de cone

No estado fresco realizou-se ensaios de consistência, visando atingir critérios normativos para que o concreto fosse bombeável, classe S160, de acordo com a NBR 5953:2015. O Gráfico 2 apresenta o abatimento dos concretos ensaiado.

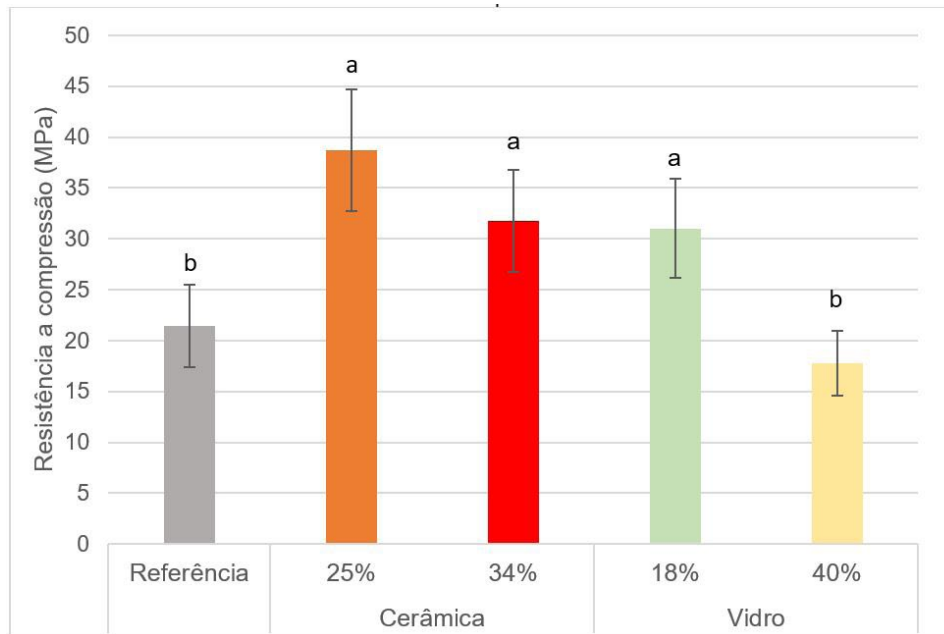


Fonte: O autor (2023)

Os valores obtidos no ensaio mostram diminuição no abatimento. Conforme se aumenta a substituição do cimento, indicando que a diminuição da trabalhabilidade está ligada com um grande aumento da substituição. Assim como no trabalho de Dias (2019), o teor de 5% e 10% aumentaram o abatimento, 17 e 22 mm, respectivamente, enquanto o teor de 15% reduziu, 19 mm, entretanto ainda foi acima do obtido na referência, 15 mm, em conforme com este trabalho. Arif *et al.* (2021) também mostrou que para teores menores, como de 5% e 10% de pó cerâmico, utilizados em sua pesquisa, houve aumento da trabalhabilidade, 47 mm e 61 mm, respectivamente, conforme se aumentou a substituição. Este aumento foi atribuído a diferente granulometria e formato das partículas do pó, (Arif *et al.*, 2021; Dias, 2019), enquanto que para teores maiores há uma redução, visto o índice de absorção da cerâmica, sendo possível notar essa contribuição das partículas do pó cerâmico quando comparados ao concreto de referência, que apresentou o menor abatimento.

Compressão axial

As resistências do concreto foram obtidas do ensaio de compressão axial, estão presentes no Gráfico 3, os valores obtidos mostram maior resistência dos corpos de prova dosados com pó cerâmico e menor teor de pó de vidro aos 28 dias.

Gráfico 3 - Resultados compressão axial aos 28 dias.

Fonte: O autor (2023)

No trabalho de Arif *et al.* (2021), o pó cerâmico, com DMC de 75 μm , e teores de substituição entre 5% e 10% apresentaram resultados superiores ao de referência na idade de 28 dias, e os CPs com pó cerâmico com teor de 25% e 34% de substituição, respectivamente, obtiveram resistências superiores, 80% e 48%, ao traço de referência, contradizendo alguns trabalhos como o de Likes *et al.* (2022), que para teores de 20% aos 28 dias apresentou resultados 2% inferiores ao de referência, contudo seus concretos não foram dosados por nenhum método de empacotamento.

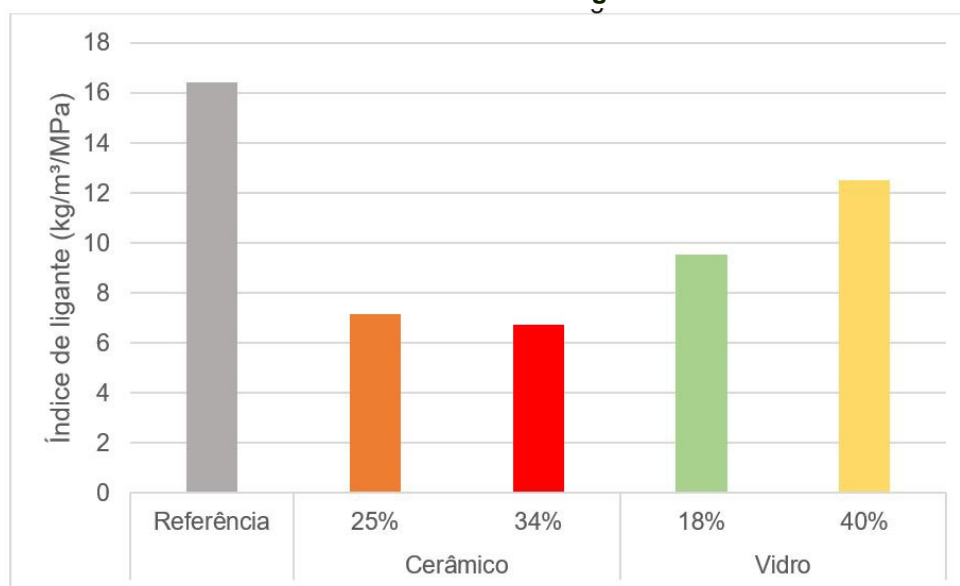
Para os concretos dosados com pó de vidro, estes não apresentam atividade pozolânica. A pesquisa de Carvalho (2019) utilizou teores de substituição de 5%, 7,5%, 10% e 12,5%, do cimento por pó de vidro mostrou-se que todas as substituições apresentaram resultados inferiores a referência aos 28 dias, entretanto Muhedin; Ibrahim (2023) afirma, conforme os valores alcançados em sua pesquisa, teores até 15% apresentam aumento da resistência, enquanto que He *et al.* (2019), usando um pó de vidro mais fino que o cimento, com atividade pozolânica, e utilizando teores de substituição de 10, 20 e 30%, apresentou resistências inferior a referência aos 28 dias. Esta pesquisa, utilizou teores de 18%, chegando a valores acima da referência, 44%, aos 28 dias, e com teores de 33% foi inferior, 17%, ainda sim, estatisticamente próximo.

Com estes dados, é possível observar uma discrepância dos valores obtidos na bibliografia, o traço de referência deveria ter resultados superiores ou estatisticamente próximo aos traços com menor teor de substituição, o que não acontece, entretanto, durante a confecção dos concretos foi utilizado grande quantidade de brita 1, conforme dado no traço, porém a brita 1 utilizada apresentava uma morfologia lamelar, o que acabou dificultando o adensamento para todos os corpos de prova, principalmente o de referência, apresentando menor teor de argamassa, deixando-o com muitos vazios, ocasionando redução de sua resistência.

Índice de ligante

Os índices de ligante foram obtidos a partir da Equação 1, e os valores obtidos estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Índice de ligante.



Fonte: O autor (2023)

Daminelli (2010) aponta que a margem de consumo mínimo dos concretos seria de 4,3 kg/m³/MPa, contudo é sugerido atingir um valor de 5 kg/m³/MPa para resistências inferiores a 50 MPa, valor que não foi atingido neste trabalho, muito por conta do coeficiente adotado para o método de empacotamento. Um coeficiente menor demandaria mais concreto, contudo teria uma matriz mais densa e assim apresentaria mais resistência compensando o consumo e podendo atingir menor índice de ligantes.

Campos *et al.* (2022) utilizaram do mesmo método de empacotamento, contudo variando o coeficiente “q”, assim atingindo valores de 3,54, 7,80 e 13,45 kg/m³/MPa para os respectivos coeficientes, 0,37, 0,21 e 0,45, com substituição de 20% do cimento por pó de pedra, enquanto a referência, moldada com o coeficiente de 0,37, atingiu o valor de 5,28 kg/m³/MPa, enquanto que Likes *et al.* (2022), que para teores de 20% de substituição do cimento por pó cerâmico, aos 28 dias chegou a um índice de ligante de 6,86 kg/m³/MPa, em seus concretos, sem utilizar de técnicas de empacotamento de partícula, enquanto Oliveira (2022) utilizou dessas técnicas e conseguiu atingir um índice de ligante de 4,73 kg/m³/MPa para uma substituição de 25% por resíduo cerâmico calcinado por uma hora.

Muhedin; Ibrahim (2023) atingiram valores de índice de ligante em torno de 9 e 10 kg/m³/MPa, para substituições de 5, 10, 15 e 20% enquanto a referência atingiu o valor de 11 kg/m³/MPa, sendo o maior valor, e sendo a quarta maior resistência, 42 MPa, contra os 48 MPa da substituição de 5%. Contudo o vidro utilizado apresentava atividade pozolânica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a inclusão de pó cerâmico melhorou o desempenho do concreto, apresentando possibilidade de um alto teor de substituição sem interferir negativamente no desempenho mecânico do concreto e possibilitando a redução do consumo de cimento, enquanto o pó de vidro apresentado, sem potencial pozolânico, deve-se partir de teores menores de substituição para evitar prejudicar o desempenho do concreto. Quanto ao método de empacotamento, apresentou-se simples de ser praticado, contudo o coeficiente utilizado registrou-se um traço com bastante agregado graúdo, o que dificultou o adensamento dos corpos de prova. Portanto, notou-se a viabilidade do uso desses materiais cimentícios suplementares para a confecção de concretos ecoeficientes, entretanto, o coeficiente do empacotamento deve ser melhor estudado.

REFERÊNCIAS

_____.NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____.NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

_____.NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

_____.NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

_____.NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____.NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____.NBR 8522-2: Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração. Rio de Janeiro, 2021.

_____.NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____.NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2019.

_____.NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____.NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____.NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____.NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

_____.NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____.NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____.NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

_____.NBR 16973: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

_____.NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ADESINA, A. Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions. *Environmental Challenges*, v. 1, 1 dez. 2020.

ARIF, R. *et al.* Experimental analysis on partial replacement of cement with brick powder in concrete. *Case Studies in Construction Materials*, v. 15, 1 dez. 2021.

CAMPOS, H. F. *et al.* Eco-efficient concrete, optimized by Alfred's particle packing model, with partial replacement of Portland cement by stone powder. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 15, n. 2, 2022.

CARVALHO, E. ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CIMENTO NO CONCRETO VERDE. Dissertação de Mestrado—Teresina: instituto federal de educação, ciência e tecnologia do Piauí pró-reitora de pesquisa e inovação programa de pós-graduação em engenharia de materiais, 2019.

CHRISTÓFOLLI, F. L. Estudo do empacotamento de micro-compósitos em misturas quaternárias de cimento Portland, com uso do método de Monte Carlo e foco na redução da emissão de CO₂. Tese – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia. Curitiba, 2020.

DAMINELI, B. L. Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DAMINELI, B. L.; KEMEID, F. M.; AGUIAR, P. S.; JOHN, V. M. Measuring the eco-efficiency of cement use. *Cement and Concrete Composites*, v. 32, n. 8, p. 555–562, 2010.

DIAS, J. M. Análise da influência de resíduos de vidros nas propriedades mecânicas do concreto. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, p. 78. 2019.

FUNK, J.E. AND DINGER, D.R. (1994) Particle Packing, Part VI—Applications of Particle Size Distribution Concepts. *International Ceramic Review*, 43, 50-354.

HE, Z. HAI *et al.* Creep behavior of concrete containing glass powder. *Composites Part B*:

Engineering, v. 166, p. 13–20, 1 jun. 2019.

IEA WBCSD. Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry. 2019.
Disponível em: <www.wbcscement.org.>.

LIKES, L.; MARKANDEYA, A.; HAIDER, M. M.; *et al.* Recycled concrete and brickpowders as supplements to Portland cement for more sustainable concrete. Journal of Cleaner Production, v. 364, p. 132651, 2022.

LOPES, H. Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland. São Carlos: 2019.

MANSOOR, S. S.; HAMA, S. M.; HAMDULLAH, D. N. Effectiveness of replacing cement partially with waste brick powder in mortar. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 2022.

MUHEDIN, D.; IBRAHIM, R. Effect of waste glass powder as partial replacement of cement and sand in concrete. Case Studies in Construction Materials, v. 19, 2023.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. Dispersão e Empacotamento de Partículas: Princípios e Aplicações em Processamento Cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte Editorial, 200. 224 p.

OLIVEIRA, C. O.; MACIEL, G. F.; CASTRO, A. L.; BARBOSA, M. O.; CAMPOS, R. S. Impacto do conceito de empacotamento de partículas na dosagem de concretos de alto desempenho. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, n. 1, 5 mar 2018.

PCA. ROADMAP TO CARBON NEUTRALITY: A more sustainable world is shaped by concrete. Shaped by concrete, p. 1–72, 2021.

SCRIVENER, K.; JOHN, V.; GARTNER, E. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, v. 114, p. 2–26, 1 dez. 2018.

SNIC. ROADMAP tecnológico do cimento: Potencial de redução das emissões de carbono na indústria do cimento brasileira até 2050. SNIC ed. Rio de Janeiro: SNIC, 2019.

SOARES, S. M. *et al.* Compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com a incorporação de diversos teores de pó de vidro. UFPR - Grupo de Pesquisa em Patologia e Reabilitação das Construções, 2019.

TANASH, A. O. *et al.* Potential of recycled powder from clay Brick, sanitary Ware, and concrete waste as a cement substitute for Concrete: An overview. Construction and Building Materials. Elsevier Ltd, 19 out. 2023.

YU, R.; SPIESZ, P.; BROUWERS, H. Effect of nano-silica on the hydration and microstructure development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) with a low binder amount. Construction and Building Materials, v. 65, p. 140-150, 29 aug 2014.

Sílica Mesoporosa: sustentabilidade e inovação

Antônia Millena de Oliveira Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - MA, campus Imperatriz. Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (Fapema).

Fernando Mendes

Instituto Politécnico de Coimbra (IPC/ESTeSC).

Ana Angélica Mathias Macêdo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - MA, campus Imperatriz

RESUMO

Os materiais mesoporosos possuem tamanhos de poros entre 2 e 50 nm, dentre eles destaca-se a sílica. Apresentam estrutura ordenada e alta área superficial, com aplicações em: difusão e adsorção de moléculas com tamanhos maiores, tais como: liberação controlada de fármacos, biosensores, separação por membrana, sorção, dentre outras. Os materiais funcionais baseados em sílica podem ser sintetizados utilizando diversos precursores: naturais ou sintéticos. Destacam-se produtos alternativos tais como: vidro soda-cal, cascas de arroz e cinzas volantes de carvão. A sílica é o óxido mais abundante da terra e vem ganhando notoriedade no mercado com o crescente desenvolvimento de semicondutores, além da indústria vidreira. O mercado da sílica mesoporosa está projetada para crescer 12,83% entre 2023 e 2030, com aplicações na área biomédica, nano circuitos elétricos, dentre outras. As novas fontes de silício geram impacto positivo: social, econômico e ambiental, visto que a utilização de resíduos ricos em sílica para a obtenção de sílica mesoporosa é um saldo positivo social, econômico e ambiental. Neste sentido, este capítulo traz à luz para o mercado mundial uma gama de informações sobre as principais fontes alternativas de silício.

Palavras-chave: sílica mesoporosa. vidro soda-cal. cinzas volantes de carvão. cinza da casca de arroz.

INTRODUÇÃO

Materiais mesoporosos são os que possuem tamanho de poros entre 2 e 50 nm (SING, 1982). Destacam-se, frente aos materiais microporosos, por apresentarem estrutura ordenada e alta área superficial, o que lhes conferem aplicações que envolvem a difusão e adsorção de moléculas com tamanhos maiores, tais como: liberação controlada de fármacos, biosensores, separação por membrana, sorção, dentre outras. Em decorrência da abundância, baixo custo, estabilidade e inércia química, a sílica é o material que compõe em maior escala a classe de materiais

Engenharia de materiais e meio ambiente reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios - Vol. 4

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.6



mesoporoso (VERMA; KUWAHARA; MORI; RAJA *et al.*, 2020).

O primeiro material mesoporoso à base de sílica foi sintetizado em 1992 por Kresge e colaboradores, na época pesquisadores da *Mobil Oil Corporation*. Eles observaram que os materiais mesoporosos poderiam apresentar estruturas hexagonal (MCM-41), cúbica (MCM-48) e lamelar (MCM-50), modificando a quantidade de silício e surfactante utilizados. A MCM-41 é estudada em diversas aplicações devido a estabilidade e facilidade em síntese quando comparada às demais sílicas (COSTA; DE JESUS; SANTOS; MANO *et al.*, 2020; KRESGE; LEONOWICZ; ROTH; VARTULI *et al.*, 1992).

A síntese de sílica mesoporosa em meio ácido ($\text{pH} < 2$) foi reportada pela primeira vez por pesquisadores da Universidade de Santa Bárbara, nos Estados Unidos, visto que publicaram a descoberta de uma nova família de materiais mesoporosos à base de sílica –*Santa Barbara Amorphous* – (SBA). A descoberta foi após utilizarem surfactantes oligoméricos de alquil poli (óxido de etileno) (PEO) e copolímeros em bloco de poli (óxido de alquilenos), variando as condições de síntese e a razão dos copolímeros. Então, foram identificadas as estruturas cúbica SBA-11, as hexagonais SBA-12 e SBA-15 e em formato de gaiola, a SBA-16. (ZHAO; FENG; HUO; MELOSH *et al.*, 1998).

A sílica mesoporosa, em sua constituição básica, é formada por estruturas tetraédricas de unidades SiO_4 , formando grupos siloxanos (Si-O-Si), caracterizando-a como um polímero inorgânico. Após o processo de remoção do molde direcionador de estrutura (surfactante), encontram-se na superfície os grupos silanóis (Si-OH), além disso, os grupos siloxanos também podem estar presentes. As propriedades superficiais da sílica são definidas, portanto, pela presença dos grupos silanóis ou de agentes modificadores/funcionalizantes. A funcionalização da superfície garante a mudança das propriedades de superfície do material, sendo possível determinar aplicação final do material, visto que a matriz, com superfície funcionalizada apresenta novas propriedades que diferem da matriz original. (BAHRAMI; BADIEI; ATYABI, 2014; EDELER; DRAČA; PETKOVIĆ; NATALIO *et al.*, 2019; SEVIMLI; YILMAZ, 2012; SZEGEDI; POPOVA; GOSHEV; MIHÁLY, 2011; YANG, X.; LI, Z.; LIU, Y.-S.; XING, Y. *et al.*, 2019).

A síntese industrial da sílica ocorre quando a areia ou quartzo reage com carbonato de sódio (Na_2CO_3) produzindo o silicato de sódio (Na_2SiO_3) que logo após reage com ácido sulfúrico (H_2SO_4) para a precipitação da sílica (SiO_2). Considera-se este processo dispendioso e ambientalmente perigoso, uma vez que exige temperaturas altas em torno de 1500°C , além de gerar subprodutos como o gás carbônico (CO_2), que contribui para o efeito estufa e dezenas de efluentes que contribuem para a contaminação das águas (SOLTANI; BAHRAMI; PECH-CANUL; GONZÁLEZ, 2015).

Outros métodos foram estabelecidos para a síntese de sílica mesoporosa, como o método sol-gel. Neste, os precursores de silício mais utilizados são o tetraetilortosilicato (TEOS) e tetrametilortosilicato (TMOS). No entanto, são precursores com alto custo e exibem toxicidade, o que desperta o interesse por precursores de silício mais baratos e menos tóxicos para a síntese de sílicas amorfas e mesoporosas (OWOEYE; JEGEDE; BORISADE, 2020). Diante do disposto, este capítulo visa demonstrar as principais fontes alternativas para a síntese da sílica, bem como as aplicações.

SÍLICA MESOPOROSA

A sílica mesoporosa configura um dos principais materiais classificados como mesoporosos. Esta classe de materiais possui como principal característica, a presença de poros com tamanhos que variam de 2 a 50 nm. Diante disso, quando comparados aos materiais microporosos, os mesoporosos ganham destaque por apresentarem estrutura ordenada e alta área superficial, proporcionando uma variedade de aplicações, tais como: difusão e a adsorção de moléculas com tamanhos maiores (TALLAREK; HLUSHKOU; HÖLTZEL, 2022), liberação controlada de fármacos ou moléculas específicas (GARCÍA-FERNÁNDEZ; SANCENÓN; MARTÍNEZ-MÁÑEZ, 2021), biosensores (ESMAEILI; KHAVANI; BIGHAM; SANATI *et al.*, 2022), separação por membrana e sorção (BOROUN; SAHRAEI; MOKARIZADEH; ALAMDARI *et al.*, 2021).

Em 1992, foram sintetizados por Kresge e colaboradores, os primeiros materiais mesoporosos à base de sílica e denominados Família M41S, tendo como membro mais conhecido o *Mobil Composition* nº 41 (MCM-41). A forma estrutural cúbica, hexagonal e lamelar (Figura 1), depende das condições de síntese, do direcionador de estrutura, bem como a proporção em relação ao silício, mas também, o tamanho do poro pode ser controlado pelo comprimento da cadeia do direcionador de estrutura (KRESGE; LEONOWICZ; ROTH; VARTULI *et al.*, 1992).

Figura 1 - Demonstração de arranjo estrutural para algumas sílicas da família M41S. Adaptado de (NGUYEN; NGUYEN; VO; NGUYEN *et al.*, 2020)



A sílica MCM-41 concentra pesquisas, as quais podem ser acessadas em artigos de periódicos de alto impacto científico em diversas aplicações (GUAN; WANG; WANG; SUN *et al.*, 2018; HABECHE; HACHEMAOUI; MOKHTAR; CHIKH *et al.*, 2020; KHADIM; ALBAYATI; CATA SAADY, 2022; SHARIATINIA; POURZADI, 2021; TAHMASBI; GHORBANI-CHOGHAMARANI, 2019). Dentre as principais características estão a morfologia cilíndrica, a alta área superficial que pode atingir em média cerca de 1000 m²/g, mesoporos que variam de 1 a 10 nm e volume de poros superior a 0,5 mL/g. Estas características tornaram a MCM-41 um material promissor a aplicações em diversas áreas, em especial nas áreas industriais, as quais demandavam de um substituinte para as zeólitas que não apresentavam estrutura e estabilidade adequadas para a demanda industrial (COSTA; DE JESUS; SANTOS; MANO *et al.*, 2020).

Após o sucesso na obtenção dos materiais da família M41S, pesquisadores da Universidade de Santa Bárbara sintetizaram uma nova família de sílicas, utilizando um surfactante não iônico, como oligoméricos de poli (óxido de etileno) (PEO) e copolímeros

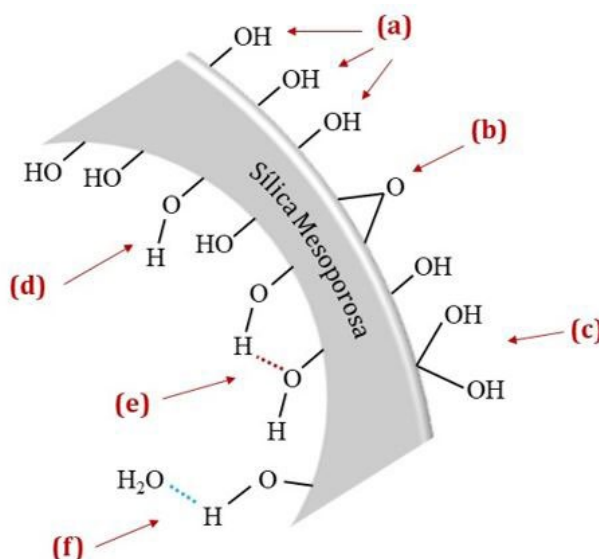
em bloco de poli (óxido de alquilen), como agente direcionador de estrutura e meio ácido ($\text{pH} < 2$) (ZHAO; FENG; HUO; MELOSH *et al.*, 1998). Esta série de sílicas mesoporosas são conhecidas como Família SBA (do inglês *Santa Barbara Amorphous*). As variações de condições de síntese e proporção de agente direcionador possibilitou a síntese de variadas formas de sílica mesoporosas, com estrutura cúbica, hexagonal e lamelar. Destas, a mais estudada é a sílica SBA-15, que possui formato hexagonal.

A SBA-15 foi sintetizada a $100\text{ }^\circ\text{C}$ utilizando como direcionador de estrutura o surfactante Pluronic P123, o qual é composto por polímeros em bloco nas posições: poli (óxido de propileno) como bloco central e poli (óxido de etileno) como blocos laterais, [(PEO) x (PPO) y (PEO)]. Uma das principais características da SBA-15 é a alta área superficial que varia de 690 a 1040 m^2/g , paredes espessas (31 e 64 Å) e estrutura de poros bem ordenadas.

Estruturalmente, como os outros tipos de sílica mesoporoso, a SBA-15 é composta por tetraedros de SiO_4 , que se apresentam de forma desordenada por toda a estrutura. Já na superfície, são observados grupos OH, como apresentado pela Figura 1, os quais se ligam diretamente a um átomo de silício, formando os grupos silanóis (SiOH). Estes grupos são os grandes responsáveis pela facilidade de modificação ou funcionalização da superfície, pois são mais reativos, permitindo uma maior versatilidade de aplicações desse material (NIKONOV; NAUMOVA; GENERALOV; SAFATOV *et al.*, 2020).

Os grupos silanóis (Figura 2) podem se apresentar de formas distintas na superfície da sílica mesoporosa. A indicação (a) mostra os grupos silanóis isolados, em que um átomo de Si está ligado a um grupo hidroxila (OH), enquanto (b) apresenta o siloxano, em que dois átomos de Si estão ligados ao mesmo átomo de oxigênio (O); já em (c) está a representação do silanol geminal, em que um átomo de Silício (Si) está ligado a dois grupos OH (ZHURAVLEV, 2000). As indicações (d), (e) e (f) indicam as possíveis ligações de hidrogênio (H) que podem ocorrer para os grupos silanóis.

Figura 2 - Representação esquemática dos grupos silanóis presentes na superfície da sílica (NIKONOV; NAUMOVA; GENERALOV; SAFATOV *et al.*, 2020)2020.



Em (d) a representação da ligação entre o H e O, já em (e) é visto uma ligação que pode ser formada entre um H e um O de dois grupos silanóis vizinhos. Em (f) é demonstrado

a tendência com que o silanol da superfície pode formar ligações de hidrogênio com a molécula de água. A presença de ligações de hidrogênio podem afetar a reatividade destes grupos, interferindo na aplicação do material (KHRAISHEH; AL-GHOUTI; ALLEN; AHMAD, 2005)

Quando comparada a sílica MCM-41, a qual possui estrutura hexagonal comparável, a SBA-15 apresenta vantagens como uma distribuição uniforme de mesoporos com uma variação de tamanho maior (entre 4 e 30 nm), uma parede mais espessa que aumenta a estabilidade hidrotérmica do material. Além disso, a SBA-15 apresenta microporos em sua estrutura, interconectando os mesoporos, que são oriundos da utilização dos surfactantes como molde de estrutura (YANG, X.; LI, Z.; LIU, Y.; XING, Y. *et al.*, 2019).

Devido a estas propriedades a sílica SBA-15 é amplamente aplicada em diversas áreas como: fármacos (ATIYAH; ALBAYATI; ATIYA, 2022), molde rígido para síntese de carbono mesoporoso (LIOU; WANG; LIN; YANG, 2022), agentes fototérmicos para ratamento do câncer (LIMA; FRAGAL; CALDAS; NAKAMURA *et al.*, 2022), adsorvente para captura de metais pesados, gases e contaminantes de meios fluviais (HAN; LEE; CAO; ZHOU *et al.*, 2022; HASSANZADEH-AFRUZI; ESMAILZADEH; ASGHARNASL; GANJALI *et al.*, 2022; SUBRAHMANYA; WIDAKDO; MANI; AUSTRIA *et al.*, 2022), dentre outras.

MATERIAIS ALTERNATIVOS COMO PRECURSORES DE SILÍCIO

O silício é segundo elementos mais abundantes na crosta terrestre, tendo como primeiro, o oxigênio (YAROSHEVSKY, 2006). Neste sentido, o Si pode ser encontrado em diversos materiais naturais ou manufaturados, em especial na forma de silicatos. Portanto, é possível prover silício de diversas fontes alternativas para ser precursor de silício na síntese de sílica mesoporosa.

Vidro soda-cal

Um dos problemas que afeta o meio ambiente é o lixo sólido. Dentro desta problemática, têm-se o descarte indevido dos materiais vítreos (RAHMAN; MATORI; ZAID; ZAINUDDIN *et al.*, 2019). O vidro é um material versátil que pode ser utilizado em diversas aplicações. A versatilidade é vista pela possibilidade de reutilização e/ou reciclagem, visto que pode ser reutilizado, triturado, fundido e remodelado para a formação de uma nova peça (ARULRAJAH; KUA; HORPIBULSUK; MIRZABABAEI *et al.*, 2017). Entretanto, o reaproveitamento não é valorizado, com exceção da reutilização para a produção de concreto para construção (DAIGO; KIYOHARA; OKADA; OKAMOTO *et al.*, 2018).

A reutilização e/ou reciclagem do vidro auxiliam na manutenção do bem-estar do meio ambiente uma vez que podem gerar redução nas emissões de gases do efeito estufa, como o CO₂, além de gerar economia de energia. A reutilização do vidro descartado em novas peças de vidro somam cerca de 10 a 30% do vidro descartado, o que se subtende que há disponível para ser reutilizado e expressa a necessidade da reutilização (RIVERA; CUARÁN-CUARÁN; VANEGAS-BONILLA; MEJÍA DE GUTIÉRREZ, 2018).

A descoberta do vidro não é datada pelos historiadores. Um marinheiro romano

(para alguns autores marinheiro fenício), cozinhando alimentos em panelas sobre pedras compostas por carbonato e bicarbonato de sódio na areia da praia, percebeu que à medida que o fogo aquecia as panelas, as pedras e a areia, fluía um líquido viscoso. Estima-se que este momento foi o primeiro indício (AXINTE, 2011).

Edgar Dutra Zanotto, em parceria com o pesquisador norte americano John Mauro, sugeriram um novo conceito para vidro (ZANOTTO; MAURO, 2017), afirmando que os conceitos anteriores retratam o vidro com propriedades que nem todos os materiais da classe apresentam e por isso uma definição mais completa era necessária. Há dois conceitos que são:

1. “O vidro é um estado fora do equilíbrio termodinâmico e não cristalino da matéria, que parece sólido em uma curta escala de tempo, mas que relaxa continuamente em direção ao estado líquido. ”
2. “O vidro é um estado da matéria condensada fora do equilíbrio termodinâmico, não cristalino, que exhibe uma transição vítrea. As estruturas dos vidros são semelhantes às dos seus líquidos super-resfriados (LSR) e relaxam espontaneamente em direção ao estado de LSR. Seu destino final, para tempos infinitamente longos, é cristalizar.”

Os vidros soda-cal-sílica, ou comumente chamados de soda-cal, são os mais frequentemente encontrados como lixo urbano. É composto majoritariamente por unidades de SiO_4 tetraédricas, cuja composição principal é: Dióxido de silício (SiO_2) [73%] – Óxido de sódio Na_2O [15%] – Óxido de cálcio (CaO) [7%] – Óxido de magnésio (MgO) [4%] – Óxido de alumínio Al_2O_3 [1%] (KARAZI; AHAD; BENYOUNIS, 2017), a qual pode variar ligeiramente. Liu e colaboradores (YANG, X.; LI, Z.; LIU, Y.-S.; XING, Y. *et al.*, 2019) reuniram diversas composições para o vidro descartado, demonstrando sua fonte principal. Dentre eles, destacam-se os vidros de garrafas que são uma das maiores fontes de resíduos. Os percentuais de sílica (SiO_2) mostrados em cada composição são favoráveis para a reutilização do vidro soda-cal como fonte de silício na síntese de sílica amorfa.

Abukhadra e colaboradores (2022) sintetizaram sílica MCM-41 a partir do vidro descartado para aplicação em oxidação avançada e processos de adsorção (ABUKHADRA; ALHAMMADI; SEONG KHIM; AJAREM *et al.*, 2022). Para a síntese, o pó do vidro finamente dividido foi adicionado em uma solução aquosa de brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) e amônia (NH_3) que foi agitada por 30 min e em seguida permaneceu a 100 °C por 24 horas. Em seguida, o material foi centrifugado, lavado, seco e calcinado a 450 °C por 5 h. Logo após, foi impregnado óxido de zinco (ZnO) na estrutura da MCM-41 sintetizada por síntese verde. Os autores mostraram que este novo material derivado do vidro reciclado conseguiu adsorver 93,9 mg levofloxacina por g de sílica, demonstrando uma maior capacidade de carregamento do fármaco que outros adsorventes (ABUKHADRA; ALHAMMADI; SEONG KHIM; AJAREM *et al.*, 2022).

Casca de arroz

O arroz representa uma das maiores parcelas de cultura no mundo, sendo uma das principais fontes de alimentação da população mundial. Cerca de 20% de todo o arroz

cultivado é casca, o que gera um acúmulo do subproduto. Em sua composição, têm-se como constituinte prioritário a celulose (40%) além da sílica e sais, que constituem cerca de 17% da composição desse material, portanto não apresenta valor nutritivo para o ser humano, sendo esse subproduto da agricultura, utilizado como combustível para máquinas. (BEIDAGHY DIZAJI; ZENG; HARTMANN; ENKE *et al.*, 2019; STEVEN; RESTIAWATY; BINDAR, 2021; TAYEH; ALYOUSEF; ALABDULJABBAR; ALASKAR, 2021).

A casca de arroz é a camada externa da semente do arroz, a qual é removida da semente durante a etapa de moagem. Em alguns casos, esse subproduto é queimado em ambiente aberto, gerando produtos que afetam diretamente a saúde dos seres vivos (BEIDAGHY DIZAJI; ZENG; HÖLZIG; BAUER *et al.*, 2022). Em outros é utilizado como bioenergia renovável, gerando cerca de 800 kWh de energia elétrica para cada tonelada (CHUN; LEE, 2020).

Mortada e colaboradores (2022) sintetizaram sílica mesoporosa do tipo MCM-41 utilizando silicato de sódio extraído da casca do arroz como fonte de silício e radiação micro-ondas. A primeira etapa do procedimento experimental foi lavar as cascas do arroz com água destilada e tratar com ácido clorídrico (HCl) a 100 °C. A casca tratada foi utilizada diretamente para a síntese da MCM, em que o resíduo foi adicionado à solução contendo o surfactante brometo de cetrimônio (CTAB) e hidróxido de amônio (NH₄OH). O composto mostrou alta capacidade de adsorção de metais pesados (MORTADA; NABIEH; HELMY; ABOU EL-REASH, 2022).

Carraro e colaboradores (2020) obtiveram sílica a partir da casca do arroz. Inicialmente, foi realizado um tratamento ácido das cascas de arroz e calcinado. Em seguida, o material foi tratado com hidróxido de sódio (NaOH 1 M) a 80 °C durante 1 hora para a formação de silicato de sódio. O (Na₂SiO₃) foi titulado com ácido sulfúrico (H₂SO₄ 4 M) até atingir o pH 10,5. Logo após, o precursor da sílica foi adicionado a uma solução de CTAB previamente preparada, a qual foi vigorosamente agitada por 6 h. Posteriormente, a solução foi acondicionada a uma autoclave e mantida em forno a 100 °C por 24 h. Ao final do processo, confirmou-se a formação da sílica mesoporosa, semelhante a comercial. (CARRARO; BENZAQUÉN; EIMER, 2021).

Chun e colaboradores (2020) sintetizaram sílicas mesoporosas da casca do arroz por um processo de etapas. Na ocasião, os pesquisadores fizeram um pré-tratamento com H₂SO₄ antes de aquecer as cascas até 900 °C. Neste processo, o material orgânico foi eliminado e obteve-se a solução de silicato de sódio. Em seguida, a cinza foi queimada a 900 °C por 12 horas e a sílica branca foi produzida. Logo após, as soluções de silicato de sódio foram preparadas para a síntese das sílicas mesoporosas utilizando diferentes agentes direcionadores de estrutura (CHUN; MO GU; HWANG; OH *et al.*, 2020).

Cinzas volantes de carvão

O carvão é uma das principais fontes energéticas utilizadas no mundo, embora haja um aumento na utilização das fontes renováveis de energia, estima-se que o uso do carvão tenha quase um quarto de participação na geração de energia no planeta (BHATT; PRIYADARSHINI; ACHARATH MOHANAKRISHNAN; ABRI *et al.*, 2019). Ao ser queimado, gera como subproduto as cinzas volantes de carvão (CFA do inglês *coal fly ash*) que, quando

não descartados corretamente, podem ser contaminantes agressivos para a água e o solo (YAO; JI; SARKER; TANG *et al.*, 2015).

As CFA, independente da fonte do carvão, possui em sua constituição óxidos metálicos, ferro, alumina, cálcio e, em maior abundância, a sílica. Em decorrência da variedade em sua composição, as cinzas volantes do carvão podem ser utilizadas como precursores de vários materiais os quais são vastamente utilizados (GOLLAKOTA; VOLLI; SHU, 2019). Devido à grande quantidade de sílica, a CFA é vastamente utilizada para a síntese de materiais à base de silício como forma de contribuir para a diminuição deste material na natureza na forma de contaminantes (HALINA; RAMESH; YARMO; KAMARUDIN, 2007; PIZARRO; CASTILLO; JARA; ORTIZ *et al.*, 2015).

Li e Qiao (2016) apresentaram uma rota sintética para obtenção de sílica mesoporosa, utilizando CFA como precursor, por meio da lixiviação ácida. Inicialmente, foi preparada uma mistura física de CFA com carbonato de cálcio (CaCO_3) que em seguida foi aquecida em forno mufla a 1200 °C por 1 h. Na etapa posterior, o sólido obtido foi tratado com HCl, na proporção de 1 g para 10 mL de ácido, em diferentes condições de síntese. Os pesquisadores produziram sílicas mesoporosas com alta área superficial (~585 m²/g) e com poros entre 2 e 10 nm, valores comparáveis a materiais preparados pelo método sol-gel (LI; QIAO, 2016).

Yuan e colaboradores (2019) sintetizaram sílica mesoporosa utilizando CFA e Pluronic 123 como direcionador de estrutura. Inicialmente, realizaram um tratamento ácido para eliminar os contaminantes, em seguida a CFA tratada reagiu com NaOH para obtenção do silicato de sódio. O Na_2SiO_3 foi adicionado ao meio reacional o qual continha HCl e P123 que ficou em agitação por 24h em temperatura ambiente. Posteriormente, a solução ficou em repouso por 72 h a 100 °C. O material foi filtrado e calcinado a 550 °C. O material apresentou alta capacidade de adsorção para o azul de metileno, superando materiais como o carvão ativado do coco e algumas sílicas (YUAN; CAI; LIU; HUANG *et al.*, 2019)2019.

VALOR DE MERCADO

A sílica é o óxido mais abundante da terra e vem ganhando notoriedade no mercado com o crescente desenvolvimento de semicondutores, além da grande indústria vidreira que já conta com uma demanda alta do óxido (KUMAR; SENGUPTA; DASGUPTA; MANDAL *et al.*, 2016). Portanto, é recorrente a movimentação de mercado deste material que desempenha um papel crucial na obtenção de novos dispositivos e desenvolvimento de materiais altamente funcionais.

As sílicas mesoporosas, por sua vez, desempenham papel crucial em diversas áreas de aplicação. Entretanto, a síntese mais convencional desses materiais funcionais ocorre utilizando TEOS ou TMOS como principais precursores, os quais encarecem o custo do processo de produção. Com isso, a utilização de materiais residuais proporcionam uma redução nos custos de síntese das sílicas mesoporosas (OLIVEIRA; CARDOSO; FERREIRA; SILVA *et al.*, 2023).

O mercado de sílica especial está projetado para crescer a uma taxa composta de 7,1% até 2030, devido ao desenvolvimento de carros elétricos e a demanda da área da construção. Já para a sílica mesoporosa, a projeção é que haja um aumento de 12,83% entre 2023 e 2030, demonstrando a importância da sílica, em especial a do tipo mesoporosa para o mercado mundial (GLOBAL, 2023; RESEARCH, 2021).

Além de valores de mercado, a utilização de materiais residuais como fonte de silício para a obtenção de sílicas mesoporosas constitui uma fonte rentável tanto para a economia quanto para o lado ambiental, uma vez que dá ao resíduo valorização de mercado. Isto contribui para economia individual do resíduo, além de ser um aporte de grandes proporções para o bem do planeta, uma vez que há uma diminuição dos poluentes na natureza.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sílica mesoporosa constitui um dos materiais mais versáteis em que as aplicações vão desde a área biomédica até em nano circuitos elétricos. A diversidade de métodos sintéticos e de materiais precursores de silício demonstram seu potencial para o desenvolvimento de diversas áreas.

Dentre as sílicas mesoporosas, destacam-se a MCM-41 e a SBA-15, visto que ambas exibem uma morfologia hexagonal, com diâmetros de poros que variam de 2 a 30 nm e alta área superficial que proporciona uma ampla gama de aplicações. Apesar da vasta funcionalidade, há desafios acerca da síntese, como a busca por materiais alternativos precursores de sílica.

A busca por novas fontes revelou uma série de materiais residuais que desempenham um ótimo papel na substituição dos precursores de sílica triviais. A casca do arroz, o vidro de garrafa e as cinzas volantes de carvão se destacam entre os materiais alternativos considerados residuais, uma vez que as pesquisas realizadas mostram a grande vantagem das matrizes mesoporosas.

As novas fontes de silício geram impacto ambiental positivo, pois retira da natureza contaminantes que poluem afluentes e solos, prejudicando o meio ambiente e a qualidade de vida dos seres vivos. Desta forma, a utilização de resíduos ricos em sílica para a obtenção de sílica mesoporosa é um saldo positivo social, econômico e ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABUKHADRA, M. R.; ALHAMMADI, A. A.; SEONG KHIM, J.; AJAREM, J. S. *et al.* Enhanced decontamination of Levofloxacin residuals from water using recycled glass based a green zinc oxide/mesoporous silica nanocomposite; adsorption and advanced oxidation studies. *Journal of Cleaner Production*, 356, p. 131836, 2022/07/01/ 2022.
- ARULRAJAH, A.; KUA, T.-A.; HORPIBULSUK, S.; MIRZABABAEI, M. *et al.* Recycled glass as a supplementary filler material in spent coffee grounds geopolymers. *Construction and Building Materials*, 151, p. 18-27, 2017/10/01/ 2017.

- ATIYAH, N. A.; ALBAYATI, T. M.; ATIYA, M. A. Interaction behavior of curcumin encapsulated onto functionalized SBA-15 as an efficient carrier and release in drug delivery. *Journal of Molecular Structure*, 1260, p. 132879, 2022.
- AXINTE, E. Glasses as engineering materials: A review. *Materials & Design*, 32, n. 4, p. 1717-1732, 2011/04/01/ 2011.
- BAHRAMI, Z.; BADIEI, A.; ATYABI, F. Surface functionalization of SBA-15 nanorods for anticancer drug delivery. *Chemical Engineering Research and Design*, 92, n. 7, p. 1296-1303, 2014/07/01/ 2014.
- BEIDAGHY DIZAJI, H.; ZENG, T.; HARTMANN, I.; ENKE, D. *et al.* Generation of High Quality Biogenic Silica by Combustion of Rice Husk and Rice Straw Combined with Pre- and Post-Treatment Strategies—A Review. *Applied Sciences*, v.9, n. 6, DOI: 10.3390/app9061083.
- BEIDAGHY DIZAJI, H.; ZENG, T.; HÖLZIG, H.; BAUER, J. *et al.* Ash transformation mechanism during combustion of rice husk and rice straw. *Fuel*, 307, p. 121768, 2022/01/01/ 2022.
- BHATT, A.; PRIYADARSHINI, S.; ACHARATH MOHANAKRISHNAN, A.; ABRI, A. *et al.* Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review. *Case Studies in Construction Materials*, 11, p. e00263, 2019/12/01/ 2019.
- BOROUN, S.; SAHRAEI, A. A.; MOKARIZADEH, A. H.; ALAMDARI, H. *et al.* Insights into the Solubility of Carbon Dioxide in Grafted Mesoporous Silica for the Catalytic Synthesis of Cyclic Carbonates by Nanoconfinement. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13, n. 23, p. 27019-27028, 2021/06/16 2021.
- CARRARO, P. M.; BENZAQUÉN, T. B.; EIMER, G. A. Eco-friendly synthesis of nanostructured mesoporous materials from natural source rice husk silica for environmental applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, n. 19, p. 23707-23719, 2021/05/01 2021.
- CHUN, J.; LEE, J. H. Recent Progress on the Development of Engineered Silica Particles Derived from Rice Husk. *Sustainability*, v.12, n. 24, DOI: 10.3390/su122410683.
- CHUN, J.; MO GU, Y.; HWANG, J.; OH, K. K. *et al.* Synthesis of ordered mesoporous silica with various pore structures using high-purity silica extracted from rice husk. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 81, p. 135-143, 2020/01/25/ 2020.
- COSTA, J. A. S.; DE JESUS, R. A.; SANTOS, D. O.; MANO, J. F. *et al.* Recent progresses in the adsorption of organic, inorganic, and gas compounds by MCM-41-based mesoporous materials. *Microporous and Mesoporous Materials*, 291, p. 109698, 2020/01/01/ 2020.
- DAIGO, I.; KIYOHARA, S.; OKADA, T.; OKAMOTO, D. *et al.* Element-based optimization of waste ceramic materials and glasses recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, p. 375-384, 2018/06/01/ 2018.
- EDELER, D.; DRAČA, D.; PETKOVIĆ, V.; NATALIO, F. *et al.* Impact of the mesoporous silica SBA-15 functionalization on the mode of action of Ph₃Sn(CH₂)₆OH. *Materials Science and Engineering: C*, 100, p. 315-322, 2019/07/01/ 2019.
- ESMAEILI, Y.; KHAVANI, M.; BIGHAM, A.; SANATI, A. *et al.* Mesoporous silica@chitosan@gold nanoparticles as “on/off” optical biosensor and pH-sensitive theranostic platform against cancer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 202, p. 241-255, 2022/03/31/ 2022.

GARCÍA-FERNÁNDEZ, A.; SANCENÓN, F.; MARTÍNEZ-MÁÑEZ, R. Mesoporous silica nanoparticles for pulmonary drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 177, p. 113953, 2021/10/01/ 2021.

GLOBAL, I. Global Mesoporous Silica Market Research Report - Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2023 to 2030. Global Information, 2023. Disponível em: <https://www.giiresearch.com/report/vmr1264134-global-mesoporous-silica-market-research-report.html>. Acesso em: 06 jun. 2023.

GOLLAKOTA, A. R. K.; VOLLI, V.; SHU, C.-M. Progressive utilisation prospects of coal fly ash: A review. *Science of The Total Environment*, 672, p. 951-989, 2019/07/01/ 2019.

GUAN, Y.; WANG, S.; WANG, X.; SUN, C. *et al.* Preparation of mesoporous Al-MCM-41 from natural palygorskite and its adsorption performance for hazardous aniline dye-basic fuchsin. *Microporous and Mesoporous Materials*, 265, p. 266-274, 2018/07/15/ 2018.

HABECHE, F.; HACHEMAOUI, M.; MOKHTAR, A.; CHIKH, K. *et al.* Recent Advances on the Preparation and Catalytic Applications of Metal Complexes Supported-Mesoporous Silica MCM-41 (Review). *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30, n. 11, p. 4245-4268, 2020/11/01 2020.

HALINA, M.; RAMESH, S.; YARMO, M.; KAMARUDIN, R. Non-hydrothermal synthesis of mesoporous materials using sodium silicate from coal fly ash. *Materials Chemistry and Physics*, 101, n. 2-3, p. 344-351, 2007.

HAN, T.; LEE, I.; CAO, Y.; ZHOU, X. *et al.* Thermodynamics of Carbon Monoxide Adsorption on Cu/SBA-15 Catalysts: Under Vacuum versus under Atmospheric Pressures. *The Journal of Physical Chemistry C*, 126, n. 6, p. 3078-3086, 2022/02/17 2022.

HASSANZADEH-AFRUZI, F.; ESMAILZADEH, F.; ASGHARNASL, S.; GANJALI, F. *et al.* Efficient removal of Pb(II)/Cu(II) from aqueous samples by a guanidine-functionalized SBA-15/Fe₃O₄. *Separation and Purification Technology*, 291, p. 120956, 2022/06/15/ 2022.

KARAZI, S. M.; AHAD, I. U.; BENYOUNIS, K. Y. Laser Micromachining for Transparent Materials. In: *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*: Elsevier, 2017.

KHADIM, A. T.; ALBAYATI, T. M.; CATA SAADY, N. M. Desulfurization of actual diesel fuel onto modified mesoporous material Co/MCM-41. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, p. 100635, 2022/05/01/ 2022.

KHRAISHEH, M. A. M.; AL-GHOUTI, M. A.; ALLEN, S. J.; AHMAD, M. N. Effect of OH and silanol groups in the removal of dyes from aqueous solution using diatomite. *Water Research*, 39, n. 5, p. 922-932, 2005/03/01/ 2005.

KRESGE, C. T.; LEONOWICZ, M. E.; ROTH, W. J.; VARTULI, J. C. *et al.* Ordered mesoporous molecular sieves synthesized by a liquid-crystal template mechanism. *Nature*, 359, n. 6397, p. 710-712, 1992/10/01 1992.

KUMAR, A.; SENGUPTA, B.; DASGUPTA, D.; MANDAL, T. *et al.* Recovery of value added products from rice husk ash to explore an economic way for recycle and reuse of agricultural waste. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15, n. 1, p. 47-65, 2016/03/01 2016.

- LI, C.-c.; QIAO, X.-c. A new approach to prepare mesoporous silica using coal fly ash. *Chemical Engineering Journal*, 302, p. 388-394, 2016/10/15/ 2016.
- LIMA, A. M. d. O.; FRAGAL, E. H.; CALDAS, B. S.; NAKAMURA, T. U. *et al.* Functional mesoporous silica decorated with Ag nanoparticles as chemo-photothermal agents. *Microporous and Mesoporous Materials*, 341, p. 112097, 2022/08/01/ 2022.
- LIOU, T.-H.; WANG, S.-Y.; LIN, Y.-T.; YANG, S. Sustainable utilization of rice husk waste for preparation of ordered nanostructured mesoporous silica and mesoporous carbon: Characterization and adsorption performance. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 636, p. 128150, 2022/03/05/ 2022.
- MORTADA, W. I.; NABIEH, K. A.; HELMY, T. E.; ABOU EL-REASH, Y. G. Microwave-assisted synthesis of MCM-41 composite with rice husk and its functionalization by dithizone for preconcentration of some metal ions from water and food samples. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, p. 104352, 2022/03/01/ 2022.
- NGUYEN, V.-H.; NGUYEN, B.-S.; VO, H.-T.; NGUYEN, C. C. *et al.* Recent Advances in Selective Photo-Epoxidation of Propylene: A Review. *Catalysts*, v.10, n. 1, DOI: 10.3390/catal10010087.
- NIKONOV, A. M.; NAUMOVA, O. V.; GENERALOV, V. M.; SAFATOV, A. S. *et al.* Surface Preparation as a Step in the Fabrication of Biosensors Based on Silicon Nanowire Field-Effect Transistors: Review. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 14, n. 2, p. 337-346, 2020/03/01 2020.
- OLIVEIRA, A. d. N. d.; CARDOSO, R. d. S.; FERREIRA, I. M.; SILVA, L. S. d. *et al.* Valorization of silica-based residues for the synthesis of ordered mesoporous silicas and their applications. *Microporous and Mesoporous Materials*, 354, p. 112520, 2023/04/15/ 2023.
- OWOEYE, S. S.; JEGEDE, F. I.; BORISADE, S. G. Preparation and characterization of nano-sized silica xerogel particles using sodium silicate solution extracted from waste container glasses. *Materials Chemistry and Physics*, 248, p. 122915, 2020/07/01/ 2020.
- PIZARRO, J.; CASTILLO, X.; JARA, S.; ORTIZ, C. *et al.* Adsorption of Cu²⁺ on coal fly ash modified with functionalized mesoporous silica. *Fuel*, 156, p. 96-102, 2015.
- RAHMAN, N. A. A.; MATORI, K. A.; ZAID, M. H. M.; ZAINUDDIN, N. *et al.* Fabrication of Alumino-Silicate-Fluoride based bioglass derived from waste clam shell and soda lime silica glasses. *Results in Physics*, 12, p. 743-747, 2019/03/01/ 2019.
- RESEARCH, G. V. Market Analysis Report. 2021. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/specialty-silica-market>. Acesso em: 26 jun. 2023.
- RIVERA, J. F.; CUARÁN-CUARÁN, Z. I.; VANEGAS-BONILLA, N.; MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R. Novel use of waste glass powder: Production of geopolymeric tiles. *Advanced Powder Technology*, 29, n. 12, p. 3448-3454, 2018/12/01/ 2018.
- SEVIMLI, F.; YILMAZ, A. Surface functionalization of SBA-15 particles for amoxicillin delivery. *Microporous and Mesoporous Materials*, 158, p. 281-291, 2012/08/01/ 2012.
- SHARIATINIA, Z.; POURZADI, N. Designing novel anticancer drug release vehicles based on mesoporous functionalized MCM-41 nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1242, p. 130754, 2021/10/15/ 2021.

SING, K. Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. *Pure and Applied Chemistry - PURE APPL CHEM*, 54, p. 2201-2218, 01/01 1982.

SOLTANI, N.; BAHRAMI, A.; PECH-CANUL, M. I.; GONZÁLEZ, L. A. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. *Chemical Engineering Journal*, 264, p. 899-935, 2015/03/15/ 2015.

STEVEN, S.; RESTIAWATY, E.; BINDAR, Y. Routes for energy and bio-silica production from rice husk: A comprehensive review and emerging prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, p. 111329, 2021.

SUBRAHMANYA, T. M.; WIDAKDO, J.; MANI, S.; AUSTRIA, H. F. M. *et al.* An eco-friendly and reusable syringe filter membrane for the efficient removal of dyes from water via low pressure filtration assisted self-assembling of graphene oxide and SBA-15/PDA. *Journal of Cleaner Production*, 349, p. 131425, 2022/05/15/ 2022.

SZEGEDI, A.; POPOVA, M.; GOSHEV, I.; MIHÁLY, J. Effect of amine functionalization of spherical MCM-41 and SBA-15 on controlled drug release. *Journal of Solid State Chemistry*, 184, n. 5, p. 1201-1207, 2011/05/01/ 2011.

TAHMASBI, B.; GHORBANI-CHOGHAMARANI, A. Magnetic MCM-41 nanoparticles as a support for the immobilization of a palladium organometallic catalyst and its application in C–C coupling reactions. *New Journal of Chemistry*, 43, n. 36, p. 14485-14501, 2019. 10.1039/C9NJ02727K.

TALLAREK, U.; HLUSHKOU, D.; HÖLTZEL, A. Solute Sorption, Diffusion, and Advection in Macro–Mesoporous Materials: Toward a Realistic Bottom-Up Simulation Strategy. *The Journal of Physical Chemistry C*, 126, n. 5, p. 2336-2348, 2022/02/10 2022.

TAYEH, B. A.; ALYOUSEF, R.; ALABDULJABBAR, H.; ALASKAR, A. Recycling of rice husk waste for a sustainable concrete: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 312, p. 127734, 2021.

VERMA, P.; KUWAHARA, Y.; MORI, K.; RAJA, R. *et al.* Functionalized mesoporous SBA-15 silica: recent trends and catalytic applications. *Nanoscale*, 12, n. 21, p. 11333-11363, 2020. 10.1039/D0NR00732C.

YANG, X.; LI, Z.; LIU, Y.-s.; XING, Y. *et al.* Research Progress of Gaseous Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Purification by Adsorption. *Aerosol and Air Quality Research*, 19, 04/01 2019.

YANG, X.; LI, Z.; LIU, Y.; XING, Y. *et al.* Research progress of gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons purification by adsorption. *Aerosol and Air Quality Research*, 19, n. 4, p. 911-924, 2019.

YAO, Z. T.; JI, X. S.; SARKER, P. K.; TANG, J. H. *et al.* A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*, 141, p. 105-121, 2015/02/01/ 2015.

YAROSHEVSKY, A. Abundances of chemical elements in the Earth's crust. *Geochemistry International*, 44, p. 48-55, 2006.

YUAN, N.; CAI, H.; LIU, T.; HUANG, Q. *et al.* Adsorptive removal of methylene blue from aqueous solution using coal fly ash-derived mesoporous silica material. *Adsorption Science & Technology*, 37, n. 3-4, p. 333-348, 2019.

ZANOTTO, E. D.; MAURO, J. C. The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 471, p. 490-495, 2017/09/01/ 2017.

ZHAO, D.; FENG, J.; HUO, Q.; MELOSH, N. *et al.* Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores. *science*, 279, n. 5350, p. 548-552, 1998.

ZHURAVLEV, L. T. The surface chemistry of amorphous silica. Zhuravlev model. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 173, n. 1, p. 1-38, 2000/11/10/ 2000.

Propriedades físicas de painéis MDP (*Medium density particleboard*) produzidos com adesivo cardanol nanomodificado

Ana Carolina Corrêa Furtini

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Danielly Stefani de Oliveira

Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Bruna de Castro Simão Viana

Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Maria Rita Ramos Magalhães

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Douglas Lamounier Faria

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Edgard Geraldo Bertoli Trindade

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Carolina Aparecida dos Santos

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Ellison Rosario de Oliveira

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

Lourival Marin Mendes

Escola de Ciências Agrárias de Lavras – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

José Benedito Guimarães Júnior

Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG – Brasil

RESUMO

O adesivo ureia-formaldeído (UF) usado para a produção de painéis de partículas de média densidade (MDP), apresenta limitações às questões ambientais e sociais, devido sua origem petrolífera e à emissão de formaldeído (substância cancerígena). Em busca da redução de emissão de formaldeído, pesquisadores estão explorando a adição de nanopartículas de sílica (SiO_2NPs) aos adesivos UF, devido à melhoria nas propriedades mecânicas e a redução da emissão de formaldeído. Além disso, há crescente interesse em adesivos naturais, como o cardanol extraído do líquido



da casca da castanha de caju (LCC), alternativa sustentável, que vem demonstrando resultados promissores na fabricação de painéis de madeira. Neste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade de utilização do adesivo natural à base de cardanol-formaldeído em um teor de 16% modificado com SiO_2NPs às propriedades físicas dos painéis MDP. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de $0,70 \text{ g/cm}^3$, ciclo de prensagem de 15 minutos, pressão de 4 MPa e temperatura de 160°C . Por meio dos resultados obtidos, observou-se que não houve diferença significativa a inclusão de SiO_2NPs , para a densidade aparente (DA), umidade, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão (AA 2h e AA24h) (13,08-14,29% e 39,6-43,95%) e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão (IE 2h e IE24h) (4,69 – 5,61% e 9,02-10,19%). Portanto, conclui-se que a utilização de 16% do teor de cardanol-formaldeído modificado foi viável para a produção dos painéis MDP, uma vez que, atingiram o mínimo estabelecido pela normativa para a comercialização dos painéis.

Palavras-chave: adesivo ecológico. emissão de formaldeído. painel à base de madeira.

ABSTRACT

The urea-formaldehyde (UF) adhesive used for the production of medium density particle boards (MDP) presents limitations to environmental and social issues, due to its petroleum origin and the emission of formaldehyde (a carcinogenic substance). In search of reducing formaldehyde emission, researchers are exploring the addition of silica nanoparticles (SiO_2NPs) to UF adhesives, due to the improvement in mechanical properties and the reduction of formaldehyde emission. Furthermore, there is growing interest in natural adhesives, such as cardanol extracted from cashew nut shell liquid (LCC), a sustainable alternative that has been demonstrating promising results in the manufacture of wood panels. In this context, the objective of this study is to evaluate the feasibility of using the natural adhesive based on cardanol-formaldehyde at a content of 16% modified with SiO_2NPs to the physical properties of MDP panels. The panels were produced with a nominal density of 0.70 g/cm^3 , a 15-minute pressing cycle, a pressure of 4 MPa and a temperature of 160°C . Through the results obtained, it was observed that there was no significant difference between the inclusion of SiO_2NPs , for apparent density (AD), humidity, water absorption after 2 and 24 hours of immersion (WA 2h and WA24h) (13.08- 14.29% and 39.6-43.95%) and swelling in thickness after 2 and 24 hours of immersion (TS 2h and TS 24h) (4.69 – 5.61% and 9.02-10.19%) . Therefore, it is concluded that the use of 16% of the modified cardanol-formaldehyde content was viable for the production of MDP panels, since they reached the minimum established by the regulations for the commercialization of panels.

Keywords: Eco-friendly adhesive. formaldehyde emission. wood-based panel.

INTRODUÇÃO

O Brasil é destaque mundial na fabricação de painéis de madeira a partir de árvores plantadas (IBÁ 2021). No primeiro trimestre de 2021 comparado ao mesmo período de 2020, o mercado brasileiro teve um aumento de 26,2% em seu consumo interno, e um aumento de 14,3% para à exportação (BESSA, 2021; IBÁ, 2021). Esses números

refletem uma crescente demanda por esses produtos, tanto dentro quanto fora do país. Dentre os painéis derivados de madeira, o aglomerado ou painel de partículas de média densidade (MDP) é um dos painéis mais produzidos e consumidos nos setores de móveis e construção (GONZÁLEZ *et al.*, 2019). Estes painéis são compostos por partículas de madeira, impregnadas com resinas sintéticas e naturais, por meio da aplicação de pressão e calor (COUTO *et al.*, 2020).

Um dos componentes adesivos mais prevalentes no processo de fabricação de painéis de partículas é a ureia-formaldeído (UF), amplamente empregada devido às suas propriedades vantajosas, como resistência à umidade, custo acessível, capacidade de cura em temperatura ambiente ou elevada (MANTANIS *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2017), facilidade de manuseio e aparência incolor (LIU *et al.*, 2018). No entanto, a utilização desse adesivo traz consigo desafios e preocupações significativas, uma vez que não é renovável e há uma dificuldade na reciclagem dos produtos finais (COUTO *et al.*, 2020). Além disso, o processo de produção de painéis de partículas e o ciclo de vida do material geram a emissão de formaldeído, um composto altamente cancerígeno, agravando as preocupações ambientais e de saúde associadas a essa prática (FURTINI *et al.*, 2022).

A liberação de formaldeído em ambientes fechados está associada a problemas adversos à saúde humana, como sensibilização da pele, náusea, irritação da pele e do trato respiratório, toxicidade, câncer de nasofaringe e leucemia (ŁEBKOWSKA *et al.*, 2017). Neste contexto, muitos esforços vêm sendo feitos para diminuir a emissão de formaldeído e melhorar o desempenho do adesivo UF (ZHAO *et al.*, 2018). Pesquisas têm mostrado que a adição de nanopartículas de sílica (SiO₂NPs) em adesivos UF tem melhorado as propriedades mecânicas do adesivo sintético, além de reduzir a emissão de formaldeído (ARAFI *et al.*, 2004; SHI *et al.*, 2007; COSTA, 2016).

Neste sentido, a preocupação com produtos ecologicamente corretos e que causem menores agressões ao meio ambiente e à saúde humana vem se destacando nos últimos anos (FARIA *et al.*, 2023). Pesquisas vêm sendo realizadas, a fim de investigar formas de reduzir a utilização dos adesivos sintéticos em substituição por adesivos provenientes de fontes naturais, como por exemplo: proteínas, carboidratos, taninos, ligninas e óleos vegetais (DUNKY 2021 ; WIDYORINI *et al.*, 2016). A casca da castanha de caju, por exemplo, produz um líquido valioso que desempenha um papel significativo na criação de materiais poliméricos por meio de fontes renováveis. Esse líquido viscoso, conhecido como líquido da casca da castanha de caju (LCC), é extraído do fruto da árvore de caju, cientificamente denominada *Anacardium occidentale L.*, uma espécie nativa do Brasil (SILVA *et al.*, 2016; HARVEY e CAPLAN, 1940).

O LCC é um monômero de caráter fenólico de fácil acesso no mercado, podendo ser identificado como técnico ou natural, de acordo com a sua composição. Enquanto o LCC natural contém uma grande quantidade de ácido anacárdico e não apresenta material polimérico em sua composição, no LCC técnico há a presença de material polimérico, apresentando também, um elevado percentual de cardanol (MAZZETTO, 2009; VENKATAKRISHNAN *et al.*, 2017). O cardanol é um dos exemplos mais interessantes de matéria-prima sustentável (FONTANA *et al.*, 2019). Além de ser um recurso renovável, é considerado um composto fenólico único, devido a presença da cadeia lateral alquílica

flexível de 15 carbonos na posição meta, com alta porcentagem dos componentes com uma ou duas ligações duplas por molécula (MOHAPATRA *et al.*, 2014).

Portanto, a aplicação do cardanol como adesivo para painéis de madeira tem sido objeto de investigação, gerando resultados promissores para as indústrias de painéis (FURTINI *et al.*, 2022; FARIA *et al.*, 2023). A partir do exposto, o trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade da utilização do adesivo natural à base de cardanol-formaldeído em um teor de 16% modificado com SiO₂NPs às propriedades físicas dos painéis MDP.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e preparo do material lignocelulósico

Os painéis MDP foram confeccionados com a madeira de *Pinus oocarpa*, com aproximadamente 22 anos. A madeira foi coletada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado no município de Lavras, região sul de Minas Gerais, Brasil; coordenadas 21° 14' 45" S, 44° 59' 59" W, e a altitude 920 m. Três árvores foram cortadas em toras de 58 centímetros e, em seguida, transportadas para a Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) na UFLA. As toras foram submersas em um tanque de água a 85 °C por 48 horas, com o objetivo de cozinhar e amaciar a madeira, facilitando o processo de laminação. Posteriormente as toras foram trituradas em moinho de martelos.

Para as superfícies dos painéis, foram utilizadas as partículas que passaram por uma peneira com malha de 12 (1,680 mm) e ficaram retidas em uma peneira com malha de 35 (0,500 mm). Quanto ao miolo, foram empregadas as partículas que passaram pela peneira com malha de 12 e ficaram retidas na peneira de malha 20 (0,84 mm). Depois de classificadas, essas partículas foram secas em estufa a 90 °C até que atingissem uma umidade de aproximadamente 5%.

Síntese do adesivo cardanol-formaldeído

O adesivo à base de cardanol-formaldeído foi produzido de maneira similar ao método descrito por Santos *et al.* (2010) e Faria *et al.* (2023). Na reação de policondensação, empregou-se uma solução de NaOH 2,0 M como catalisador, utilizando uma proporção de 1:5 de formaldeído para cardanol. Por último, nanopartículas de sílica foram introduzidas em diferentes concentrações, em relação à massa seca do adesivo. O cardanol utilizado no experimento, foi doado pela indústria Resibras Cashol, localizada em Fortaleza no estado do Ceará e as SiO₂NPs por uma empresa nacional de aditivos e especialidades químicas, localizada em São Bernardo do Campo – SP.

Produção e caracterização física dos painéis

Os painéis produzidos foram do tipo MDP, com densidade nominal de 0,70 g/cm³ e dimensões de 30 x 30 x 1,5 cm (comprimento x largura x espessura, respectivamente). A distribuição percentual das partículas foi de 40/60/40 (face/miolo/face) em relação à sua massa total. A aplicação do adesivo nas partículas do miolo e das faces de cada painel foi

realizada de forma separada e manual. Foi utilizado o teor de 16% do adesivo cardanol-formaldeído em relação à massa seca das partículas, com diferentes concentrações de nanopartículas de sílica 0, 1 e 2% (m/m) em relação à massa seca do adesivo. Para cada tratamento foram produzidos três painéis, totalizando 9 painéis.

A massa de cada camada gerada após a aplicação do adesivo, foi levada para um uma caixa formadora de colchão de madeira, com dimensões internas de 30 x 30 cm, a fim de formar o “colchão de partículas”, distribuídas em camadas (face/miolo/face). Esse colchão foi então pré-prensado manualmente à temperatura ambiente, com uma pressão de 2 MPa, com o propósito de retirar o ar e pré-consolidar o material. Em seguida, os painéis foram prensados a quente a uma temperatura de 160 °C, com uma pressão de 4 MPa, durante 15 minutos.

Para a avaliação das propriedades físicas os painéis foram acondicionados em uma sala climatizada a uma temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa do ar de $65 \pm 3\%$. Posteriormente, os painéis passaram por um processo de esquadrejamento para eliminar os efeitos das bordas e, em seguida, foram submetidos a uma serra circular para a obtenção dos corpos de prova.

Para a avaliação das propriedades físicas, a densidade aparente e umidade foram avaliadas conforme a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018). E absorção de água após 2 e 24h de imersão (AA 2h e AA 24h) e inchamento em espessura após 2 e 24h de imersão (IE 2h e IE 24h) conforme com a norma ASTM D-1037 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios referentes à densidade aparente e umidade dos painéis encontram-se na Tabela 1. Observa-se que não houve efeito estatístico significativo a adição das SiO₂NPs.

Tabela 1- Densidade aparente e umidade dos painéis MDP.

Concentração SiO ₂ NPs (%)	Densidade aparente (g/cm ³)	Umidade (%)
0	0,67 ± 0,11 A	5,88 ± 0,17 A
1	0,73 ± 0,10 A	5,90 ± 0,28 A
2	0,72 ± 0,10 A	5,63 ± 0,27 A

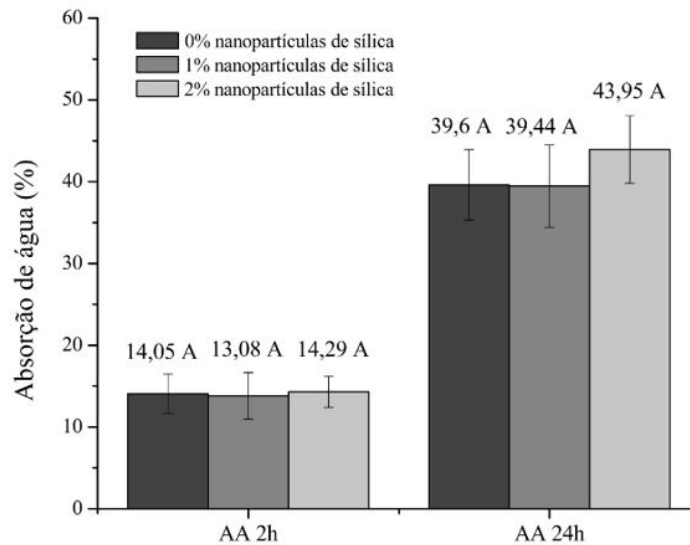
* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 5%.

A densidade aparente dos painéis variaram entre 0,67-0,73 g/cm³. Todos os painéis são classificados como de média densidade, uma vez que, corresponde a faixa de 0,55 a 0,75 g/cm³ estabelecida pela NBR 14810-2.

Os teores de umidade variaram de 5,90-5,63%, não apresentando diferenças significativas entre as concentrações avaliadas. A norma de comercialização europeia EN-312 (EUROPEAN STANDARDS, 1993) estipula uma faixa de 5 a 13% de teor de umidade para os painéis MDP, portanto todas as concentrações atendem este requisito. Veloso *et al.*, (2020) obtiveram para o painel MDP de madeira de pinus e adesivo UF em teor de 12% nas faces e 10% no miolo um teor médio de 8%, valor superior ao presente estudo.

Os valores médios obtidos para absorção de água após 2h e 24 horas de imersão (AA2h) e (AA24h) respectivamente, estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Absorção de água após 2 e 24 h de imersão dos painéis MDP.

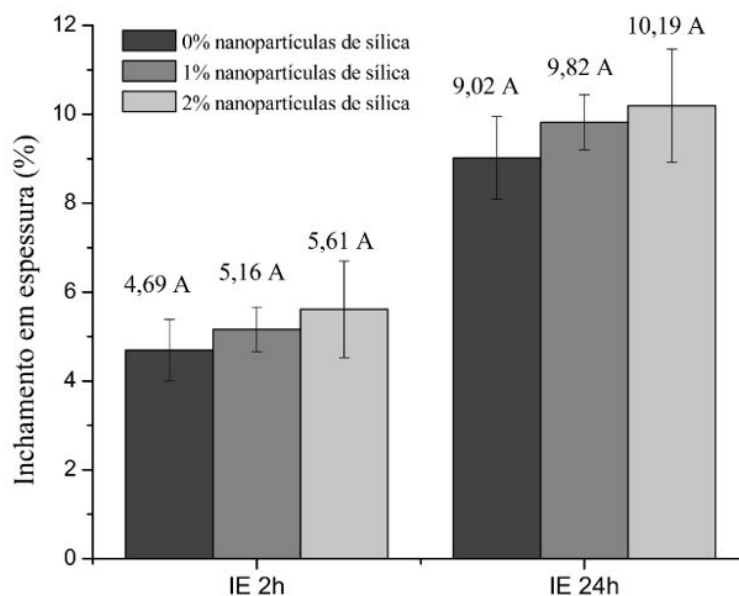


Fonte: Da autora (2023).

Observa-se na Figura 1 que não houve diferença significativa a inclusão das SiO_2NPs . Os valores obtidos neste estudo mostram inferiores aos relatados na literatura, fato favorável. Brito *et al.* (2022) ao estudarem painéis aglomerados de média densidade, com madeira de pinus e adesivo UF em teor de 12%, obtiveram um teor médio de 65,05% para AA 2h e 71,97% para AA24h. Os menores teores obtidos neste estudo eram esperados, uma vez que, o cardanol apresenta propriedades hidrofóbicas (FURTINI *et al.*, 2022).

Os valores médios obtidos para as propriedades de inchamento em espessura, após duas e vinte quatro horas de imersão em água (IE 2h) e (IE 24h) respectivamente, encontra-se na Figura 2.

Figura 2– Inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão dos painéis MDP.



Fonte: Da autora (2023).

Conforme observado na Figura 2 não houve efeito significativo a inclusão das SiO₂NPs. Os valores obtidos em todas as concentrações, atendem a normativa EN 312-4 (EUROPEAN STANDARDS, 2003) que estipula o valor máximo de 14% para IE24h em painéis MDP de uso geral sob condições úmidas. Em comparação a literatura, os valores do presente estudo, foram inferiores aos reportados. Faria *et al.* (2023) obtiveram para os painéis aglomerados com madeira de pinus e adesivo cardanol-formaldeído a 8%, valores médios de 23,13% para IE 2h e 29,89% para IE 24h. Supõe-se que a maior quantidade de adesivo (16%) foi responsável por melhorar a adesão entre as partículas, reduzindo o inchamento em espessura provocado pela absorção de água, conforme descrito por bufalino *et al.* (2012). Dourado *et al.* (2020) obtiveram para o painel MDP, com madeira de pinus e adesivo UF a 12% com parafina na proporção de 0,5% um teor de 7,92% para IE2h e 27,72% para IE 24h. Percebe-se que o adesivo cardanol-formaldeído com a inclusão de SiO₂NPs revela potencial em comparação ao adesivo convencional UF.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a utilização de 16% do teor de adesivo natural à base cardanol-formaldeído modificado com SiO₂NPs foram viáveis para a produção dos painéis MDP, uma vez que, atingiram o mínimo estabelecido pela normativa para a comercialização dos painéis, diante as propriedades físicas, umidade (5,63-5,80%); AA 2h (13,08-14,29%) e AA24h (39,6-43,95%); IE2h (4,69 – 5,61%) e IE 24h (9,02-10,19%). No entanto, a adição das SiO₂NPs não apresentou diferença estatística significativa para as propriedades físicas dos painéis.

REFERÊNCIAS

- ARAFA, I. M., FARES, M. M., & BARHAM, A. S. Sol-gel preparation and properties of interpenetrating, encapsulating and blend silica-based urea-formaldehyde hybrid materials. *Eur. Polim. J.*, New York, v. 40, n. 7, p. 1477-1487, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1037: Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles. West Conshohocken, 2012.
- BESSA, C. Setor Moveleiro - Painéis de madeira: consumo interno e exportação no 1º tri. Disponível em: < <https://setormoveleiro.com.br/paineis-de-madeira-consumo-interno-e-exportacao-no-1o-tri/>> Acesso em: 16 outubro. 2023.
- BUFALINO L, ALBINO VCS, DE SÁ VA, CORREA AAR, MENDES LM & ALMEIDA NA. Particleboards made from australian red cedar: processing variables and evaluation of mixed-species. *J. Trop. For. Sci.*, v.24, n.2, p. 162-172, 2012.
- COSTA, T. G. Caracterização de adesivos sintéticos com adição de nanopartículas de sílica como carga de reforço. Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015, Lavras: UFLA, 2016. 87 p.
- COUTO, J. P. M., NASCIMENTO, M. F., AQUINO, V. B. DE M., PANZERA, T. H., CHRISTOFORO, A. L., & LAHR, F. A. R. Painel MDP com resina poliuretana à base de óleo de mamona com adição de cimento. *Ambient Constr*, v. 20, n.3, p. 661–669. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300451>

DOURADO, D.C.C.; HENKES, J.A. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis “MDP” com adição de raspas de pneu. *Rev. Bras. Gest. Ambient. Sustentabilidade.*, v. 9, n. 1, p. 79-95, 2020

DUNKY, M. Wood Adhesives Based on Natural Resources: A Critical Review: Part IV. Special Topics. p.761-840, 2021.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 312: Particleboard: Specifications. E.C. S., Bruxelas, 1993.

FARIA, D. L.; SCATOLINO, M. V.; DE OLIVEIRA, J. E.; GONÇALVES, F. G.; SORIANO, J.; DE PAULA PROTÁSIO, T., LELIS, C. C. R; CARVALHO, L.M.H.; MENDES, L.M.; JUNIOR, J. B. G. Cardanol-based adhesive with reduced formaldehyde emission to produce particleboards with waste from bean crops. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v.30, n.16, p. 48270-48287, 2023.

FONTANA A. GUERNELLI, S.; CRESCENZO, A. D.; PROFIO, P. D.; PALOMBA, F.; CRESCENTINI, L. D.; BASCHIERI, A.; AMORATI, R. Cardanol-like co-surfactants solubilized in pegylated micelles keep their antioxidant activity and preserve polyethylene glycol chains from oxidation. *J. Mol. Liq.*, v. 293, p. 1-9, 2019

FURTINI, A.C.C, BRITO, F.M.S., GUIMARÃES JUNIOR, M.; FURTINI, J.A.O, PINTO, L.A.M.; PROTÁSIO, T.P.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B Substitution of urea–formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. *Environ Sci Pollut Res.*, v. 29, p.66562–66577, 2022.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S., FERRO, F.S., SILVA, D.A.L., FEIJOO, G., LAHR, F.A.R., MOREIRA, M.T. Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. *Resour. Conserv. Recycle* v.150, n.104434, 2019.

HARVEY, M. T., & CAPLAN, C. Cashew nut shell liquid. *Ind. Eng. Chem. Res.*, v.3, n.10, p. 1306-1310, 1940.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ. Painéis de madeira. Disponível em: < <https://iba.org/paineis-de-madeira> > Acesso em: 10 outubro 2023.

ŁEBKOWSKA, M., RADZIWIŁŁ, M. Z. AND TABERNACKA, A. Adhesives based on formaldehyde—Environmental problems. *BioTechnol.*, v.1, p. 53–65, 2017.

LIU, M., WANG, Y., WU Y., HE, Z., WAN, H. Greener” adhesives composed of urea-formaldehyde resin and cottonseed meal for wood-based composites. *J Clean Prod* v.187, p.361–371, 2018.

MANTANIS, G. I., ATHANASSIADOU, E. T., BARBU, M. C., & WIJNENDAELE, K. Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries. *Wood Mater Sci Eng.*, v.13, n.2, p.104-116, 2018.

MAZZETTO, S. E; LOMONACO, D; MELE, G. Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. *Quím. Nova.*, v. 32, n. 3, p. 732-741, 2009

MOHAPATRA, S., & NANDO, G.B. Cardanol: a green substitute for aromatic oil as a plasticizer in natural rubber. *Rsc Adv.* 4:15406–15418, 2014.

OLIVEIRA, S. L., FREIRE, T. P., MENDES, L. M., & MENDES, R. F. The effect of post-heat treatment in MDF panels. *Matéria. Res.*, v. 20, n. 1, p. 183-190, 2017.

SANTOS, R.S.; SOUZA, A. A.; PAOLI, M.; SOUZA, C. M. L. Cardanol–formaldehyde thermoset composites reinforced with buriti fibers: Preparation and characterization. *Compos. - A: Appl. Sci. Manuf.*, v.41, n.9, p.1123-1129, 2010.

SHI, J. LI, J., ZHOU, W., ZHANG, D. Improvement of wood properties by urea–formaldehyde resin and nano-SiO₂. *Frontiers of Forestry in China, Beijing*, v. 2, n. 1, p. 104-109, 2007.

SILVA, A. L. D., SILVA, L. R. R. D., CAMARGO, I. D. A., AGOSTINI, D. L. D. S., ROSA, D. D. S., OLIVEIRA, D. L. V. D., & MAZZETTO, S. E. Cardanol-based thermoset plastic reinforced by sponge gourd fibers (*Luffa cylindrica*). *Polímer.*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 21-29, 2016.

VENKATAKRISHNAN, R.; NARMADA DEVI, N.; PRABHAKARAN, R. Characterization of natural fibers reinforced CNSL matrix composite. *Int. J. Eng. Sci. Comput*, v. 7, n. 4, 2017

WIDYORINI, R.; NUGRAHA, P. A.; RAHMAN, M. Z. A.; PRAYITNO, T. A. Bonding Ability of a New Adhesive Composed of Citric Acid-Sucrose for Particleboard. *BioResour*, v. 11, n. 2, p. 4526-4535, 2016.

ZHAO, X.; PENG, L.-Q.; WANG, H.-L.; WANG Y.-B.; ZHANG, H. Environmentfriendly urea-oxidized starch adhesive with zero formaldehyde-emission. *Carbohydr. Polym.*, v. 181, p. 1112-1118, 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais (PPG BIOMAT-UFLA) e à empresa Resibras Cashol pela doação do cardanol.

Construção de mapas a partir dos dados do MapBiomas Coleção 1 Fogo: uma abordagem metodológica

Construction of maps from data from MapBiomas Collection 1 Fogo: a methodological approach

Alexandre Rodrigues de Morais

Doutorando em Engenharia Ambiental pela UERJ, atualmente é professor convidado da PUC no curso de MBA em Gestão de Cooperativas de Transporte. É mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos e atua a mais de 20 anos em prol da justiça socioambiental

Jorge Edmir da Silva Santos

Mestre em Engenharia Ambiental (PEAMB/UERJ). Doutorando em Engenharia Ambiental (DEAMB/UERJ).

Josimar Ribeiro de Almeida

Pós-Doutorado Tecnologia Ambiental (USP .2002) Pós-Doutorado Engenharia Ambiental (UFRJ. 1998) Pós-Doutorado Saúde Ambiental (FIOCRUZ .1985) Doutorado Ciências Biológicas (UFPR .1983) Mestrado Ciências Biológicas (UFRJ .1979) é atualmente docente no Doutorado em Engenharia Ambiental na UERJ

Skarlat Reynnely Alves Tepedino

Mestranda em Engenharia Ambiental (PEAMB/UERJ). Engenheira civil com especialização em sanitária (UERJ).

RESUMO

Este trabalho apresenta uma abordagem metodológica para a construção de mapas a partir dos dados do MapBiomas Coleção 1 Fogo. Os passos incluem o acesso aos dados, importação para um software de Geoprocessamento, exploração e visualização, análises espaciais e geração de mapas temáticos. A citação adequada da fonte é essencial. Essa metodologia possibilita o entendimento dos padrões de fogo e sua relação com o ambiente, subsidiando a tomada de decisões e o manejo adequado em áreas independentes, neste caso em específico na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba.

Palavras-chave: construção de mapas temáticos. dados. mapabiomas. coleção 1 fogo. abordagem.



ABSTRACT

This summary presents a methodological approach for building maps from data from the MapBiomass Collection 1 Fogo. The steps include accessing the data, importing it into a Geoprocessing software, exploration and visualization, spatial analysis and generation of thematic maps. Proper source citation is essential. This methodology makes it possible to understand fire patterns and their relationship with the environment, supporting decision-making and proper management in independent areas, in this specific case in the Paraopeba River Basin.

Keywords: construction of maps. data. mapbiomas. collection 1 fogo. approach.

INTRODUÇÃO

O impacto do fogo sobre o território nacional foi mostrado em um levantamento feito pelo Projeto MapBiomass considerando o intervalo entre os anos 1985 e 2020. A cada um desses 36 anos o Brasil queimou uma área maior que a da Inglaterra: foram 150.957 km² por ano, ou 1,8% do país. O acumulado do período chega a praticamente um quinto do território nacional: 1.672.142 km², ou 19,6% do Brasil, sendo que 65% do total da área queimada foi de vegetação nativa. A estação seca concentra 83% das queimadas e incêndios no país.

Dentre as principais causas dos incêndios florestais podemos destacar incendiários, analfabetismo ambiental, fatores culturais/comportamentais, expansão de áreas rurais, queima para plantios, rebrotamento de pastagem, acidentes, (SOARES & SANTOS, 2002; DIAS, 2009; IBRAM, 2009; PIVELLO *et al.*, 2021). Os principais fatores que contribuem para os incêndios florestais são os fatores climáticos, topográficos e combustibilidade do material (DIAS, 2009; BATISTA *et al.*, 2021; JESUS *et al.*, 2020). Dentre as principais consequências das queimadas e incêndios florestais (Q&IF) estão os efeitos negativos para a saúde humana, economia, sociedade e meio ambiente (DIAS, 2009).

A análise do fogo e suas interações com o meio ambiente desempenham um papel crucial na compreensão dos efeitos e na formulação de estratégias de manejo adequadas para áreas correspondentes (ALVES & PÉREZ-CABELLO, 2017; BERLINCK & BATISTA, 2020). Assim sendo, cabe aos entes federativos investirem em atividades de fiscalização, de monitoramento, de educação ambiental e de manejo preventivo para reduzir o uso do fogo no país (MARTINS *et al.*, 2020).

Diversos estudos analisam as políticas públicas existentes para a prevenção e controle de queimadas e incêndios florestais, concluindo que estas apresentam limitações (TCU, 2011; FONSECA-MORELLO *et al.*, 2016; FONSECA-MORELLO *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2020; PIVELLO *et al.*, 2021). Por outro lado, Freire *et al.* (2021) destacam iniciativas de diversos órgãos e entidades no desenvolvimento de tecnologias, métodos e produtos com intuito de monitorar causas e mitigar a devastação causada pelos incêndios florestais.

Nesse contexto, o MapBiomass Coleção 1 Fogo tem se mostrado uma ferramenta fundamental, fornecendo dados geoespaciais precisos e abrangentes sobre áreas queimadas

em diferentes regiões que podem ser reutilizados por pesquisas científicas engajadas em contribuir com o combate e prevenção de incêndios florestais. O MapBiomass é uma iniciativa do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG/OC) e é produzido por uma rede colaborativa de cocriadores formada por ONGs, universidades e empresas de tecnologia organizados por biomas e temas transversais.

Este artigo apresenta uma abordagem metodológica para a construção de mapas a partir dos dados do MapBiomass Coleção 1 Fogo, destacando o processo passo a passo e as considerações necessárias para obter resultados confiáveis e relevantes. Essa metodologia foi utilizada na construção de pesquisa científica como parte obrigatória para conclusão de mestrado; neste trabalho têm-se como objetivo fornecer um guia para pesquisadores, gestores ambientais e demais interessados em utilizar esses dados para análises e tomada de decisões. No caso deste estudo, limitou-se como área geográfica a Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba.

Segundo Morais (2022), o primeiro passo foi acessar o site oficial do MapBiomass e navegar até a seção referente à Coleção 1 Fogo. A partir daí, é possível fazer o download dos dados específicos da região de interesse. Esses dados são geralmente disponibilizados em formatos como shapefile ou raster, permitindo a manipulação e visualização em software de Geoprocessamento, como o QGIS ou o ArcGIS. Esses softwares oferecem uma ampla gama de ferramentas e funcionalidades para manipulação de dados geoespaciais. Em posse dos dados e com o auxílio do software de Geoprocessamento é possível ajustar a simbologia, definir limites geográficos, personalizar a representação visual dos dados e adicionar outras classes de informações geográficas relevantes, como privilégio, hidrografia e divisões administrativas.

Portanto, com os dados do MapBiomass importados e visualizados, foi possível realizar análises espaciais e gerar mapas temáticos. Essas análises envolveram cálculos de estatísticas, sobreposições de camadas, consultas espaciais e outras operações pertinentes ao estudo em questão. Essas análises forneceram *insights* valiosos sobre a distribuição espacial de áreas queimadas e suas relações com outros fatores ambientais na área de estudo que originou este trabalho (MORAIS, 2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

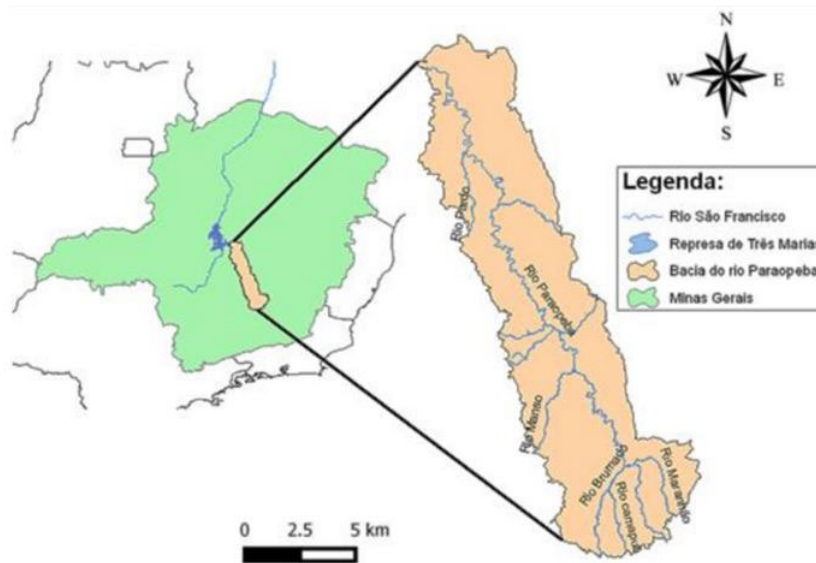
Para a construção de mapas temáticos é necessário que acesse o site oficial do MapBiomass (mapbiomas.org) e navegue até a seção referente à Coleção 1 Fogo. O MapBiomass disponibiliza dados geoespaciais de diferentes temas e coleções, portanto, é importante encontrar uma seção específica dos dados de fogo.

Dentro da seção do MapBiomass Coleção 1 Fogo, há opções para baixar os dados em diversos formatos como shapefile (arquivos vetoriais) ou raster (imagens em grau). Como o estudo que desenvolvemos tinha por objetivo compreender o comportamento de Queimadas e Incêndios Florestais em escala longitudinal de tempo que correspondendo ao período de 1985 a 2020, escolhemos o formato Shapefile.

Posteriormente foi realizado o download dos dados do MapBiomass Coleção 1

Fogo para a região de interesse que era a Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba (figura 1). Os arquivos foram disponibilizados em um arquivo compactado (ZIP), o que exigiu o descompactamento.

Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Paraopeba.



Fonte: IGAM (2011).

Já com os arquivos baixados e descompactados, utilizamos software de Geoprocessamento QGIS. Nesta etapa, exigisse do pesquisador a estar familiarizado com as funcionalidades básicas do software de Geoprocessamento.

No software de Geoprocessamento, utilizamos a opção de importar dados ou agregar. Geralmente, essa opção está localizada em uma barra de ferramentas ou no menu principal. Selecionamos o formato de arquivo correto (shapefile) e navegamos até a pasta onde descompactamos os dados do MapBiomias Coleção 1 Fogo.

Nos dados importados havia vários arquivos relacionados a diferentes aspectos, como áreas queimadas, intensidade do fogo, entre outros. Escolhemos os arquivos que desejamos para criar um mapa que retratasse as cicatrizes de Q&IF nos últimos 25 anos (período correspondente aos anos de 1985-2020).

Após importação dos dados, eles foram exibidos como incluídos no software de Geoprocessamento. Utilize as ferramentas disponíveis para ajustar a simbologia (cores, estilos), definir os limites do mapa e personalizar a representação dos dados de acordo com a área e o objetivo do estudo. Trabalhamos com a representação por ponto de representação de cada área afetada por focos de incêndios, garantindo uma visualização dentro do polígono que representava a Bacia Hidrográfica do Paraopeba.

Através do MapBiomias foi possível adicionar outras informações ao mapa para contextualizar os resultados. Por exemplo, importar planos de relevo, hidrografia, divisões administrativas, imagens de satélite, entre outros, para enriquecer a visualização e análise dos dados do MapBiomias Coleção 1 Fogo. Não foi o que fizemos, já que trabalhamos complementarmente com dados geospaciais do Comitê de Bacia Hidrográfico correspondente a área de estudo.

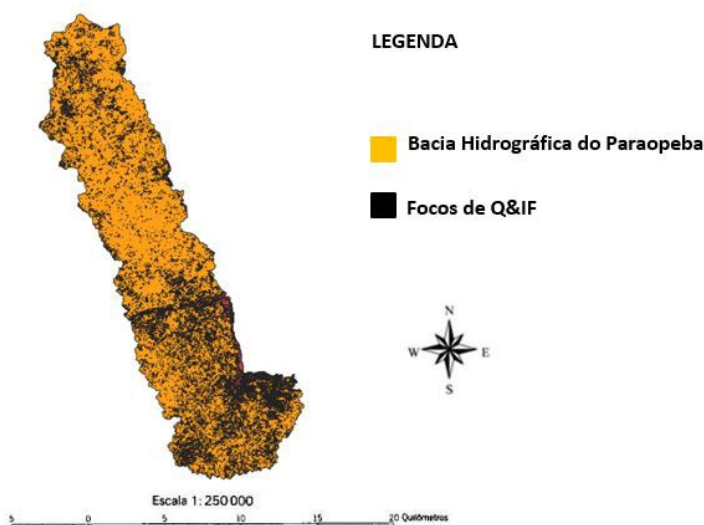
Destaca-se que com as demais informações que o MapBiomias disponibiliza foi possível realizar análises espaciais e gerar mapas temáticos, sendo este último o produto deste estudo. No caso de interesse de aprofundamento na análise das informações, outro caminho disponível é a utilização das ferramentas de análise disponíveis no software de Geoprocessamento para calcular estatísticas, realizar sobreposições de camadas, criar consultas espaciais e outras operações que sejam relevantes para a análise específica. Neste caso fizemos a sobreposição de dados de focos de incêndios florestais ao polígono (shape) da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba e através de análise de intensidade identificamos as áreas com maior incidência de Q&IF.

Por fim, foi realizada a exportação do mapa em formato Shape, opção que está disponível no menu do software de Geoprocessamento que utilizamos e o colocamos em paralelo a mapa temáticos do banco de dados da área deste estudo. Isso possibilitou identificar a concomitância de fenômenos em mesma área afetada por Q&IF.

DISCUSSÃO E ANÁLISE DE DADOS

O resultado obtido com a utilização dos dados do MapBiomias Coleção 1 Fogo por Moraes (2022) foi um Mapa Temático que retrata a cicatriz dos incêndios florestais – Q&IF no período que corresponde aos anos de 1985 a 2020 conforme a figura 2.

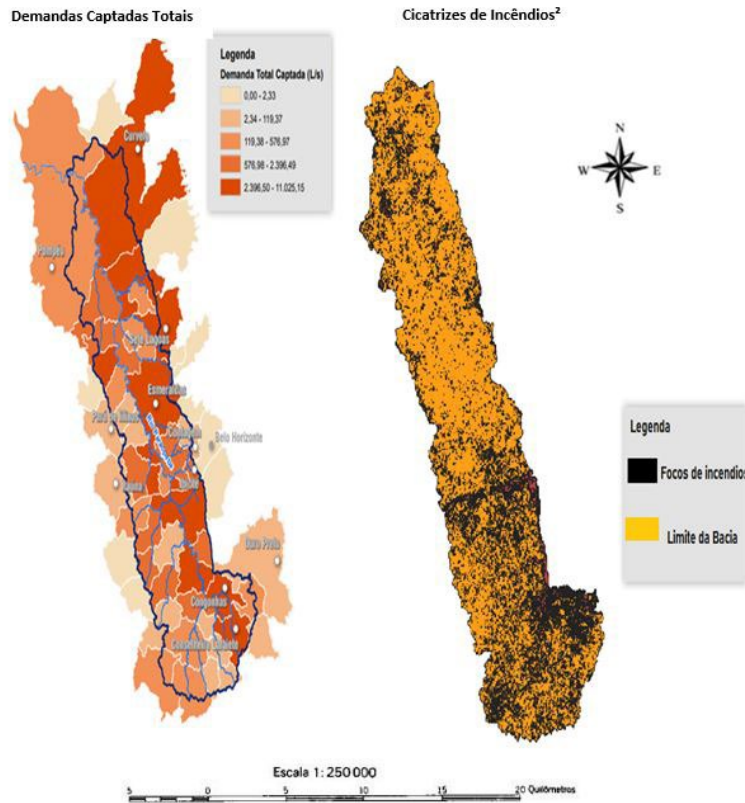
Figura 02 – Q&IF na Bacia Hidrográfica do Paraopeba.



Fonte: Construção a partir do MapBiomias (2021).

O arquivo possibilitou que juntamente a dados de fontes paralelas, neste caso de estudo do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, identificasse as regiões mais afetadas por Q&IF, assim como, outros fenômenos concomitantes a mesma região no interior da área em estudo (MORAIS, 2022). Na figura 3, por exemplo, fica nítido que as áreas com maior demanda hídrica correspondem as áreas mais afetadas por Q&IF.

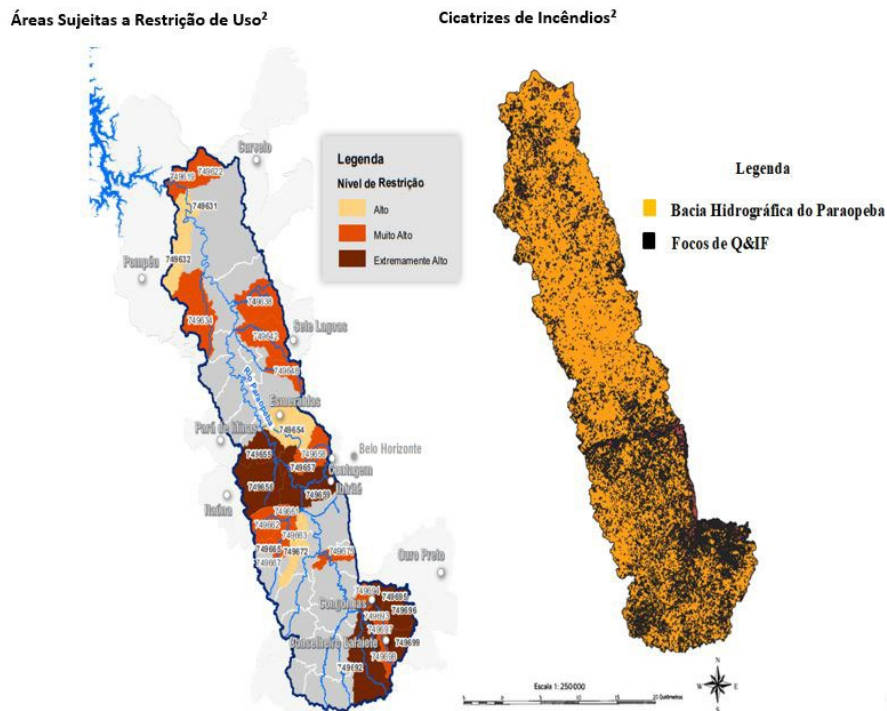
Figura 3 – Demandas Captadas Totais versus Cicatriz de Incêndios.



Fonte: PDRH Paraopeba, (2020)¹ e MapBiomias, (2021)².

A figura 4 propicia compreender que as áreas com grande possibilidade a restrição hídrica também estão localizadas nas áreas com maior incidência de Q&IF.

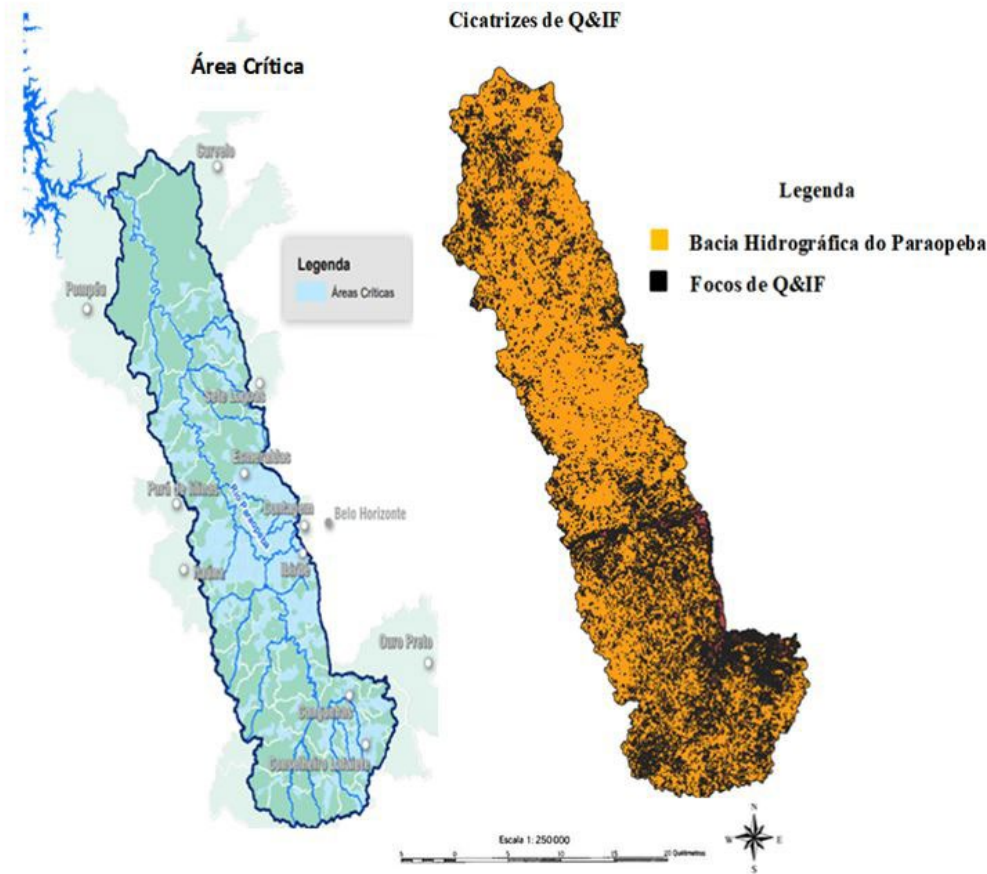
Figura 4 – Áreas sujeitas à Restrição de Uso versus Cicatriz de Incêndios.



Fonte: PDRH Paraopeba, (2020)¹ e MapBiomias (2021)².

Já a figura 5 permitiu a Morais (2022) afirmar que áreas críticas ao conflito coabitam regiões com maior incidência de Q&IF, levando-o a concluir em seus estudos que as Q&IF são um problema real na área de estudo e de urgência a ser tratado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, assim como, pelos órgãos e entidades responsáveis pela governança na prevenção e combate a incêndios florestais.

Figura 5 – Áreas Críticas ao Conflito versus Cicatriz de Incêndios.



Fonte: PDRH Paraopeba, (2020) e MapBiomias (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo assim, foi possível concluir que o MapBiomias Coleção 1 para a construção de mapas temáticos oferece uma série de resultados e benefícios. Alguns dos principais incluem:

1. Mapeamento preciso e abrangente: O MapBiomias fornece dados geoespaciais detalhados e atualizados, permitindo a construção de mapas temáticos precisos e abrangentes. Isso possibilita a visualização e análise das informações sobre uso e cobertura da terra, desmatamento, áreas protegidas, fogo, entre outros temas relevantes.
2. Identificação de padrões espaciais: A análise dos dados do MapBiomias permite identificar e mapear padrões espaciais relacionados a diferentes fenômenos, como desmatamento, drenagem florestal e mudanças no uso da terra. Essa

identificação de padrões é essencial para compreender a dinâmica dos ecossistemas, identificar áreas de maior preservação ou pressão e direcionar esforços de conservação.

3. Monitoramento de mudanças ao longo do tempo: Ao utilizar os dados históricos do MapBiomas, é possível realizar o monitoramento de mudanças na cobertura da terra e do uso do solo ao longo do tempo. Essa análise temporal permite identificar tendências, entender os principais drivers de mudanças e avaliar os impactos das atividades humanas nos ecossistemas.
4. Suporte à tomada de decisões: Os mapas temáticos gerados a partir dos dados do MapBiomas fornecem informações valiosas para a tomada de decisões em diferentes setores. Eles auxiliam gestores ambientais, planejadores territoriais e autoridades na identificação de áreas prioritárias para conservação, no estabelecimento de medidas de proteção, na implementação de políticas públicas e no monitoramento de ações de manejo.
5. Compreensão de processos ecológicos: A construção de mapas temáticos com base nos dados do MapBiomas contribui para uma melhor compreensão dos processos ecológicos. Esses mapas permitem identificar áreas de alta biodiversidade, corredores ecológicos, áreas degradadas e outras características relevantes para a conservação da fauna, flora e serviços ecossistêmicos.
6. Avaliação de impactos ambientais: Os mapas temáticos fornecidos pelo MapBiomas auxiliam na avaliação dos impactos ambientais de atividades como mineração, infraestrutura, expansão agrícola, entre outros. A visualização desses impactos em mapas permite uma compreensão mais abrangente e facilita a identificação de áreas prioritárias para mitigação e restauração.

Destarte, há a importância de manter-se atualizado sobre as atualizações e novas versões do MapBiomas Coleção 1, já que tratasse de um projeto contínuo e em constante evolução. Isso significa que novas versões e atualizações dos dados podem ser lançadas periodicamente. É importante acompanhar essas atualizações para ter acesso aos dados mais recentes e aprimorados.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. B.; PÉREZ-CABELLO, F. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). *Science of the Total Environment*, v. 601-602, p. 142-158, mai. 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.194.

BATISTA, E. K. L.; RUSSELL-SMITH, J.; FRANÇA, H.; FIGUEIRA, J. E. C. An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the Canastra National Park, Brazil: Outcomes of fire suppression policies. *Journal of Environmental Management*: v. 205, p. 40-49, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.09.053.

BERLINCK, C. N.; BATISTA, E. K. L. Good fire, bad fire: It depends on who burns. *Flora*, v. 268, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151610>

CBH PARAOPEBA. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. Plano Diretor de Recursos Hídricos. 2020.

DIAS, G. F. Queimadas e incêndios florestais: Cenários e desafios. Subsídios para a educação ambiental. Brasília: MMA, IBAMA, 2008. 32 p. Disponível: <https://www.terrabilis.org.br>. Acesso em: 02 ago. 2023.

FONSECA-MORELLO, T.; RAMOS, R.; STEIL, L.; PARRY, L.; BARLOW, J.; MARKUSSON, N.; FERREIRA, A. Queimadas e incêndios florestais na Amazônia brasileira: Uma avaliação qualitativa das políticas públicas vigentes. Núcleo de Estudos Estratégicos sobre Democracia, Desenvolvimento e Sustentabilidade (NEEDDS). Textos para discussão 02. UFABC: 2016, 43 p. Disponível: <https://needds.ufabc.edu.br/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

FONSECA-MORELLO, T.; RAMOS, R.; STEIL, L.; PARRY, L.; BARLOW, J.; MARKUSSON, N.; FERREIRA, A. Queimadas e incêndios florestais na Amazônia brasileira: Por que as políticas públicas têm efeito limitado? *Ambient. Soc.*: 20(04). 2017. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0232r1v2042017>.

FREIRE, B.; FANALLI, A. C. C.; BRAVO, J. V. M.; CASTRO, P. I. S.; ZUCCHI, V. P. Um compêndio de plataformas livres e técnicas para o estudo e monitoramento de incêndios florestais no Brasil. In: II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia “Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”. Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Campus Monte Carmelo 22 a 24 de novembro de 2021.

INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL (IBRAM). Incêndios florestais: Causas, consequências e como evitar. Brasília: 2009. 43 p. Disponível: <https://www.ibram.df.gov.br>. Acesso em: 04 ago. 2023.

IGAM. Mapas das Bacias Hidrográficas do São Francisco. Disponível em: http://www.igam.mg.gov.br/geoprocessamento/index.php?option=com_content&view=article&id=1259. Acessado em: 31 jul. 2023.

Jesus, J. B.; Rosa, C. N.; Barreto, Í. D. C.; Fernandes, M. M. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176-191. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509837696>.

MAPBIOMAS. A cada ano Brasil queima área maior que a Inglaterra. Disponível: <https://mapbiomas.org/a-cada-ano-brasil-queima-area-maior-que-a-inglaterra>. Acesso em: 02 ago. 2023.

MARTINS, G.; ROSA, A. S.; SETZER, A.; ROSA, W.; MORELLI, F.; BASSANELLI, A. Dinâmica espaço-temporal das queimadas no Brasil no período de 2003 a 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.04, pp. 1558-1569. 2020. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 02 ago. 2023.

MORAIS, A.R. Incêndios Florestais e Conflitos Hídricos: Um estudo sobre os aspectos da governança das águas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, Minas Gerais. Dissertação apresentada no Curso de Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua. Faculdade de Oceanografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 116 pag. 2022.

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; MENEZES, L. S.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECKE, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies *Perspecto. Ecol.* 2021, 19, 233-255. DOI: 10.1016/j.pecon.2021.06.005.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Revista Floresta*: 32(2), p. 219-232. 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v32i2.2287>.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). Relatório de levantamento de auditoria sobre queimadas e incêndios florestais. Brasília: 2011. 97 p. Disponível: <https://portal.tcu.gov.br>. Acesso em: 02 ago. 2023.

A reciclagem de materiais não infectantes utilizados em clínicas médicas

Cristiane Miranda

RESUMO

No momento atual a sustentabilidade e a preservação ambiental são temas bastante abordados, há necessidades da ampliação e aprofundamento de conhecimentos que contribuam para uma aprendizagem significativa propiciando informações acerca da reutilização de materiais não infectantes utilizados em clínicas médicas. A reciclagem é uma ferramenta que auxilia na preservação ambiental para o desenvolvimento sustentável, representando uma alternativa, aliando a questão ambiental com a viabilidade econômica. E assim, o presente trabalho é uma pesquisa qualitativa e bibliográfica, baseada em referenciais teóricos. As informações foram colhidas levando-se em consideração as ideias trazidas por livros e sites que abordam a temática apresentada. É importante reconhecer a reciclagem de matérias não infectantes para a conservação ambiental em uma sociedade altamente consumista e praticamente dependente das atividades industriais.

Palavras-chave: sustentabilidade. reciclagem. clínicas médicas.

ABSTRACT

At the current time sustainability and environment preservation are widely discussed topics, there is a need to expand and deepen knowledge that contributes to meaningful learning by providing information about the reuse of non-infectious materials used in medical clinics. Recycling is a tool that helps in environmental preservation for sustainable development, representing an alternative, combining environmental issue with economic viability. And so, the present work is a qualitative and bibliographical research, based on theoretical references. The information was collected taking into account the ideas brought by books and websites that address the topic presented. It is important to recognize the recycling of non-infectious materials for environmental conservation in a highly consumerist society that is practically dependent on industrial activities.

Keywords: sustainability. recycling. medical clinics.



INTRODUÇÃO

Atualmente a preservação ambiental é imprescindível para a conscientização da população e das empresas para que esse e outros descartes sejam feitos de maneira correta, pois é notório o descaso pela maioria das pessoas quando o assunto envolve o descarte correto dos seus lixos domésticos.

Devido aos altos custos nos investimentos para cuidar e devolver esses materiais ao seu lugar de origem, as empresas relutam em investir nessa área, pois demanda tempo e capital para executar essas políticas na cultura de reeducação e implantação no dia a dia de suas organizações, tendo em vista que estamos falando em uma mudança drástica de comportamento e de pensamento, ambos por parte da diretoria e de seus colaboradores.

A Logística é uma temática presente dentro da realidade hospitalar, implica na preocupação envolvendo o meio ambiente na criação de ações que favoreçam a redução dos impactos provenientes das quantidades de resíduos gerados por indústrias. E assim, ultimamente, a crescente preocupação com as questões ambientais e a sustentabilidade contribuíram para o surgimento de um assunto atual e importante, a Logística Reversa.

A Logística Reversa (LR) em clínicas médicas envolve um processo inicial de coleta dos resíduos gerados nas atividades da clínica. Esses resíduos podem ser medicamentos vencidos, seringas usadas, agulhas, produtos químicos, embalagens, equipamentos médicos e outros materiais. Após a coleta, esses resíduos são separados, seguindo as normas regulamentadoras de cada país. Assim como produtos e utensílios médicos são tratados para evitar danos a população, devemos ter essa responsabilidade com os demais lixos que produzimos.

Diante do exposto, cabe a nós um conhecimento em todas as dimensões acerca do devido descarte dos materiais não infectantes utilizados em clínicas médicas, tendo em vista que a maioria dos estabelecimentos dessa área possuem um descarte diário de lixo, entretanto a maioria desse lixo é descartada de maneira errônea, ocasionando a propagação de muitas doenças, bem como prejuízos ambientais.

Neste sentido, o presente artigo, baseado em pesquisa bibliográfica, em livros e sites que tratam do assunto em questão visa refletir sobre a reutilização de materiais não infectantes utilizados em clínicas médicas.

O descarte de forma correta contribui com a sociedade na criação de condições necessárias para produzir mudanças culturais na comunidade, auxiliando-nos a pensar a médio e longo prazo no desenvolvimento autossustentável. O cenário atual envolve o devido manuseio com o descarte de lixo englobando desta maneira, o momento pelo qual estamos passando no que se refere à pandemia do Covid-19.

Para o estudo, foi realizada uma breve concepção do embasamento teórico envolvendo a relação entre a Revolução Industrial, a sustentabilidade e a sua relação com a Logística Reversa, e o seu descarte correto e a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O capítulo seguinte aborda o tema em questão, discorrendo como aconteceu a escolha do tema. Os resultados e a discussão são expostos no capítulo seguinte.

As considerações finais encerram o presente trabalho, concluindo que a reciclagem correta dos materiais não infectantes das clínicas médicas contribui para um ambiente mais saudável, resultando numa diminuição dos impactos socioeconômicos e ambientais.

EMBASAMENTO TEÓRICO

Logística

A logística surgiu há décadas, e ao longo dos anos tem evoluído, mostrando-se eficaz na diminuição dos custos de produção. Para Novaes (2001, p. 36):

Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor (NOVAES, 2001, p. 36).

A palavra Logística é de origem grega *logistiké*, um termo decorrente do latim *logisticus*, que significa racionar, calcular, analisar e pensar. Desde os tempos mais remotos, a logística sempre foi utilizada, destacando-se sua utilização durante os deslocamentos de tribos nômades, envolvendo atividades de circulação e armazenamento de produtos, suprimentos e demais equipamentos (NOVAES, 2007, p. 31).

Guarnieri *et al.* (2006), define logística como o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, peças e produtos acabados, sua organização e dos canais de distribuição de modo a poder maximizar a lucratividade da empresa e o atendimento e satisfação dos clientes a baixo custo.

E assim, segundo Ballou (2006), é considerada um processo que inclui todas as atividades que são de suma importância para a disponibilização de bens e serviços ao consumidor, tornando a logística parte do processo de cadeia de suprimentos.

Logística Reversa

Leite (2003, p. 16), define Logística Reversa como:

[...] a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

Fuller *et al.* (1995, p. 40) afirma que a humanidade está usando 20% a mais de recursos naturais do que a quantidade que possui em condições de reposição, ocasionando uma diminuição em seus estoques naturais. Daí, verifica-se a necessária implementação da Logística Reversa (LR) nas empresas, e conscientização da população em dar um fim correto aos seus objetos recicláveis.

Segundo Donaire (1999, p. 55), as primeiras fábricas não tiveram ou melhor, não existia naquela época uma preocupação com o planeta e os devidos cuidados ambientais, pois antes da Revolução Industrial, a produção era menor, a nível das fumaças emitidas pelas primeiras fabricas eram sinal de progresso e considerado símbolo de desenvolvimento

por governantes da época.

Os autores Rogers e Tibben-Lembke (1998 *apud* RAMOS, 2005, p. 19), afirmam que o processo reverso ocorre com o intuito de capturar valor ou de dar a disposição final adequada aos mesmos, e quando utilizada na forma de descarte correto dos materiais, auxilia as pessoas possibilitando um acréscimo na renda familiar.

Quanto ao reaproveitamento, de material, Leite (2009, p. 15) afirma:

O fato é que depois de serem consumidos os produtos em geral são descartados por algum motivo, não apresentando benefício para seu criador e não direcionando o processo logístico reverso regulamentado, acabam por esquecidos ou abandonados em locais inapropriados.

A Logística Reversa, a cada dia que passa apresenta-se como forma alternativa. Do ponto de vista do autor Stock (2001, p.47) a Logística Reversa é um modelo sistêmico que aplica melhores métodos de engenharia e da administração logística, assim fechando o ciclo do Suplly Chain (um termo em inglês que significa literalmente cadeia de suprimentos. O Suplly faz referência aos diversos processos envolvendo as etapas desde a matéria-prima até a chegada ao consumidor final.

Nos conceitos de Lambert *et al.* (2003), a Logística Reversa volta a sua ética para vertentes como reciclagem, reaproveitamento de materiais, reutilização e descarte, considerando questões importantes para a interação com as atividades logísticas de suprimentos, armazenamento, transportes, embalagem à medida que o fluxo reverso de materiais sucede.

Para Cárter e Ellram (1998), a logística reversa é a distribuição reversa adicionada de uma redução de recursos. Tal afirmação coincide em partes com a definição do autor Stock (1998), ao definir logística reversa no retorno de produtos, delimitação na fonte, a reciclagem, a permuta de materiais, a composição de resíduos, a conversão, a restauração e remanufatura.

Fleischman (*apud* PALHARES, 2006, p. 6) definem Logística Reversa como:

Logística Reversa é o processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz do fluxo de entrada e armazenamento de materiais secundários e informações relacionadas, opostas à direção tradicional da cadeia de suprimentos com o propósito de recuperar valor ou descartar materiais.

Classificação do lixo hospitalar e seu descarte correto

Quando nos reportamos ao lixo hospitalar, estamos incluindo diversos tipos de materiais, que na sua maioria são materiais biologicamente contaminados como sangue, seringas, materiais plásticos, materiais contaminados com substâncias tóxicas, materiais inflamáveis, entre outros.

Lixo hospitalar são os resíduos de saúde que são gerados nos locais onde acontecem os atendimentos à saúde humana e animal. São resíduos de um potencial bastante contaminante biologicamente, ocasionando, até mesmo, risco à saúde das pessoas.

O lixo hospitalar engloba os materiais que são descartados pelos estabelecimentos de saúde, como hospitais, laboratórios, ambulatórios, clínicas, postos de saúde, necrotérios,

farmácias.

A Associação Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2010) classifica o lixo hospitalar em cinco grupos:

Grupo A: materiais que apresentam risco biológico, como bactérias, vírus e fungos.

Grupo B: matérias que apresentam risco químico, com características corrosivas, inflamáveis, de reatividade e toxicidade.

Grupo C: incluem-se neste grupo os materiais com risco radioativo.

Grupo D: incluem-se neste grupo os materiais comuns, podendo equipará-los aos resíduos domiciliares.

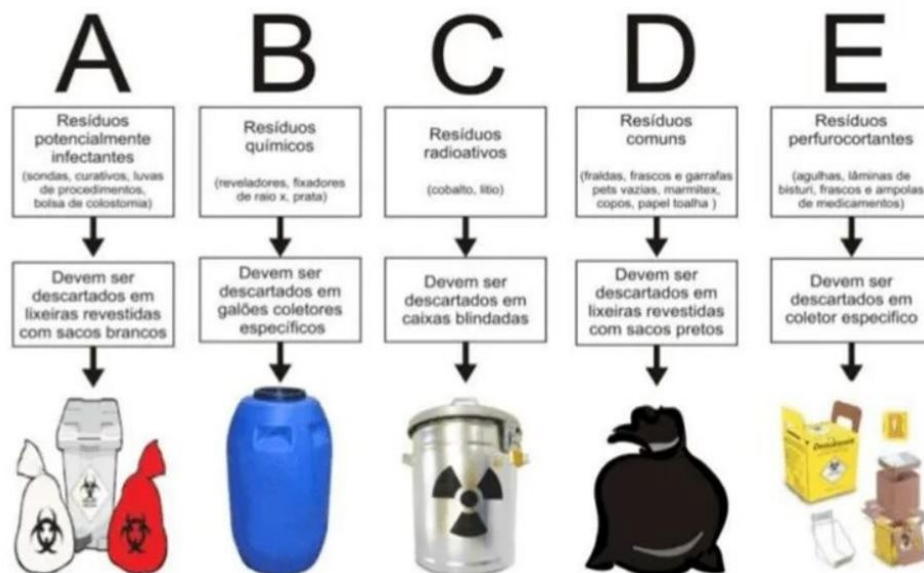
Grupo E: último grupo, que inclui os objetos perfurocortantes.

Observa-se a necessidade da separação do lixo utilizado em clínicas médicas, para garantir a segurança dos funcionários que lidam com o manuseio e descarte desses resíduos.

A ANVISA atribui a clínica a responsabilidade pela forma de manusear, coletar, transportar, valorizar, tratar e descartar os seus produtos.

A figura abaixo demonstra o descarte da forma correta dos devidos materiais citados acima:

Figura 1 - Classificação dos resíduos e seu descarte correto.



Fonte: ARDODE: Tratamento de Resíduos Hospitalares

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

Em 2010 foi instituída a Lei nº 12.305 que visa sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa Lei nº 12.305 visava determinar diretrizes e procedimentos na utilização de tecnologias, visando atividades de reutilização e tratamento dos semissólidos.

A referida Lei nº 12.305, define Logística Reversa como:

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.

Em sua publicação orienta os empresários a efetuarem corretamente seus resíduos. Sua aplicação estende-se a pessoas físicas ou jurídicas, tanto do setor público, quanto do setor privado, responsáveis direta ou indiretamente pelas ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento (BRASIL, 2010).

Em 2022, A Lei nº 12.305/2010 foi regulamentada, em termos normativos com a edição do Decreto nº 10.936/2022. Nesse mesmo ano, o Decreto nº 11.043/22 instituiu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). O PLANARES, um instrumento importante, que estabelece as estratégias, diretrizes e metas para o setor, num horizonte de 20 anos.

O PNRS determina que é responsabilidade das empresas o descarte correto dos resíduos utilizados, ou seja, desde o início da utilização até a disposição final, colaborando no sentido de motivar ações que estabeleçam a conscientização, à proteção, conservação e valorização dos aspectos ambientais.

Para Leite (1998), os resíduos sólidos dependem da capacidade dos sistemas tradicionais de disposição que já estão no seu limite, necessitando, portanto, de alternativas para a destinação final de bens de pós-consumo, a fim de minimizar o impacto ambiental gerado por eles.

DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

A proteção ambiental pressupõe a prática de proteger o ambiente natural e organizacional para benefício da natureza e das pessoas que convivem nele, tendo em vista que a ação humana impacta reflete em questões ambientais, podendo prejudicar o ambiente terrestre.

No ano de 2022, o mundo viveu a retomada das atividades pós-pandemia da Covid-19, com diferentes dinâmicas em comparação ao ano de 2021. A área de limpeza urbana e manejo de resíduos, a flexibilização das medidas de distanciamento e isolamento social e o fim das restrições que ainda perduravam em alguns setores, por exemplo de comércio, alimentação, educação e entretenimento, impactaram diretamente a maneira de gerar e descartar materiais.

O trabalho realizado em clínica médica envolve iniciativas relacionadas à logística reversa, pois estimulam novas iniciativas, e assim, nas afirmações de Lacerda (2000, p. 54) as iniciativas relacionadas à logística reversa têm trazido consideráveis retornos empresariais, justificando os investimentos realizados e estimulando novas iniciativas, mas que a maior ou menor eficiência no procedimento de logística reversa dependerá de como este é planejado e controlado.

Na clínica, os materiais infectantes são separados por sacos plásticos brancos,

dentro de cada consultório tem dois tipos de cesto de lixo, os brancos são para descarte dos médicos, onde eles jogam luvas, lençol de macas, algodão, palitos etc.

Nos sacos pretos, jogam papéis, isopor, caixas vazias de algum produto e copos de café vazio. Dentro de cada sala tem uma caixa de descarpex onde são colocadas agulhas e luvas que foram usadas em algum procedimento pelos médicos ou enfermagem.

Esses descartes previnem acidentes que possam atingir os profissionais que ali trabalham diretamente nos processos de coleta seletiva do lixo hospitalar, envolvendo armazenamento, transporte, tratamento e destinação final desses resíduos. Tudo isso levamos à conscientização de que quando, ao final de sua vida útil, o produto oferecer danos ao meio ambiente, serão necessários mais esforços na utilização dos processos reversos.

E assim, as informações apresentadas no presente artigo demonstram que a clínica médica a qual serviu de modelo para a composição e elaboração do presente trabalho, realiza os procedimentos e os descartes de materiais não infectantes conforme com as normas estabelecidas pelos órgãos competentes, contribuindo com a responsabilidade empresarial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O nosso planeta necessita da nossa contribuição no sentido da preservação, tendo em vista, que o modo como lidamos com os lixos que produzimos, separando o lixo orgânico dos recicláveis limpos contribui para a preservação ambiental.

Devemos entender e aprender a desvendar a separação dos materiais que podem ser reutilizados ou reciclados, a fim de entendermos os benefícios gerados com essa ação. A reciclagem é feita utilizando diversas técnicas e atividades com a finalidade de reaproveitar e reutilizar os resíduos da coleta seletiva novamente nos ciclos de produção.

Zucatto, Welle e Silva (2012), afirmam que a legislação brasileira, em determinadas situações, obriga indústrias e outros setores da cadeia produtiva a dar um destino adequado a determinados produtos após o final de seu descarte.

Pensando na clínica que serviu de base para o referido artigo, há possibilidades de sugestão para fazer a logística reversa, no sentido de organizar e dar mais atenção aos lixos que são descartados na calçada, pois, todos os dias são deixados na calçada muitas caixas vazias, galões vazios, os papéis e petes são largados ali na expectativa de que algum coletor passe e retire esse lixo. No entanto, esse material permanece ali por vários dias, e acaba atraindo insetos e animais que vem procurar restos de comida, sem contar com a chuva, que contribui para que tudo vire uma sujeira só.

Diante do exposto, é plausível uma análise e reflexão sobre o descarte correto de materiais não infectantes utilizados em clínicas médicas, a fim de que haja uma mudança de paradigmas e ações, que culminem para o futuro de uma geração consciente e habituada à prática da Logística Reversa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando nos remetemos ao termo sustentabilidade, estamos nos referindo não somente aos aspectos ambientais, mas também na redução dos impactos ambientais, vista como uma ferramenta que norteia as ações humanas.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos, produzidos pela ABRELPE, o ano de 2022, foi histórico para gerar resíduos, tendo em vista que o PLANARES estabeleceu estratégias, diretrizes e metas para o setor, num horizonte de 20 anos.

Vale destacar que o isolamento social demonstrou que as ações humanas e econômicas desencadearam sérios problemas aos recursos naturais. O Desenvolvimento Sustentável é um conceito que engloba não somente a utilização dos recursos naturais de um modo racional, quanto também o crescimento social, econômico e a conservação ambiental.

Durante o ano de 2022, o Brasil alcançou um total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 1.043 kg de resíduos por dia.

Conclui-se, desta maneira, a preocupação dos usuários, para a efetiva concretização do esforço conjunto colocando à disposição daqueles que utilizam os serviços de saúde um instrumento prático para gerir os riscos sanitários, contribuindo para fortalecer ações seguras e acesso à informações atualizadas.

Cabe a nós planejar, implementar e dirigir nossas ações objetivando desencadear, apoiar e orientar o esforço de uma ação e reflexão na reutilização de matérias não infectantes nas clínicas médicas, no intuito de garantir uma aprendizagem efetiva, assumindo o papel de contribuir para um mundo mais saudável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada Nº 222, de 28 de março de 2018. Brasília: ANVISA, 2018. Disponível em: < www.anvisa.gov.br/legis > Acesso em: 22 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019. São Paulo: ABRELPE, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10.004: Classificação de resíduos sólidos: Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, 1988. Disponível em: http://www.ubsf.org/pub_declaration_othvol61.htm. Acesso em 30 abr. 2023.

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. Brasília, D, F., 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 17, de 16 de abril de 2010, dispõe sobre Boas Práticas de fabricação de Medicamentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, D.F., 17 de abr. 2010 b.

CARTER, C. R. et ELLRAM, L. M. (1998). Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistic*. 1998.

CARTILHA DE ORIENTAÇÃO DE DESCARTE DE RESÍDUOS NO SISTEMA FMUSP – HC. Cartilha: publicação da Diretoria da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Diretor Executivo dos Laboratórios de Investigação Médica do Hospital das Clínicas – FMUSP e da Diretoria do Serviço de Verificação de Óbitos da Capital.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº 358 de 29 abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

DONAIRE, D. Gestão Ambiental nas Empresas. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

FULLER, D. A.; ALLEN, J. Reverse Channel Systems. *Environmental Marketing: strategies, practice, theory and research*. London: The Haworth Press, 1995.

GUARNIERI, P.; CHRUSCIACK, D.; IL.; HATAKEYAMA, K; SCANDELARI, L. WMS – Warehouse Management System: adaptação proposta para o gerenciamento da logística reversa. *Prod*. V. 16, n. 1. São Paulo, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA-CENTRO DE PESQUISA EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE DO IPEA. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. IPEA, 2020.

JACOBI, P. Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade. *Caderno de Pesquisa*, São Paulo, n. 118, p. 189-205, mar. 2003.

LACERDA, L. Logística Reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. In: *Revista de Tecnologia Logística*. São Paulo: Ano VI, nº 74. janeiro/2000.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. *Fundamentals of Logistics Management*. Columbus, Mc Graw – Hill, 1993.

LEITE, Paulo Roberto. *Logística Reversa*, 2 ed. São Paulo: Pearson, 2009.

_____. Canais de distribuição reversos: conceito. *Revista Tecnológica*, São Paulo, mar. 1998.

_____, P. R. *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo: Prentice Hall, 2003. Associação Brasileira de Logística.

Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em 02 mai. 2023.

NASCIMENTO, C. R. Garcez; BORGHETTI, José Roberto. *Logística reversa de resíduos sólidos*. Curitiba: Senai, 2018.

- NETO, O. G. Z.; DEL PINO, J. C. Trabalhando a química dos sabões e detergentes. Porto Alegre: UFRGS, 2011.
- NOVAES, Antônio Galvão. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. 5ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- NOVAES, Antônio Galvão. Logística e gerenciamento de cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- NUNES, I. A. Reciclagem de óleo Residual de Fritura nas Indústrias Alimentícias: Um Estudo de Caso, 2011. Monografia de curso de Bacharel em Administração, Universidade Brasília.
- RIBEIRO, E. de O. Aranha; VIEIRA, R. Kennedy. Logística reversa aplicada a clínica odontológica: estudo de caso. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXXVI, 2016, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ENEGEP, 2016.
- ROGERS, D. S.; TIBBEN – LEMBKE, R. S. Going Backwards: Reverse Logistics Practice. In: Reverse Logistics Executive Council. 1999.
- SCHNEIDER, V. E. *et al.* Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde. 2. ed. rev. E ampl. Caxias do Sul: EDUCS, 2004, p. 23-118.
- SEGATTO, F. B. B. Conhecendo as Formas de Descarte do Óleo Saturado de Cozinha para verificar a Educação Ambiental na Escola. Revista de Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 10. n. 10. 2013.
- STOCK, J. R. Development and Implementation of Reverse Logistics Programs. Council of Logistics Management, 1998, 247p.
- ZUCATTO, L.; WELLE, Iara; SILVA, T. N. Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. RAE – Revista de administração de Empresas | FGV – EAESP. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0034-75.902013000500003. Acesso realizado em 24 abr. 2023.

Capítulo 10

Reutilização de detritos de indústria de pré-fabricados para fabricação de novos elementos construtivos sem função estrutural

Reuse of waste from the prefabricated industry to manufacture new construction elements without structural function

Diego de Moura

Graduação em Engenharia Civil - Faculdade Educacional de Medianeira, Medianeira, 2023

Eduardo Damin

Faculdade Educacional de Medianeira, Medianeira, 2023

RESUMO

A indústria da construção civil vem passando por uma crescente e acelerada movimentação, com o processo de urbanização e adensamento dos centros urbanos, a produção de resíduos da construção civil sem uma destinação específica vem crescendo acentuadamente, proporcionando assim diversos problemas ambientais. A grande maioria dos resíduos são dispostos de forma ilegal em lugares não adequados como, terrenos baldios, leitos de rios, vias e espaços públicos. A solução visada para enfrentar essa problemática, seria focar na disposição e manuseio adequado, além do reaproveitamento e reciclagem dos resíduos. Entre as alternativas, a utilização dos resíduos da construção civil (RCC), na substituição por agregados que serão aplicados na produção do concreto, representa uma diminuição dos custos da matéria-prima, além de introduzir uma condição de desenvolvimento sustentável, buscando também uma viabilidade financeira com um ganho econômico com o reaproveitamento desses resíduos como novos elementos com RCC. No estudo foi realizada toda a caracterização dos agregados e do RCC, com ensaios de granulometria e índice de vazios, após foi desenvolvido o traço substituindo o agregado graúdo pelos resíduos, nas porcentagens de 0%, 5%, 10%, 20% e 30%. Com isso foram moldados os corpos de prova para ensaio de resistência

Engenharia de materiais e meio ambiente reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios - Vol. 4

DOI: 10.47573/aya.5379.2.248.10



a compressão axial. No ensaio foi possível verificar uma linha de tendência, que apresenta um declínio na resistência a compressão axial conforme o aumento da substituição do RCC, possuindo médias de 7,54 MPa para 0%, 5,96 MPa para 5%, 4,45 MPa para 10%, 3,22 MPa para 20% e 2,53 MPa para 30%. Sendo possível analisar que a utilização de RCC não apresentam bom desempenho comparado com os agregados naturais, mas na utilização como blocos ecológicos, que devem possuir resistência superior a 2,0 MPa conforme norma, acaba se tornando uma alternativa viável visando um ganho socioambiental e econômico.

Palavras-chave: RCC. resíduos da construção civil. reaproveitamento.

ABSTRACT

The construction industry has been undergoing a growing and accelerated movement, with the process of urbanization and densification of urban centers, the production of construction waste without a specific destination has been growing sharply, thus causing several environmental problems. The vast majority of waste is disposed of illegally in unsuitable places such as vacant lots, riverbeds, roads and public spaces. The solution aimed at tackling this problem would be to focus on proper disposal and handling, as well as reusing and recycling waste. Among the alternatives, the use of civil construction waste (CCW) to replace aggregates that will be used in the production of concrete represents a reduction in raw material costs, in addition to introducing a condition of sustainable development, also seeking financial viability with an economic gain from the reuse of this waste as new elements with CCW. The study carried out all the characterization of the aggregates and RCC, with particle size and void ratio tests, after which the mix was developed, replacing the coarse aggregate with the waste, in percentages of 0%, 5%, 10%, 20% and 30%. The specimens were then molded for the axial compressive strength test. The test revealed a trend line showing a decline in axial compressive strength as RCC replacement increased, with averages of 7.54 MPa for 0%, 5.96 MPa for 5%, 4.45 MPa for 10%, 3.22 MPa for 20% and 2.53 MPa for 30%. It is possible to analyze that the use of RCC does not perform well compared to natural aggregates, but when used as ecological blocks, which must have resistance greater than 2.0 MPa according to the standard, it ends up becoming a viable alternative aimed at a socio-environmental and economic gain.

Keywords: RCC. construction waste. reuse.

INTRODUÇÃO

Com a crescente e acelerada movimentação no processo de urbanização dos centros urbanos, a produção de resíduos da construção civil sem uma destinação específica vem crescendo exponencialmente, proporcionam assim diversos problemas ambientais.

De acordo com Alvez (2022), os principais impactos ambientais gerados pelo RCC, vem de grande maioria pelo volume disposto de forma ilegal e em lugares não adequados como, terrenos baldios, ruas e leitos de rios. O descompromisso dos geradores desses detritos sem uma destinação específica, podem provocar diversos impactos ambientais,

como a obstrução de sistemas de drenagem, galerias e sarjetas, ocupação de logradouros, vias e espaços públicos, proliferação de agentes transmissores de doenças, existência e acúmulo de resíduos que podem gerar risco por sua periculosidade.

A solução visada para enfrentar essa problemática, seria focar na disposição dos resíduos, em um manuseio adequado, além do reaproveitamento e reciclagem.

Conforme Santos (2020), entre as alternativas na utilização de RCC, a substituição dos agregados que serão aplicados na produção do concreto, se demonstra bem chamativa, além da diminuição dos custos da matéria prima, também introduz a empresa em uma condição de desenvolvimento sustentável.

Para Meireles (2022), a viabilidade financeira é algo que também deve ser analisado em todo o processo para reaproveitamento dos resíduos, devem ser verificadas as utilizações finais do reciclável, buscando justamente a finalidade com um ganho econômico e bem-estar socioambiental.

Com isso, o presente trabalho buscou soluções para o reaproveitamento de resíduos da construção civil, visando dar um destino específico e correto, com a confecção de elementos que poderão trazer um retorno socioambiental e econômico para indústria de pré-fabricados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando os impactos ambientais gerados pelo setor ou as reduções de custos com as matérias primas. Dentre esses impactos ambientais conforme pesquisas realizadas sobre a extração e processamento de recursos naturais 40% das emissões de gases de efeito estufa estão relacionadas a construção civil (ONU, 2020).

Além disso, com o crescimento das áreas urbanas houve o aumento da geração de resíduos, dentre os quais, destacam-se, os resíduos resultantes das atividades de construção civil, que representam cerca de 50% a 70% dos resíduos gerados nos centros urbanos (IPEA, 2018).

O processo de criação novos materiais reciclados precisam ser feitos de forma cautelosa e criteriosa para garantir o sucesso destes produtos no mercado. Com isso estará sendo apresentado na revisão bibliográfica, uma breve descrição dos resíduos e benefícios da reciclagem, além de sua classificação e composição, com os estudos realizados com a utilização de RCC.

A identificação e quantificação dos resíduos disponíveis e determinar os dados quantitativos dos volumes de resíduos, além de seu volume de geração, e os possíveis locais de produção, tem grande importância para um cenário econômico relata Ramos (2019) em seu estudo na utilização de resíduos da construção civil.

Com isso é necessário desenvolver um procedimento de pesquisa para um desenvolvimento de um novo elemento, material ou produto a partir dos detritos coletados,

vindo a estabelecer uma alternativa ambientalmente segura para o mercado, sendo uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares afirma Ângulo (2021).

Impactos da geração de resíduos da construção civil

O impacto ambiental a partir da geração de resíduos da construção civil pode ser analisado sob a perspectiva de um ciclo de atividades desde a formulação do projeto, construção, operação, descomissionamento, desmontagem e disposição final dos resíduos, ou seja, os resíduos são gerados ao longo de todo o processo construtivo, desde a terraplenagem até a demolição. Outro impacto significativo dos resíduos de construção no meio ambiente está relacionado às questões de saúde urbana, uma vez que o descarte inadequado de entulhos pode danificar os sistemas de drenagem urbana, levando à propagação de doenças. Além disso, a ocorrência de inundações em áreas urbanas também está relacionada a esse fator. O principal impacto do RCC no ambiente e na sociedade urbana pode decorrer da eliminação irregular de resíduos.

Resíduos da Construção Civil (RCC)

Indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. Conforme Tessaro (2020), ela é responsável por um consumo em torno de 50% dos recursos naturais utilizados, com isso, um dos principais causadores de impactos ambientais dado pela quantidade de entulho ou resíduo gerado.

A disposição irregular desses resíduos pode gerar problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública pois nesses resíduos também há presença de material orgânico, produtos químicos, tóxicos e de embalagens diversas que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças e podem representar um grave problema em muitas cidades brasileiras, afirma Scremin (2019).

A geração de RCC é anterior ao início de qualquer obra ou serviço, se observarmos que a produção de insumos para a construção civil, além de consumir recursos naturais também produz resíduos.

De acordo com Lei Estadual do Paraná - LEI Nº 13.557/2005 de Resíduos Sólidos, os objetivos da Política Estadual são:

1. Preservar a saúde pública;
2. Proteger e melhorar a qualidade do meio ambiente;
3. Estimular a remediação de áreas degradadas;
4. Assegurar a utilização adequada e racional dos recursos naturais;
5. Disciplinar o gerenciamento dos resíduos;
6. Estimular a implantação, em todos os municípios catarinenses, dos serviços de gerenciamento de resíduos sólidos;
7. Gerar benefícios sociais e econômicos;

Os resíduos são provenientes a vários tipos de componentes, com percentuais que

podem variar de acordo como tipo de obra em execução, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Percentual fonte geradora de componentes dos RCC.

Componentes	Trabalhos rodoviários (%)	Escavações (%)	Sobras de demolições (%)	Obras diversas (%)	Sobras de limpeza (%)
Concreto	48	6,1	54,3	17,5	18,4
Tijolo	-	0,3	6,3	12,0	5,0
Areia	4,6	9,6	1,4	3,3	1,7
Solo, poeira, lama	16,8	48,9	11,9	16,1	30,5
Rocha	7,0	32,5	11,4	23,1	23,9
Asfalto	23,6	-	1,6	1	0,1
Metais	-	0,5	3,4	6,1	4,4
Madeira	0,1	1,1	1,6	2,7	3,5
Papel/ Material Orgânico	-	1,0	1,6	2,7	3,5
Outros	-	-	0,9	0,9	2,0

Fonte: Rosado e Penteado (2020).

Classificação RCC

Os resíduos da construção civil são categorizados conforme o conselho nacional do meio ambiente (CONAMA), órgão responsável pela adoção de medidas de natureza consultiva e deliberativa, que classificada conforme resolução n° 307/2002, que descreve os materiais de acordo com sua classe.

Devido a possibilidade de contaminação dos resíduos, é necessário classificar os materiais, de acordo com sua classe e sua destinação. De acordo com CONAMA, RCC são classificados como classe A, de acordo com o exemplo do Quadro 2.

Quadro 2 - Classe resíduos Conama.

CLASSE	DESCRIÇÃO DO RESÍDUO	EXEMPLO
A	Materiais que podem ser reciclados ou reutilizados como agregado em obras de infraestrutura, edificações e canteiro de obras.	Tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos; blocos e tubos de concreto e argamassa.

Fonte: Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002).

De forma geral, os resíduos sólidos da construção civil, são vistos como resíduos de baixa periculosidade, sendo o impacto causado pelo grande volume gerado, sendo definido, de acordo com o Quadro 3, Classe II B.

Quadro 3 - Classificação dos resíduos sólidos NBR 10004/2004.

Classificação	Descrição
Classe II - Não Perigosos	Classe II B - Inertes: Com componentes de água destilada ou deionizada a concentrações maiores que padrões de potabilidade de água.

Fonte: ABNT NBR 10004, 2004.

Para o tipo de destinação seria a classe A conforme Quadro 4, que são materiais destinado a reciclagem na forma de agregado.

Para Ângulo (2021), a caracterização do resíduo é fundamental, através de ensaios

e métodos, buscando as características químicas e físicas com as propriedades dos resíduos com os métodos apropriados. Tais ensaios darão os resultados das possíveis aplicações dos resíduos.

Quadro 4 - Formas de destinação dos resíduos da construção civil

Classes	Destinação
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: TESSARO, 2020.

Tijolo ecológico

Os tijolos ecológicos são assim chamados porque evitam a utilização do processo de queima de madeira e combustível, evitando corte de árvores e emissão de monóxido de carbono na atmosfera.

De acordo com pesquisa realizada por Fiais (2019), foi analisado a produção de tijolos ecológicos produzidos pela empresa Tijológico Aracanguá situada na cidade de Santo Antônio do Aracanguá-SP. Nesse estudo foram analisados os ensaios de resistência a compressão axial, e absorção de água, no ensaio de compressão conforme Tabela 1, foram usados como amostras 7 corpos de prova, apresentando os seguintes resultados:

Tabela 1 - Ensaio de compressão axial, tijolos ecológicos.

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Resistência à Compressão (MPa)
M1	16770,00	3,47
M2	16384,00	2,50
M3	16065,50	2,26
M4	16002,00	2,13
M5	16002,00	2,43
M6	16000,00	2,77
M7	16000,00	3,52

Fonte: Resultados obtidos no laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Toledo de Araçatuba-SP.

Fonte: FIAIS (2019).

O resultado médio dos valores para resistência a compressão foi de 2,725 MPa, sendo o valor individual de 2,13 MPa, se sobressaindo a resistência mínima apresentada pela NBR 8491:2012.

O tijolo ecológico sendo uma alternativa viável para construções, um dos métodos de confeccionar é agregar resíduos da construção em seu traço.

No estudo realizado por Santos, Nepomuceno e Lima (2023), com tijolos ecológicos

fabricados com agregados de resíduo da construção civil (RCC) de classe A, conforme resolução 307:2012 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

O traço do tijolo ecológico utilizado foi (1:1,35:4,23:3,42), respectivamente cimento, pó de resíduo de tinta, areia e pedrisco, relação água/cimento 0,48. A avaliação dos tijolos quanto a resistência à compressão axial foi estipulado conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados compressão axial, tijolo ecológico com RCC.

Traço 1:9	Resistência à compressão axial em MPa	Desvio Padrão (%)	Absorção por imersão %	Massa específicas em (g/cm ³)	Índice de vazios (%)
7 dias	3,8	0,17	12,16	2,81	12,11
14 dias	4,4	0,24	12,03	2,81	12,16
28 dias	4,5	0,62	11,61	3,03	13,14
180 dias	4,9	0,109	15,04	2,14	17,84

Fonte: Santos et al. (2023)

Conforme estudo de Machado (2017), que realizou o estudo da resistência à compressão de tijolos ecológicos utilizando resíduos de construção de demolição RCD, aonde utilizaram porcentagens de substituição de 10%, 20% e 50%, com cura de 07 e 14 dias. A peneira de resíduos que foi utilizada no processo foi a de 4,8mm, o resultante de peneiramento foi utilizado na mistura para produção do tijolo ecológico. Aonde após a elaboração das amostras foi realizado o teste de resistência à compressão, apresentando os seguintes dados conforme Quadro 5:

Quadro 5 - Ensaio de resistência a compressão, tijolos.

AMOSTRAS	Tijolo com 10%		Tijolo com 20%		Tijolo com 50%	
	7 Dias	14 Dias	7 Dias	14 Dias	7 Dias	14 Dias
1ª amostra	1,73 MPa	1,78 MPa	1,79 MPa	1,83 MPa	1,94 MPa	2,02 MPa
2ª amostra	1,65 MPa	1,69 MPa	1,70 MPa	1,74 MPa	1,97 MPa	2,01 MPa
3ª amostra	1,68 MPa	1,74 MPa	1,71 MPa	1,72 MPa	2,00 MPa	2,05 MPa
4ª amostra	1,70 MPa	1,75 MPa	1,76 MPa	1,74 MPa	2,02 MPa	2,00 MPa

Fonte: MACHADO (2017).

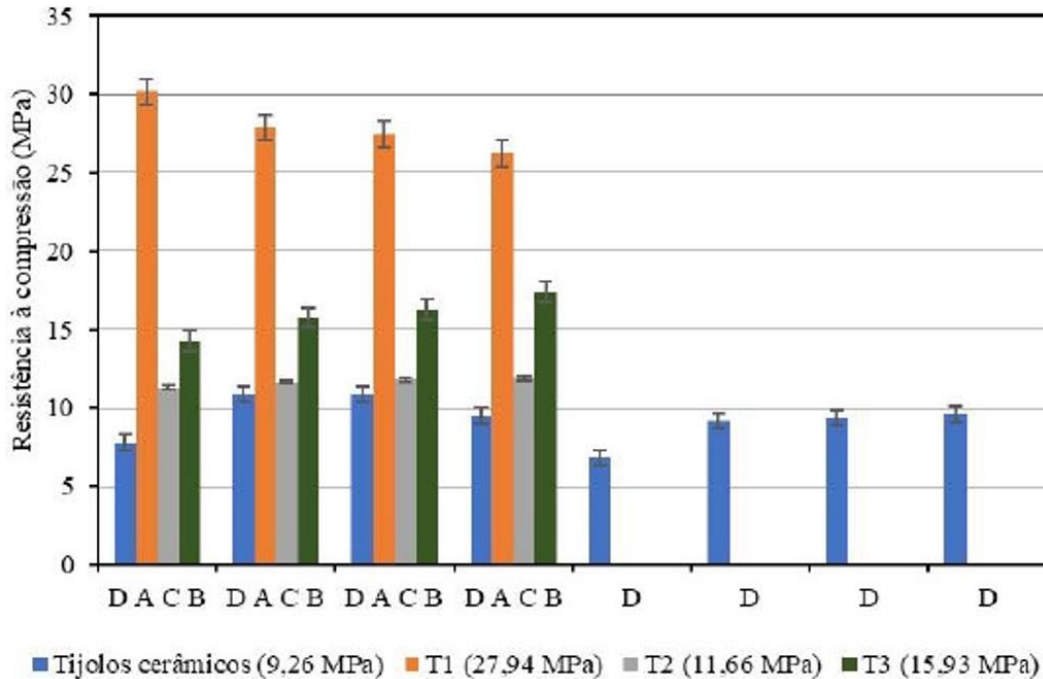
Os resultados apresentados, no estudo verifica que para tijolos com 50% de substituição pelo RCD, com 14 dias de cura, se torna uma alternativa válida de acordo com a NBR 8491:2012, trazendo assim um destino para os resíduos.

Os resultados da pesquisa de Souza (2018), aonde realizaram o estudo de substituição do agregado graúdo na confecção de blocos de concreto, aonde buscou utilizar como agregados resíduos de blocos cerâmicos, que após ser triturado passou pela peneira 9,52mm e ficou retido na peneira de malha 4,75mm.

Para confecção dos corpos de prova, foi utilizado o traço de referência 1:3:2:0,8 (cimento/areia/brita/água/cimento), sendo denominado RTM1 RDC agregado graúdo, e RTM2 RDC agregado miúdo, sendo utilizado substituições de 80%. Foi realizado os ensaios a resistência compressão dos tijolos maciços cerâmicos, seguindo orientações da NBR 15270-1:2017, sendo utilizado os seguintes percentuais de substituição:

1. Traço T0, foi o traço padrão utilizado de referência.
2. Traço T1, foi realizado a substituição do agregado miúdo pelo RDC em 80%
3. Traço T2, foi realizado a substituição do agregado graúdo e miúdo pelo RDC em 80% do seu traço inicial.
4. Traço T3, foi realizado a substituição do agregado miúdo pelo RDC em 100%.

Gráfico 1 - Ensaio de resistência a compressão axial.



Fonte: SOUZA (2018)

Sendo assim foi possível verificar, que o traço de referência obteve a resistência a compressão de 9,26 MPa, na amostragem T1 foi possível verificar quanto maior a substituição do agregado miúdo, maior é a resistência à compressão. Na amostragem T2, é possível analisar que na substituição do agregado graúdo, teve um declínio na resistência a compressão 11,66 MPa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Serão apresentados nesse item, as características e descrição dos materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, além dos procedimentos iniciais para caracterização dos materiais que serão usados nos ensaios, para obtenção das propriedades físicas e mecânicas.

Procurou-se pesquisar a classificação e aproveitamento dos resíduos junto as pesquisas mais recentes voltadas para a reciclagem, reaproveitamento e reutilização dos diversos materiais usados para construções, bem como as normas que regem os diversos processos de reaproveitamento.

Resíduos da Construção Civil (RCC)

Os resíduos de construção civil (RCC), foram recolhidos na empresa Lajes Patagônica, com sede na cidade de Medianeira, Paraná. Esses resíduos eram corpos de prova, que tinham a serventia de controle de qualidade, analisando o desempenho com níveis de resistência e elasticidade do material, de acordo com parâmetros de aceitação.

Atualmente é realizado ensaios de aproximadamente 4.000 corpos de prova por mês, após ensaios são descartados sem um fim específico, as figuras 1 e 2, mostram os corpos e prova e o local aonde são descartados.

Figura 1 - Corpos de Provas



Fonte: Autor, 2023

Figura 2 - Local armazenamento



Fonte: Autor, 2023.

Areia Natural

Como o agregado miúdo natural, foi utilizado a areia média, de origem da cidade de Santa Helena – PR, que é comercializada na região oeste do Paraná, sendo de fácil obtenção.

Pedrisco

Utilizado como agregado graúdo, o pedrisco ou brita 0, por suas dimensões reduzidas, é bastante empregada na fabricação de vigas e vigotas, lajes pré-moldadas, tubos, blocos de concreto intertravado, jateamento em túneis e acabamentos em geral.

Material proveniente da pedreira Britaoeste, com sede na cidade de Matelândia – Paraná, com suas dimensões que variam entre 4,8mm a 9,5mm usada em obras de infraestrutura urbana e no preparo de paralelepípedos, manilhas, chapiscos em paredes e em concretos de armação de baixas espessuras.

Cimento

O cimento utilizado para realização do estudo foi o cimento Portland CP II-Z 32, que leva em sua composição, de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático.

Procedimento metodológico

Para atingir os objetivos previsto no desenvolvimento do estudo, foi ilustrado de um fluxograma com os passos seguidos. Sendo uma pesquisa caracterizada como qualitativa, utilizando de materiais bibliográficos para os procedimentos e ensaios realizados.

Os corpos de prova coletados foram destinados a britagem, e sequentemente realizado a caracterização para obter as propriedades físicas dos agregados naturais e reciclados, com a execução dos ensaios de granulometria, massa unitária e do índice do volume de vazios.

Britagem do RCC

Os resíduos foram encaminhados para o processo de britagem no triturador de entulho modelo TE2 da CSM (Figura 20), que se encontra no laboratório da UDC Medianeira. O material foi seco em estufa por 24 horas com a temperatura de 105°C, seguindo o método de determinação de umidade por secagem, terminando esse intervalo de tempo, o material foi pesado, e realizado as pesagens, atingindo a massa constante.

Figura 3 - Britagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2023.

Elaboração ensaio de granulometria

Foi realizado o ensaio de granulometria conforme ABNT NBR 248/2003, com esse ensaio foi possível determinar a composição granulométrica, o módulo de finura dos agregados e dimensão máxima característica.

O ensaio se dá em colocar uma amostra de material, no conjunto de peneiras conforme figura 4, e com o agitador mecânico durante um período até que não haja mais grãos passantes entre as peneiras de dimensões diferentes, permitindo uma classificação

de diferentes tamanhos de grãos. Após agitação foram pesados os volumes de que pararam em cada peneira e com isso elaborado a curva granulométrica.

Figura 4 - Ensaio de granulometria do RCC.



Fonte: Autor, 2023.

Com os resultados obtidos do ensaio de granulometria, foi definido os traços a serem seguidos com as porcentagens diferentes do RCC, em sequência a realização da moldagem dos elementos, que foram analisados as propriedades mecânicas no estado endurecido entre o período 28 dias.

Elaboração traço pelo método de proporcionamento

A partir da análise granulométrica, foram analisadas as curvas granulométricas, seguindo as determinações de Fernandes (2019), analisando a variação de porcentagem de cada peneira pela porcentagem retida acumulada utilizando o *software Excel®*. Com os dados obtidos de cada gráfico foi desenvolvido o resultado para definição do traço a ser seguido.

Moldagem dos corpos de prova cilíndricos

Seguindo a ABNT NBR 5738/2015, com o procedimento de para moldagem e cura de corpos de prova, os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos, com formato de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, foram moldados 3 unidades para cada porcentagem de substituição, 5%, 10%, 20% e 30%, no processo de moldagem foi seguido o adensamento manual, com 2 camadas, e utilizando a haste metálica foi aferido 12 golpes de forma uniforme em cada camada, e após moldagem ficaram 24 horas em superfície horizontal rígida, livre de qualquer ação para vibrar ou perturbar o concreto, protegido de intempéries evitando qualquer perda de água do concreto. Os corpos de prova foram

identificados de acordo com as porcentagens de substituição, e submersos durante de 28 dias.

Ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos

Após o tempo de cura dos corpos de prova (CP), foi realizado a execução dos ensaios de compressão axial, foram seguidos os procedimentos de acordo com a ABNT NBR 5739, 2018, sendo realizado a retífica dos corpos de prova, buscando ter um bom acabamento superficial, para obtenção de um resultado mais preciso. Foi realizado as marcações dos resultados dos ensaios e seus respectivos tamanhos.

RESULTADOS

Com base nos ensaios realizados em laboratório, foi possível verificar o desempenho e características físicas dos Resíduos da Construção Civil. E conforme os procedimentos de cálculos normativos foram apontados os resultados.

Desenvolvimento britagem do RCC

Foi realizado a britagem utilizando o britador de mandíbulas, regulado para brita 0, sendo feito a passagem no processo de britagem para alcançar uma dimensão distinta, conforme figura 5.

Figura 5 - RCC de estudo triturado.



Fonte: Autor, 2023.

Ensaio de granulometria

A composição granulométrica representa uma proporção relativa entre os grãos de um determinado agregado, apresentando uma importante influência sobre a capacidade de resistência aos esforços mecânicos aos quais está sujeito. Foi possível analisar o grande

volume acumulado nos diâmetros de 6,3mm e 4,8mm. Além de poder analisar o módulo de finura a partir das peneiras da série normal, conforme tabela 3:

Tabela 3 - Resultado do ensaio da análise granulométrica do RCC triturado.

Peneira (mm)	% Retida Média	% Retida Acum. Média
75	0	0,00
37,5	0	0,00
19	2,69	2,69
12,5	10,41	13,09
9,5	13,84	26,94
6,3	24,08	51,02
4,8	14,52	65,54
2,4	12,56	78,10
1,2	7,71	85,80
0,6	4,12	89,92
0,3	3,67	93,59
0,15	2,89	96,48
Fundo	3,52	100,00
Total	100,00	

Dimensão máxima característica = 19mm
Módulo de Finura = 5,44

Fonte: Autor, 2023.

Definição de traço e percentuais de substituição

De acordo com o método de proporcionalmente o traço padrão estabelecido utilizando o software Excel®, para moldagem dos corpos cilíndricos. Foi realizado a substituição do agregado graúdo, por percentuais de substituição conforme tabela 4.

Tabela 4 - Traço utilizado para Corpos Cilíndricos

Traço Padrão	Cimento	Areia	Brita 0	A/C	RCC
0%	1	2,5	2,5	0,85	0
5%	1	2,5	2,375	0,85	0,12
10%	1	2,5	2,25	0,85	0,25
20%	1	2,5	2	0,85	0,5
30%	1	2,5	1,75	0,85	0,75

Fonte: Autor, 2023.

Ensaio de resistência a compressão corpos cilíndricos

Foi realizado o ensaio de resistência a compressão axial dos 15 corpos de prova moldados em laboratório, após o período de 28 dias.

Figura 6 - Ensaio prensa hidráulica, porcentagem 5%.

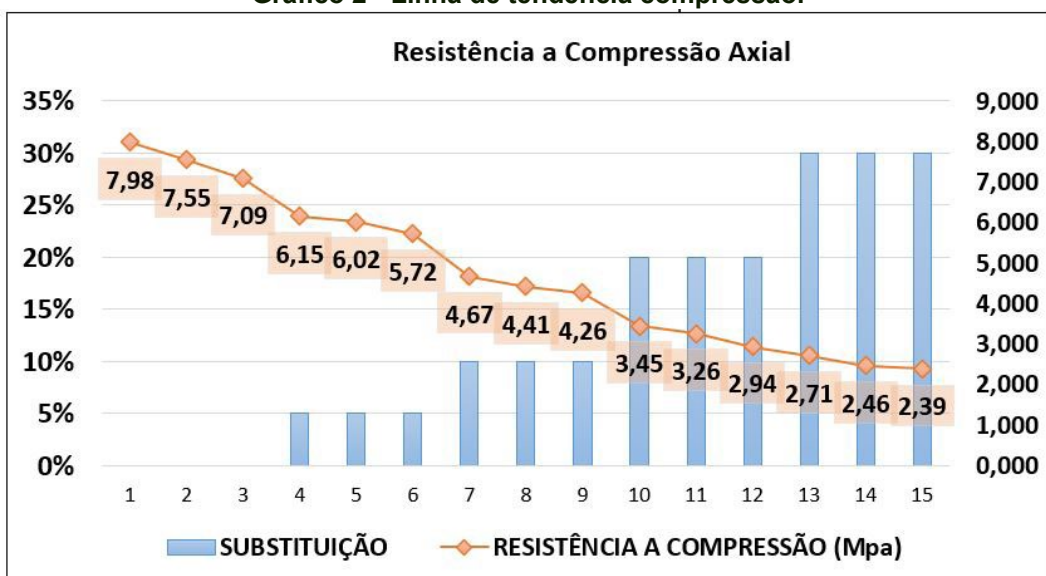


Fonte: Autor, 2023.

Conforme resultados apresentados no ensaio, foi possível verificar que existe uma linha de tendência, que apresenta uma baixa na resistência a compressão axial, com o aumento da porcentagem de substituição, aonde as médias apresentadas para cada porcentagem de substituição foram de:

1. Porcentagem de 0%, apresentou a média de 7,539 MPa.
2. Porcentagem de 5%, apresentou a média de 5,963 MPa.
3. Porcentagem de 10%, apresentou a média de 4,447 MPa.
4. Porcentagem de 20%, apresentou a média de 3,217 MPa.
5. Porcentagem de 30%, apresentou a média de 2,522 MPa.

Gráfico 2 - Linha de tendência compressão.



Fonte: Autor, 2023

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as características apresentadas no decorrer do estudo, fica evidente que pode-se produzir com sucesso, concretos com agregados reciclados de resíduos da construção civil. Porém, tem o conhecimento que esses concretos não apresentam um desempenho melhor, que os concretos produzidos com agregados naturais, em termo de resistência mecânica e de durabilidade.

Com base nos ensaios realizados de resistência a compressão dos corpos cilíndricos, foi possível analisar uma linha de tendência, que demonstra um declínio na resistência a compressão axial conforme o aumento da substituição do RCC, possuindo médias de 7,54 MPa para 0%, 5,96 MPa para 5%, 4,45 MPa para 10%, 3,22 MPa para 20% e 2,53 MPa para 30%. Sendo possível analisar que a utilização de RCC não apresentam bom desempenho comparado com os agregados naturais, mas na utilização como blocos ecológicos, que devem possuir resistência superior a 2,0 MPa conforme norma, acaba se tornando uma alternativa viável visando um ganho socioambiental e econômico.

Com base no estudo foi possível verificar que a utilização do RCC em percentuais desejáveis, é possível utilizar em aplicação não estruturais com elementos construtivos.

REFERÊNCIAS

ALVEZ, Renata Lorrana Castro. IMPACTOS CAUSADOS PELOS DESCARTES INADEQUADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO MUNICÍPIO DE ARIQUEMES – RO. 2022. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Unifaema, Ariquemes - Ro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação. Rio de Janeiro, 2004. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 16697: Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 16 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução nº 307/2002, de 05 de julho de 2002. DISPÕE SOBRE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. [S. I.], 2002.

FAQUIM, Gabriela Mayara. A Influência da Granulometria e da Massa Específica Aparente na Determinação de traços para Paviers dormidos moldados com resíduos de construção civil (RCC) misto. 2020. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira, Medianeira, 2020.

FERNANDES, Idário. Blocos e Paviers – Produção e Controle de Qualidade. 7 ed. Ribeirão Preto, Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda., 2019. 200p

FIAIS, Bruna Barbosa. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM TIJOLO ECOLÓGICO. Revista Engenharia em Ação Unitoledo, Araçatuba-Sp, p. 94-108, jul. 2019.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. 2018. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 01 abr. 2021.

MACHADO, Iago Ferreira. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS À PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. 2017. 65 f. - Curso de Engenharia Civil, Instituto Tecnológico de Caratinga – Itc, Caratinga – Mg, 2017.

MEIRELES, Jefferson Rodrigues. Reciclagem de Resíduos Sólidos da Construção Civil em parâmetro mundial. 2022. 63 f. Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia - GO, 2022.

RAMOS, B.F. (2019). Indicadores de qualidade dos resíduos da construção civil do município de Vitória-ES. 2019. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória

ROSADO, Laís Peixoto; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Municipal management of construction and demolition waste: influence of disposal fees. Ambiente & Sociedade, Limeira, v. 23, p. 75-86, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200032r1vu2020l6ao>.

SANTOS, Carlos Alberto (2020). Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. 2020. 168 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SCREMIN, L. B. Desenvolvimento de Um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição Para Municípios de Pequeno Porte. 152 f. Florianópolis, 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

Estudo de utilização de escória LD de aciaria para tratamento de efluentes da indústria de rochas ornamentais através da adsorção dos contaminantes no coproduto

Robson Salaroli

Faculdade do Centro Leste, Rod. ES-010, Km 06, S/N, Manguinhos, Serra – ES

Raylane Gonçalves de Oliveira

Faculdade do Centro Leste, Rod. ES-010, Km 06, S/N, Manguinhos, Serra – ES

RESUMO

O alto consumo de água e o descarte incorreto de resíduos gerados a partir do beneficiamento de rochas ornamentais tornaram-se grandes problemas ambientais. Atualmente, com o aumento da exploração desses minerais para a construção civil, o número de empresas extratoras tem-se tornado cada vez mais constante e os processos de tratamento convencionais demandam grandes espaços físicos e geram alto custo. Dessa forma o presente artigo presta-se ao objetivo de analisar amostras de efluentes gerados a partir do polimento de rochas ornamentais, propondo uma abordagem alternativa de tratamento utilizando escória de aciaria, visando estudar a eficiência do tratamento por meio de adsorção dos contaminantes no coproduto. A eficiência do processo foi constatada a partir de análises químicas e físico-químicas do efluente. O estudo também realiza a comparação da eficiência do processo a partir de testes de adsorção dos contaminantes em zeólitas clinoptilolitas utilizando as mesmas técnicas abordadas.

Palavras-chave: tratamento de efluentes. escória LD. escória de aciaria. lama de polimento de rocha. efluente. adsorção química.

INTRODUÇÃO

Através da norma 15012:2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT define rocha ornamental como um material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou formas de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética [1]. O termo compreende granitos, mármore e pedras como as ardósias, gnaisses e quartzitos, as quais podem ter funções estruturais ou decorativas. O mármore e o



granito são os mais conhecidos e difundidos pela utilização em revestimentos ou peças ornamentais. Seus principais setores de aplicação incluem uso em bancadas de pias, revestimentos, paredes, monumentos funerários, entre outras [2].

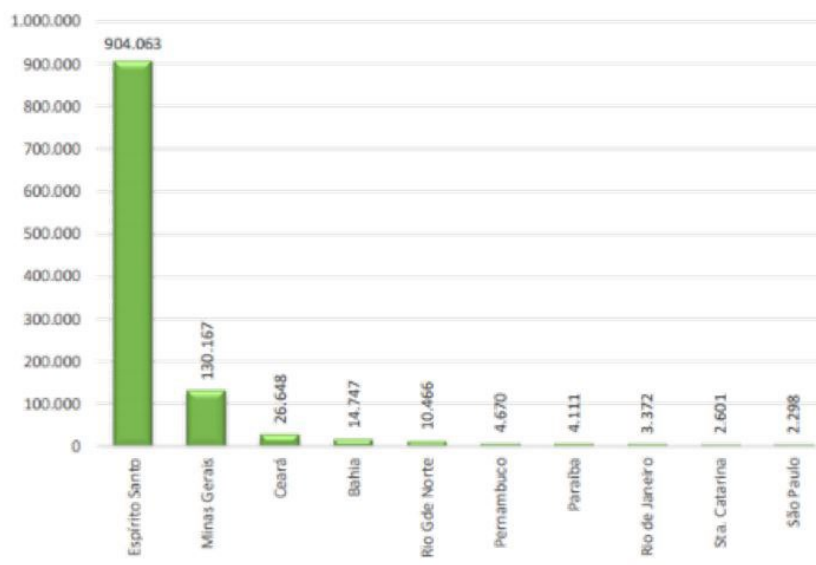
Comercialmente, as rochas ornamentais dividem-se em mármore e granitos. Os mármore compreendem as rochas carbonáticas, sendo um calcário metamórfico cristalino, basicamente constituído por calcita (CaCO_3) e os granitos são rochas silicáticas constituídas principalmente por feldspatos, quartzo e micas [3].

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2019), o Brasil está entre os cinco maiores produtores do mundo de rochas ornamentais, com participação de cerca de 5% da produção mundial de blocos de mármore e granito, movimentando cerca de US\$ 5,0 bilhões no ano de 2017 [4].

O estado do Espírito Santo destaca-se como principal produtor, processador e exportador do mercado nacional, exportando cerca de 1,5 milhões de toneladas de blocos e chapas ao ano [4].

A Figura 1 ilustra a posição de destaque do Espírito Santo em relação aos outros estados brasileiros.

Figura 1 - Principais estados exportadores em 2017 (US\$1.000) (ABIROCHAS, 2017) [4]



Mesmo que o estado e o país se beneficiem com este mercado, também sofrem com os problemas ambientais como a degradação do solo, contaminação de cursos de água e poluição atmosférica decorrentes da extração mineral e da geração e descarte de resíduos deste setor, principalmente no processo de beneficiamento [5].

Dentre os resíduos gerados pelo beneficiamento do produto, destacam-se as lamas de desdobramento e polimento, os casqueiros, as pastilhas de polimento, os cascos dentre outros; sendo a lama o principal resíduo gerado segundo o Instituto Euvaldo Lodi (IEL), em relatório do inventário de Resíduos do Setor de Rochas Ornamentais na Região da Grande Vitória [6].

O descarte inadequado desses resíduos pode desencadear sérios danos ao meio ambiente, uma vez que, por serem ricos em sais minerais, podem aumentar a vulnerabilidade

das plantas ao ataque de doenças com o seu excesso, além de ocasionar o aumento do teor de acidez do solo [7]. O descarte incorreto da água também se mostra como uma grande problemática, uma vez que esta poderia ser reutilizada no processo, após tratamento.

Segundo estabelece a Instrução Normativa Nº 019 de 17 de agosto de 2005 pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) no Artigo 11º [8] o não cumprimento das exigências pode acarretar na aplicação de penalidades previstas por lei, determinadas em função da degradação ambiental e da poluição causada pelo lançamento de efluentes industriais sem o devido tratamento e pela disposição de resíduos sólidos em desconformidade com as normas ambientais vigentes.

A escória LD é um produto de grande importância gerado a partir do refino primário, que ocorre na aciaria, durante o processo de produção do aço. Sua geração dá-se na faixa de 90 a 150kg por tonelada de aço produzido, dependendo das variáveis do processo. Baseado nesses resultados tem-se em vista a necessidade do estudo de meios para o aproveitamento desse resíduo formado [9].

Em 2004, bateu-se recorde de produção de aço bruto, produzindo 32,9 milhões de toneladas, originando também um recorde na produção de escória, 4,6 milhões de toneladas [10].

Em meio a essas questões, este artigo tem como objetivo estudar as propriedades adsorventes da escória LD a fim de utilizá-la como uma alternativa no tratamento de efluente gerado nas indústrias de beneficiamento de rochas.

O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Para se obter o granito é necessário extraí-lo das pedreiras, como mostra a Figura 2, em blocos compatíveis com o tamanho desejado para beneficiamento. Nas pedreiras brasileiras, a utilização da tecnologia de corte com fio diamantado começou na década de 90 e seu uso foi intensificado nos últimos 10 anos [11]. Hoje o fio diamantado é a tecnologia de corte de rocha ornamental mais difundida no mundo [12].

Figura 2 - Jazida de mármore, Cachoeiro de Itapemirim, ES.



Fonte: (BLOG IGEOLOGICO, 2016) [13].

O princípio básico de corte com fio diamantado é a translação deste, sob tensão,

quando enlaçado na rocha. Para isso, primeiramente, são realizados furos coplanares e perpendiculares que se interceptam nas extremidades. Em seguida o fio diamantado é introduzido dentro destes furos, as duas pontas são emendadas, formando um circuito fechado, e colocado sobre a polia motriz do equipamento de corte. O corte é efetuado com o movimento de translação do fio, tensionado, em contato com a rocha [11].

Durante o processo de corte é fornecida água ao sulco de corte, com a finalidade de refrigeração do cabo diamantado, evitando que o mesmo superaqueça e venha a romper e para a realização da limpeza das partículas provenientes do atrito entre o fio e a rocha.

Após separados das rochas, os blocos são direcionados para serrarias onde serão beneficiados. O processo de beneficiamento consiste em serrar os blocos em chapas e então submetê-las a acabamento superficial, com ou sem resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovação, flameamento ou de outros tipos.

O tipo de desgaste que ocorre no polimento de rochas ornamentais é o de abrasão. O processo de polimento e lustro de rochas ornamentais (Figura 3) caracteriza-se por ser uma série de operações que reduzem a rugosidade da superfície trabalhada com vistas a transformá-la em uma placa com brilho [14].

Figura 3 - Polimento de chapa de Granito



Fonte: (TASAICO, 2007) [15]

Para realização do polimento de rochas ornamentais, tais como os granitos e mármore, são usadas coroas (rebolos-sapatas) abrasivas, que são fixadas em cabeçotes rotativos (satélites), onde o principal elemento abrasivo utilizado nestas coroas é o carbeto de silício - SiC, embebido em matriz de cimento de magnésio (Sorel).

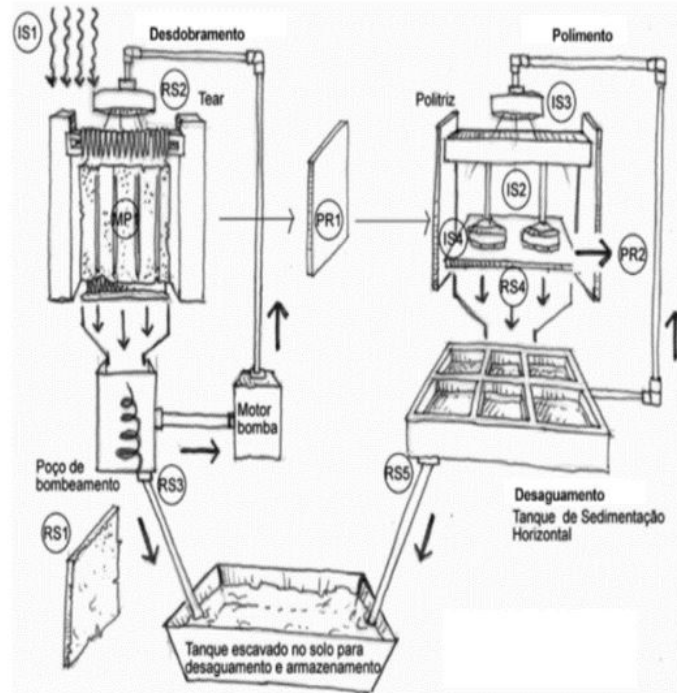
Durante o processo de polimento, água é utilizada a fim de minimizar o atrito com a superfície, diminuir a temperatura causada pela abrasão dos materiais e realizar a limpeza dos resíduos gerados pelo processo. Nesta etapa é gerada uma lama fluida, constituída por pó-de-rocha, agregada a outros produtos como restos de abrasivos, resinas e vernizes [16].

Devido ao pH excessivo, as águas de reuso produzidas normalmente são destinadas para tarefas de limpeza, pois a presença de cal propicia a rápida aparição de incrustações no interior das tubulações que as conduzem.

A superfície obtida neste tipo de acabamento é plana e lisa, utilizando-se para isso, sucessivas operações, em que a granulometria do abrasivo utilizado no rebolo decresce a cada operação. A caracterização da superfície é dada pela granulometria do último abrasivo utilizado [17].

A Figura 4 resume o processo produtivo do beneficiamento de rochas ornamentais.

Figura 4 - Processo produtivo típico de beneficiamento de rochas ornamentais – Desenho: Leonardo Izoton Braga.



Fonte: (BRAGA, et al., 2010) [2].

Na grande maioria das serrarias de pequeno porte, o efluente gerado pelo processo de polimento não possui tratamento específico, sendo canalizada para fora da zona de manuseio e armazenada em tanques de decantação, como nas Figuras 5 e 6, onde a água é reutilizada no processo, depois de decantada.

Figura 5 - Tanques de decantação.



Fonte: (TASAICO, 2007) [15]

Figura 6 - Tanque de decantação coberto. Estágio 01.

Fonte: [Do autor]

Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) [18], o descarte incorreto deste efluente pode provocar problemas ambientais, uma vez que este pode alterar o pH do solo, além de causar a acidificação do mesmo. Além disso, o excesso de Ca no solo reduz a absorção de Mg pelas plantas, induz a deficiência de Zn, K e Cu além de inibir a absorção de Nitrogênio (N) pelas folhas [7].

PROCESSOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ENFLUENTES GERADOS ATRAVÉS DO POLIMENTO DE ROCHAS

As empresas de beneficiamento de rochas ornamentais têm cada vez mais se preocupado com o aproveitamento sustentável dos resíduos gerados no processo. Dessa forma, são comuns nas maiores empresas do setor o uso de sistemas de coleta seletiva de material, reaproveitamento de cascalhos e lamas para construção civil, além de contarem com tanques de destilação para os efluentes, a fim de reutilizar a água no sistema.

Os processos convencionais de tratamentos do efluente consistem basicamente em realizar a decantação do particulado e o desaguamento do resíduo, separando a fase sólida da lama da fase líquida.

O efluente retirado após a decantação poderá ser reutilizado na planta enquanto os sólidos poderão ser enviados para aterros específicos para resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais, desde que atendam a exigência máxima de 30% de umidade, conforme estabelecido na NBR 13896/1997 e na IN nº 019/05 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) [19] [8].

Atualmente é possível identificar na literatura, pesquisas que abrangem aplicações para estes resíduos sólidos tais como na produção de tijolos de solo-cimento, concretos, argamassas, blocos de concreto para vedação, tijolos cerâmicos, blocos de pavimentação, lajotas de piso, componentes para indústria cerâmica e *filler* para pavimentação [20].

O processo de sedimentação permite tratar o efluente a partir do adensamento da lama para ser descartada de forma adequada. Neste processo, a lama vai para um reservatório onde, geralmente, adiciona-se floculante para a agregação das partículas em suspensão. A lama então se acumula no fundo do sedimentador, sendo periodicamente retirada e enviada à destinação final ou para outro processo de desidratação para garantir a umidade inferior a 30%, como um filtro prensa [5].

Também é possível encontrar processos de tratamento da lama utilizando bags, sendo estes grandes sacos de material plástico permeável que permitem a passagem da água a fim de desidratar a lama. Geralmente são instaladas em superfícies com canaletas que permitam a recirculação do efluente.

PROCESSO DE FORMAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA

O aço é uma liga metálica formada por ferro e carbono, com um teor de carbono de até 2% [21].

Os principais produtos produzidos a partir do beneficiamento do minério de ferro são o ferro gusa, ferro fundido, aço-carbono, aço-doce e aços-liga. Os principais métodos de produção do aço são realizados por meio da fusão e refino da sucata em fornos elétricos a arco e por meio do refino da gusa líquida em conversores a oxigênio [22].

Atualmente o Brasil encontra-se entre os oito maiores países produtores de ferroligas e silício metálico, apresentando um crescimento de 1,8% entre os anos de 1990 e 2000 [23].

O processo de formação da escória se resume na transformação da matéria-prima líquida ou sólida em um produto base para a fase seguinte. As iniciais LD referem-se a etapa de tratamento do ferro gusa que advém de equipamentos conhecidos como convertedores LD (*Linz-Donawitz*). No convertedor, o oxigênio de alta pureza é soprado através de uma lança refratária, oxidando ferro, carbono, manganês, silício e o fósforo contidos na gusa líquida [24].

Após a carga metálica ser carregada no equipamento, juntamente com os fundentes (cal calcítica, cal dolomítica, fluorita, minério de ferro etc.), é realizado um sopro de oxigênio a elevadas pressões e velocidades, para otimizar as reações e aumentar o grau de mistura do banho metálico. Os fundentes têm como finalidade o fechamento do balanço térmico da mistura e a formação de escória que é de suma importância para o processo, visto que a mesma serve para limpeza do aço.

Após a retirada da escória em um recipiente conhecido como “pote de escória”, o mesmo é transportado a um local adequado onde a escória é descarregada e, posteriormente, resfriada por aspersão de água ou ar. O resfriamento acelerado é necessário para redução do tamanho inicial dos blocos de agregados formados e para facilitar a etapa de separação magnética [25]. Após o resfriamento, a escória de aciaria passa pelo processo de separação magnética, seguida de britagem e peneiramento, dessa forma é classificada de acordo com seu destino e seus diferentes tipos de aplicação. Esse procedimento é indispensável para a obtenção de um aglomerado de escória de qualidade, seja ele fino ou grosso [26].

A Figura 7 traz a imagem da escória, que é um resíduo de classe II B – Não perigoso – Inerte [27]. Sua composição química é apresentada na Tabela 2 e as principais características na Tabela 3.

Tabela 2 - Composição química típica das escórias de refino oxidante (LD).

Composição química	LD (%)
CaO	6 – 45
SiO ₂	7 – 16
MgO	1 – 9
Al ₂ O ₃	1 – 4
FeO	8 – 30
MnO	3 – 7
TiO ₂	-
F ₂ O ₃	-
SO ₃	-
Álcalis (K ₂ O + Na ₂ O)	-
CaO Livre	0 – 8
P ₂ O ₅	1,6
S	0,13
Cr ₂ O ₃	0,35
Basicidade i = CaO/SiO ₂	0,86 – 2,8

Fonte: (GEYER, 2001) [28]. Adaptado.

Atualmente, após alguns processos e beneficiamentos, esse coproduto tem sido muito utilizado na indústria civil, na produção de tijolos, base de estradas, produção de cimento e uso na agricultura (corretivo de solos ou elaboração de fertilizantes fosfatados) [29].

Figura 7 - Escória LD de aciaria.



Fonte: [Do Autor]

A exposição ao tempo é uma forma de controlar a instabilidade volumétrica dessa escória, resultante da presença de óxidos potencialmente hidratáveis [26].

Tabela 3 - Principais características da Escória LD.

Massa específica aparente mínima	2.500 kg/m ³
Absorção de água máxima	4%
Porosidade aparente máxima	6%
Resistência ao desgaste (abrasão Los Angeles máxima)	35%
Resistência ao choque (índice de tenacidade Treton máximo)	20%
Forma média das partículas	Cúbica
Resistência à compressão axial mínima	100 MPa
Teor de fragmentos macios e friáveis máximo	5%
Resistência à intempérie máxima	10%

Fonte: (ARCELORMITTAL, 2015) [30].

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção e preparação das amostras avaliadas

A fim de realizar os testes propostos neste artigo, foram coletados 5 L de efluente bruto gerado pelo polimento de rochas ornamentais em uma empresa do ramo localizada em Viana, ES. Procurou-se coletar as amostras de cinco pontos diferentes do primeiro tanque de decantação (Figura 6), a fim de garantir maior variação nos padrões das amostras coletadas.

Após coletado, o efluente passou por um processo de decantação durante 24 horas com a finalidade de sedimentar os materiais particulados em suspensão. O efluente líquido foi então separado do produto de fundo e dividido em amostras menores de 200 ml cada.

Em contrapartida, fora coletado 1 kg de Escória de Aciaria (LD) com granulometria na faixa de 19 a 32 mm, em um pátio de estocagem de uma usina siderúrgica localizada na Grande Vitória, baseado na NBR 10007:2004, da ABNT [31].

Comprova-se uma amostra de Zeólita Clinoptilolita do fabricante ZeQuantic® com granulometria <#140 mesh.

Para garantir a melhores resultados comparativos com a zeólita analisada, foi abordado um método de lavagem da amostra para garantir que os poros do coproduto estivessem livres de impurezas, assim aumentando a área superficial. Dessa forma, inicialmente as amostras de 50g de escória foram lavadas por três vezes em água corrente e após, por duas vezes em água destilada, gastando um volume de 50 ml por lavagem. Lavaram-se as mesmas em amostra de 50 ml de álcool etílico por duas vezes e então foram secadas em uma estufa modelo 119 do fabricante FABBE®, à temperatura de 65°C por 12 horas. É importante destacar que este procedimento foi apenas realizado para manter a qualidade da comparação entre os materiais, uma vez que para utilização em larga escala, a lavagem do coproduto geraria um novo efluente, tornando o processo inviável.

Após este período, as amostras foram maceradas e levadas a um pulverizador de modelo panela do fabricante BRASTORNO®, por dois ciclos de um minuto cada, a fim de garantir a granulometria equivalente à zeólita utilizada. Após o processo, a granulometria

alcançada foi de <#140 mesh. Este foi o menor volume granulométrico alcançado no pulverizador utilizado.

Caracterização do efluente bruto

Inicialmente mediu-se o pH, bem como a temperatura, massa volumétrica e analisou-se a turbidez através de um turbidímetro digital INS-430. Calculou-se a dureza da amostra através de titulação complexométrica utilizando EDTA 0,1 M como titulante e Negro de Eriocromo T como indicador complexométrico. A titulação fora realizada por cinco vezes e realizada a média dos resultados obtidos.

Para identificação dos resultados da titulação foram aplicadas as fórmulas I e II:

$$Na \times Va = Nb \times Vb \quad (I)$$

$$Na = \frac{m}{M} \quad (II)$$

Onde:

Na - Concentração do analito;

Va - Volume do analito;

Nb - Concentração do titulante (EDTA);

Vb - Volume gasto da solução titulante;

M – Massa molar.

Os valores encontrados nas análises estão discriminados na Tabela 4.

As mesmas análises foram aplicadas nas amostras após tratamento e os resultados podem ser observados nas Tabelas 8 e 9.

Foram propostas duas rotas de análises para o efluente. Uma através de processo em batelada, variando o tempo de residência e outra através de processo de filtração em leito fixo, sem tempo de residência.

Para o processo em batelada, separou-se 200 ml do efluente em dois béqueres de 250 ml. No primeiro béquer adicionou-se 5,023g de Zeólita Clinoptilolita, enquanto no segundo foi inserida 5,020g de Escória LD. Os béqueres foram então levados a um agitador magnético por 2 horas à temperatura de 50°C.

Após o processo em batelada, o efluente foi filtrado a fim de retirar-se o material particulado e separado em frascos de 200 ml para posteriores análises.

No processo em leito fixo, a fim de simular o princípio de funcionamento de um filtro gravitacional, separou-se duas buretas de 50 mL. Na bureta 01, colocou-se 5,018g de Zeólita Clinoptilolita, enquanto na bureta 02 foi inserida 5,020g de Escória LD. Em seguida foram inseridos 200 ml do efluente em cada uma das buretas e esperado que ocorresse o processo de filtração. O filtrado foi então coletado e separado em frasco de 200 ml para posteriores análises.

A Figura 8-a mostra o processo em batelada enquanto a Figura 8-b representa o processo de filtração utilizando as buretas como material para princípio de construção do filtro gravitacional mencionado.

Figura 8 - a) Processo em batelada



Fonte: [Do Autor].

b) Processo em leito fixo utilizando buretas



Fonte: [Do Autor].

Para a caracterização dos efluentes, após o processo de tratamento utilizou-se a metodologia de fluorescência de raios-x (FRX) para determinação dos óxidos dissolvidos nas amostras. Para o estudo utilizou-se um analisador de fluorescência de raios-X da Série Epsilon 3X do fabricante Malvern Panalytical®.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

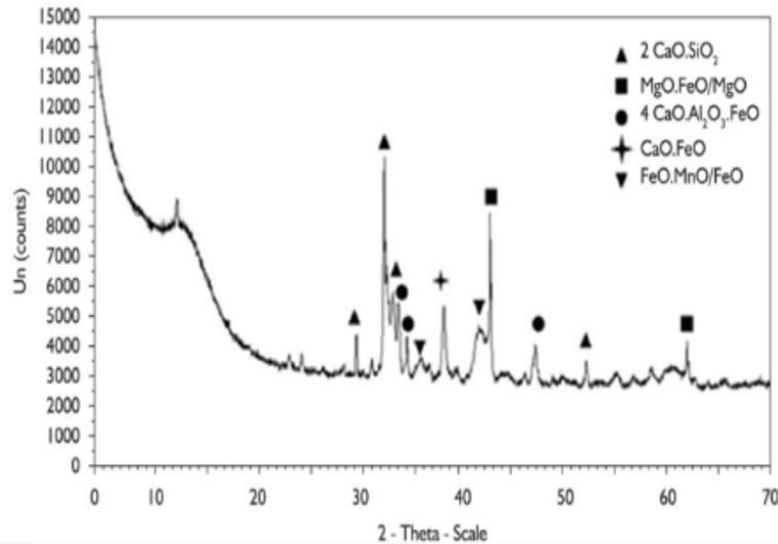
Análise de estrutura cristalina dos materiais

As Figuras 9 e 10 mostram o difratograma da Escória LD e da Zeólita Clinoptilolita respectivamente, onde são exibidos picos característicos do processo de difração de Raios-X nas estruturas cristalinas dos materiais analisados correlacionados à posição, intensidade e forma da estrutura dos planos cristalográficos. Com isso é possível determinar a composição mineralógica do material.

Os picos que aparecem no difratograma são as distâncias interplanares característica dos minerais presentes.

Analisando a Figura 9, as principais fases cristalinas identificadas com base no teste DRX são: silicato dicálcio ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), magnésia-wustita ($\text{MgO}.\text{FeO}$), cálcio ferrita ($\text{CaO}.\text{FeO}$), brownmillerita ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{FeO}$), wustita (FeO) e magnésia (MgO). Com base nos picos de difração, a fase com maior intensidade é o silicato dicálcio, seguido pela magnésia-wustita e cálcio ferrita.

Figura 9 - Difratoograma de raios-X da escória LD.

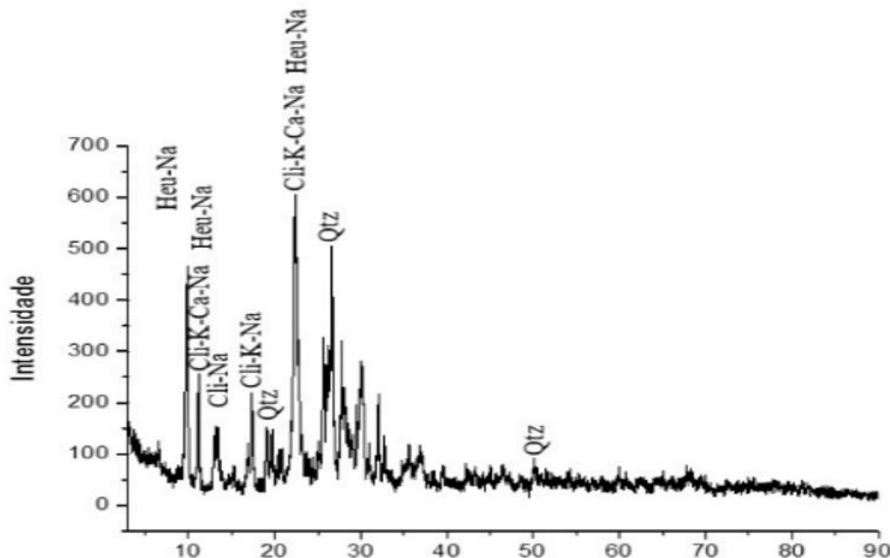


Fonte: (GONÇALVES, 2014) [32].

Algumas variações na microestrutura podem ser observadas entre as escórias de convertedor LD, dependendo da composição global da escória e do tipo de resfriamento. O nível de oxidação da escória (teor de FeO), por exemplo, vai determinar os tipos de fases que o FeO formará [33].

A Figura 10 retrata o difratograma de raios-x da Zeólita Clinoptilolita utilizada durante as análises como material filtrante. A análise de DRX mostrou padrões de difração mais intensos, característicos de heulandita-Na (Heu-Na) e de clinoptilolita (Cli) ligadas a sódio (Na), potássio (K) e cálcio (Ca).

Figura 10 - Difratoograma de raios-X da Zeólita Clinoptilolita.



Fonte: (SILVA, 2016) [33].

Análise dos efluentes bruto

Após análise utilizando fluorescência de raios-x, a amostra do efluente bruto coletado apresentou as composições químicas dissolvidas apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4 - Análises físico-químicas do efluente bruto.

Material	Efluente bruto
pH	8.34
Temperatura	29.33 °C
Massa Volumétrica	89,15 mm ³
Turbidez	372,0 NTU
Dureza	1630 mg/L

Tabela 5 - Composição química do efluente bruto.

Composição química	
Na ₂ O	1,46%
MgO	0,83%
Al ₂ O ₃	12,50%
SiO ₂	78,57%
K ₂ O	3,12%
CaO	2,87%
Fe ₂ O ₃	0,45%
PbO	9,1 ppm

Análise dos efluentes após metodologia aplicada

Após passar pelo processo de tratamento proposto as amostras foram coletas e caracterizadas através do método analítico FRX. Os resultados são apresentados nas Tabelas 6 e 7 em porcentagem para valores acima de 0,1%. Os valores inferiores a 0,1% são retratados em ppm pelo equipamento utilizado.

Tabela 6 - Resultado do teste FRX para determinação de composição química do efluente analisado através do processo em leito fixo.

Leito fixo: Escória LD X Zeólita Clinoptilolita			
Amostra	Bruto	Escória LD	Zeólita
Na ₂ O	1,46%	0 ppm	0 ppm
MgO	0,83%	0 ppm	0 ppm
Al ₂ O ₃	12,50%	8,31%	20,38%
SiO ₂	78,57%	8,25%	29,30%
K ₂ O	3,12%	0 ppm	0 ppm
CaO	2,87%	82,55%	49,04%
Fe ₂ O ₃	0,45%	0,76%	1,06%
PbO	9,1 ppm	0,13%	0,23%

Analisando a Tabela 6, pode-se observar que o processo em leito fixo utilizando a escória LD como forma de tratamento do efluente, obteve resultados positivos na adsorção de óxidos Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O. Houveram aumentos nas concentrações de Fe₂O₃ e PbO, sendo o CaO o composto que apresentou a maior elevação na concentração após a metodologia aplicada.

Analisando o método adotado, utilizando a Zeólita Clinoptilolita, pode-se observar a redução da concentração dos seguintes óxidos: Na₂O, MgO, SiO₂, K₂O. Houveram elevações nas concentrações de Fe₂O₃ e PbO, sendo as maiores, encontradas nos óxidos Al₂O₃ e CaO.

Aplicando a segunda metodologia proposta, utilizando o sistema de tratamento em batelada, pode-se perceber uma variação nos resultados, quando comparada ao leito fixo. Os dados coletados após o teste FRX estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultado de teste FRX para determinação de composição química do efluente analisado através do processo em batelada.

Batelada: Escória LD X Zeólita Clinoptilolita			
Amostra	Bruto	Escória LD	Zeólita
Na ₂ O	1,46%	1,82%	684,8 ppm
MgO	0,83%	5,44%	224 ppm
Al ₂ O ₃	12,50%	19,98%	980,4 ppm
SiO ₂	78,57%	47,20%	0,47%
K ₂ O	3,12%	0,93%	341,2 ppm
CaO	2,87%	24,18%	0,14%
Fe ₂ O ₃	0,45%	0,43%	244,5 ppm
PbO	9,1ppm	299,5 ppm	1,7 ppm

Após o período de batelada estipulado no tratamento utilizando a escória LD, pode-se observar um aumento nas concentrações dos seguintes óxidos dissolvidos no efluente: Na₂O, MgO, Al₂O₃, CaO, PbO. Em contrapartida, houve diminuição nas concentrações de SiO₂, K₂O, Fe₂O₃.

Analisando o processo em batelada utilizando a Zeólita Clinoptilolita, observa-se uma diminuição significativa das concentrações dos óxidos dissolvidos, ficando em geral abaixo de 0,1% para os compostos analisados, com exceção de SiO₂ e CaO, que mesmo tendo uma diminuição de elevada, mantiveram concentração de 0,47% e 0,14%, respectivamente.

As Figuras 11 e 12 mostram um gráfico comparativo entre as concentrações dos óxidos dissolvidos no efluente bruto e nos processos utilizando a metodologia de tratamento proposta por este artigo.

Figura 11 - Resultados de teste FRX após tratamento utilizando processo em leito fixo.

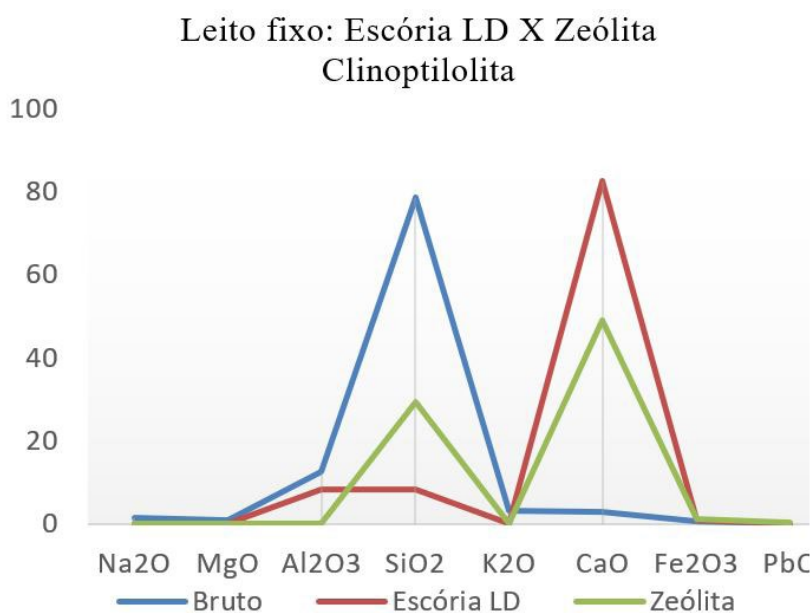
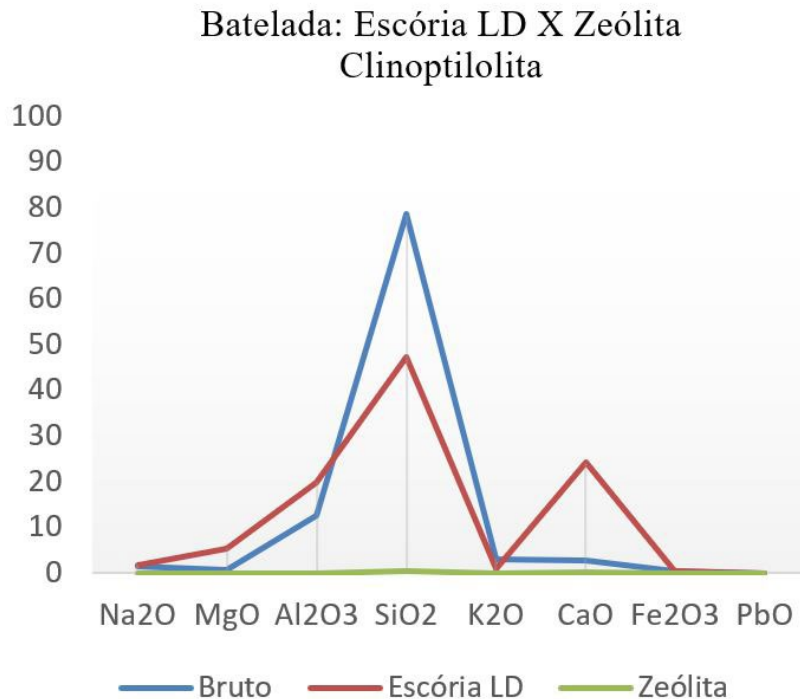


Figura 12 - Resultados de teste FRX após tratamento utilizando processo em batelada.



As Tabelas 8 e 9 apresentam os valores de análises físico-químicas dos efluentes após tratamento.

Tabela 8 - Resultado de análise físico-química do efluente tratado em processo em leito fixo.

Leito fixo: Escória LD X Zeólita Clinoptilolita		
Material	Escoria LD	Zeólita
pH	9,6	7,8
Turbidez	16,7 NTU	165,5 NTU
Dureza	7900 mg/L	800 mg/L

Tabela 9 - Resultado de análise físico-química do efluente tratado em processo de batelada.

Batelada: Escória LD X Zeólita Clinoptilolita		
Material	Escoria LD	Zeólita
pH	11,5	7,5
Turbidez	15,3 NTU	124,1 NTU
Dureza	7200 mg/L	600 mg/L

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias utilizando Escória LD obtiveram resultados diferenciados quando aplicadas nos processos em batelada e em leito fixo, sendo o segundo método mais eficiente.

Para as análises utilizando a escória em leito fixo, observou-se resultados positivos na redução dos seguintes óxidos: N₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂ e K₂O. Foi observado também um aumento na concentração de CaO, Fe₂O₃ e PbO.

O processo em batelada utilizando a Escória LD como adsorvente mostrou a diminuição de SiO_2 e K_2O , e o aumento da concentração de todos os outros óxidos em solução.

Em comparação com a Zeólita Clinoptilolita, a Escória LD apresentou maior grau de adsorção quando aplicada na metodologia sem tempo de residência, uma vez que após análise FRX os efluentes tratados apresentaram menor teor de N_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 e K_2O , apresentando elevação superior apenas de CaO .

O aumento das concentrações de alguns dos elementos em ambas as metodologias aplicadas, pode ter ocorrido devido as granulometrias dos materiais utilizados como catalisadores serem muito baixas, podendo ter dissociado parte de seus componentes químicos e, conseqüentemente contaminando o efluente. Levando em consideração a resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 [34], que estabelece os parâmetros para lançamentos de efluentes, verifica-se que os aumentos nos padrões de Pb dissolvidos impossibilitam o descarte do efluente, necessitando de uma nova rota de tratamento para este resíduo. Pode-se ainda observar uma maior diminuição dos valores de pH no processo em leito fixo utilizando escória LD, enquanto há uma maior diminuição de turbidez e dureza no processo em batelada.

Logo, a metodologia aplicada ao processo em leito fixo mostrou-se mais eficiente para a remoção dos óxidos presentes na amostra do efluente. No processo em batelada, houve um aumento na presença de algum dos óxidos dissociados.

Baseando-se nestes resultados, propõe-se que, para trabalhos futuros, as análises sejam refeitas variando alguns parâmetros, tais como granulometria da escória e da zeólita e o tempo de residência do processo em batelada, afim de analisar a variabilidade dos resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 15012:2003. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2152>>.

[2] BRAGA, F. S.; BUZZI, D.C.; COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. Revista Eletrônica Engenharia Sanitária e Ambiental, Vila Velha, v.15, n.3, p. 237-244, 2010.

[3] SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS (SBRT). Aproveitamento de resíduos da indústria de beneficiamento de mármore e granito e equipamentos usados no processo de separação. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/>> Acesso em 20 de setembro de 2019.

[4] ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Disponível em: <https://www.abirochas.com.br/wpcontent/uploads/2018/06/abinoticias/Setor_de_Rochas_Ornamentais.pdf> Acesso em 20 de setembro de 2019.

[5] SILVA, Ahnaiá Zanotelli Dias da. Metodologia de avaliação das práticas de gerenciamento ambiental dos resíduos de empresas de beneficiamento de rochas ornamentais. 2011.

[6] Instituto Euvaldo Lodi (IEL). Inventário de Resíduos do Setor de Rochas Ornamentais na

Região da Grande Vitória Disponível em: <<https://sistemafindes.org.br>> 2019/08 › Anuário-IEL-200-Maiores-2019-1› Acesso em 20 de setembro de 2019.

[7] GASPAR, Guilherme Garcia. Efeito da saturação de cálcio no solo sobre a severidade da ferrugem da soja, 2010.

[8] IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS Instrução Normativa n.19 de 17 de agosto de 2005. Diário Oficial do Estado do Espírito Santo. Artigo 11º.

[9] RIZZO, Ernandes Marques da Silveira. Introdução aos processos de refino primário dos aços nos convertedores a oxigênio. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

[10] SILVA, G. *et al.* Escórias Siderúrgicas-Material de Múltiplas Aplicações. DNER/IPR/Divisão de Pesquisas, 1988.

[11] VIDAL, F.W.H; PINHEIRO, J.R; CASTRO, N.F; CARANASSIOS, A. Lavra de rochas ornamentais. Tecnologia de Rochas Ornamentais. VIDAL, *et al.* (Org.). Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

[12] MARCON, B.D. Utilização de fio diamantado na lavra de granitos comerciais. XX Jornada de Iniciação Científica – CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2012.

[13] CORRÊA, Amanda. Rochas Ornamentais: características e processo produtivo. CORRÊA, Amanda *et al.* Blog Igeológico. Belo Horizonte, 1 de setembro de 2016. Disponível em: <http://igeologico.com.br/blog/2019/01/23/rochas-ornamentais-caracteristicas-e-processo-produtivo/>. Acesso em: 19 de setembro de 2019.

[14] SILVEIRA, L. L. L; VIDAL, F. W. H; SOUZA, J.C., Beneficiamento de rochas ornamentais. In: VIDAL, F.W.H; CASTRO, N.F; AZEVEDO, H.C.A; Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI, 2013.

[15] TASAICO, Daniel Ernesto Otárola. Desenvolvimento de Processos Compactos para o Tratamento das Águas Residuárias da Indústria do Mármore e Granito. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2007.

[16] MELLO, Ivan Sérgio de Cavalcanti et AL. Aproveitamento dos resíduos sólidos (finos) das serrarias de rochas ornamentais e para revestimento (parte I). São Paulo, 2006.

[17] AZEREDO, S.R., “Processamento de um novo tipo de corôa abrasiva para aplicação no desbaste de pedras ornamentais”, In: Anais do 57º Congresso Anual – Internacional da ABM, 2002.

[18] EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p., 1997

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Norma técnica NBR 13896. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

[20] MELO, L.S.C. Gestão ambiental de resíduos sólidos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais em Belo Horizonte. Monografia, Especialização em Meio Ambiente. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

[21] MAIA, P.C.A.; NUNES, A.L.L.S.; ANTUNES, F.S.; Alterabilidade de rocha basáltica – Caracterização mecânica. Solos e Rochas, Revista Latino – Americana de Geotecnia. ABMS/ABGE, v.26, n.3, p.205-215, 2002.

[22] SANO, N; LU, W.; RIBOUD, R.C.H. Advanced physical chemistry for process metallurgy. Academic Press. 1997. 429 p.

[23] Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferroligas e silício metálico no estado de Minas Gerais. Relatório técnico. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades Industriais, Belo Horizonte, 2010.

[24] ATHAYDE JUNIOR, J.D.G. Otimização da injeção de gás inerte no convertedor MRP-L. 2005. 80p. Dissertação (Mestrado em Metalurgia Extrativa) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS (ABM). Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico. Brasília, 2008.

[26] MACHADO, A. T. Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das s escórias de aciaria. 2000. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resíduos sólidos - Classificação. Norma técnica NBR 10004 (2004a). Rio de Janeiro: ABNT, 71 p.

[28] GEYER, Rejane Maria Turbino. Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria elétrica com adição ao concreto. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

[29] INSTITUTO AÇO BRASIL (IABr). Relatório de Sustentabilidade, 2016. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/sustentabilidade2016/>>. Acesso em 10 de outubro de 2019.

[30] ARCELORMITTAL. Escória de Aciaria LD. Disponível em: <http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/escoria_aciaria_ld/introducao.asp> Acesso em: 27 de outubro de 2019.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 10007:2004 disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=1102>>. Acesso em: 28 de outubro de 2019.

[32] GONÇALVES, H. F. P; CARNEIRO, C. A. R; ARAÚJO, T. C. S. Estudo microestrutural da escória de convertedor ld e sua relação com o processo de desfosforação. São Paulo, v. 11, n. 1, p. 41-49, jan./mar 2014.

[33] SILVA, Amanda Meira da; Caracterização química e mineralógica de zeólitas naturais com potencial para aplicação em tratamentos de efluentes, 2016.

[34] CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>.

Análise do cobreamento em aço 1020

Copper plating analysis on 1020 steel

João Pedro Paz Sarmento
Vitor Hugo Medeiros Eggers
Leonardo Felipe Debrino Leite
João Edson Leite Júnior
Maely Oliveira Batista

RESUMO

A galvanização é um processo amplamente utilizado na indústria para proteger materiais metálicos contra corrosão. Neste trabalho, o objetivo foi investigar o uso do cobre como revestimento galvânico em diferentes aplicações. O estudo iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre os princípios básicos da galvanização e suas aplicações. Foi realizada uma análise das propriedades físicas e químicas do cobre, a fim de avaliar sua viabilidade como alternativa aos revestimentos tradicionais. Em seguida, foram conduzidos experimentos práticos para avaliar a eficácia da galvanização com cobre. A técnica escolhida foi a eletrodeposição para aplicação do revestimento, e amostras foram expostas a condições simuladas de corrosão no laboratório das Faculdades Integradas Aparício Carvalho. Os resultados obtidos mostraram que a galvanização utilizando cobre apresentou uma boa resistência à corrosão, proporcionando proteção efetiva aos materiais metálicos. Por fim, considerações econômicas foram abordadas, levando em conta os custos de produção associado ao uso do cobre. Este estudo demonstrou o potencial do cobre como um revestimento galvânico eficaz e versátil, abrindo caminho para aplicações inovadoras na proteção contra corrosão de materiais metálicos.

Palavras-chave: galvanização. cobreamento. eletrólise.

ABSTRACT

Galvanization is a process widely used in industry to protect metallic materials against corrosion. In this work, the objective was to investigate the use of copper as galvanic coating in different applications. The study started with a literature review on the basic principles of galvanization and its applications. An analysis of the physical and chemical properties of copper was carried out in order to evaluate its viability as an alternative to tradi-



tional coatings. Then, practical experiments were conducted to evaluate the effectiveness of copper galvanizing. The chosen technique was electroplating for coating application, and samples were exposed to simulated corrosion conditions in the laboratory of Faculdades Integradas Aparício Carvalho. The results obtained showed that galvanization using copper presented a good resistance to corrosion, providing effective protection to metallic materials. Finally, economic considerations were addressed, taking into account the production costs associated with the use of copper. This study demonstrated the potential of copper as an effective and versatile galvanic coating, paving the way for innovative applications in corrosion protection of metallic materials.

Keywords: galvanization. copper plating. electrolysis.

INTRODUÇÃO

A deterioração de um material metálico é conhecida como corrosão, iniciando-se através da ação química ou eletroquímica em exposição ao ambiente, podendo estar associada ao esforço de trabalho (SILVA, 2020), assim que se tem ciência do material e do meio corrosivo, é realizada uma criteriosa pesquisa com o objetivo de realizar melhorias na estrutura do metal (DA SILVA; SILVA; VASCONSELOS; *et al.*, 2020), reconhecimento destas patologias são relevantes para a evolução dos materiais (ANTUNES; RENATO *et al.*, 2022).

Estima-se que 20% de todo aço produzido em escala mundial, tem como objetivo substituir aços que se tornaram inutilizáveis pelo processo de corrosão (MIRANDA, 2022), o processo de corrosão é um fenômeno natural, onde o aço exposto ao ambiente, encontra-se vulnerável às interações físico-químicas (RODINE, 2020), estimando a receita de 5% em investimentos na prevenção de corrosão, na substituição e perda de produtos em um país industrializado (SILVA, 2021), que contém diferentes tipos de segmentos como a naval, petroquímica, petróleo e gás, química entre vários outros setores (DE SOUZA; PEREIRA, 2020), na economia atual é relevante que estes setores sejam cautelosos com suas matérias primas, se comprometendo a buscar e implementar técnicas eficazes.(SOUZA; GRIZENDE, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

Eletrólise

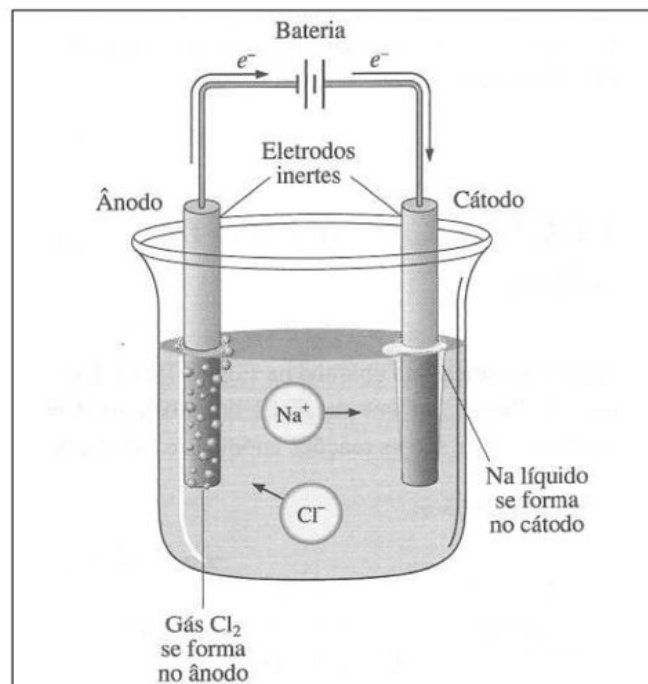
William Nicholson (1753-1815) e Anthony Carlisle (1768-1840), em 1800 na tentativa de reproduzir a experiência de Alessandro Volta (1745- 1827), onde se consistia em analisar descargas elétricas através de um eletroscópio, observaram que ao adicionar dois fios metálicos em um recipiente com uma pilha em volta, resultava em bolhas de gás (FERNANDES, 2015), um processo eletroquímico onde a condução de corrente elétrica criando suas bolhas através proveniente do hidrogênio ao inserir dois eletrodos na solução(KNOB, 2013), caracterizando as reações de oxirredução quando aplicado uma diferença de potencial(OLIVEIRA, 2010). Diferença esta que se chama força eletromotriz,

usando a unidade de medida em SI Volt (V), podendo ser analisada através de voltímetro ou multímetro (DINIZ; SILVA; ALVES, 2020).

Em 1834 Michael Faraday estabelece as leis que regem sobre a eletrólise relacionadas as massas produzidas por eletrodos e quantidade de energia gasta no processo (LELUDAK, 2013), na qual os eletrodos sofrem modificações neste processo, sendo eles a oxidação ocorrida no polo positivo também chamado de ânodo e a redução no polo negativo denominado cátodo do solução contendo uma substância que tem a capacidade de conduzir corrente elétrica, esta substancia recebe o nome de eletrólito (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018), relatado por Russell (2000 p. 286) dois tipos do processo podem ser analisados, sendo eles a eletrólise ígnea e a aquosa.

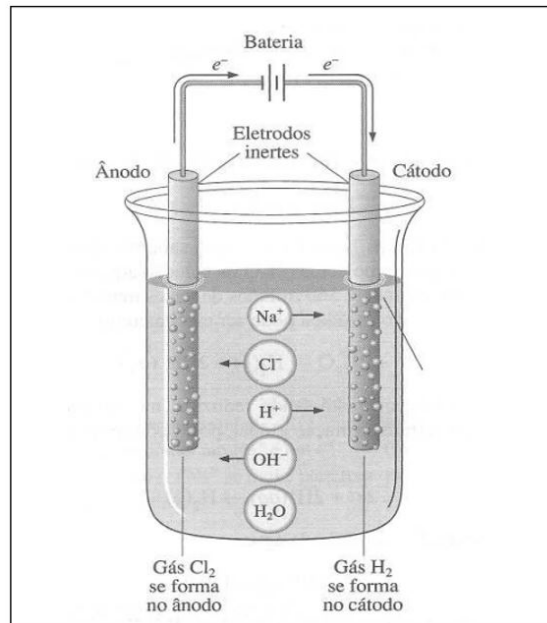
De acordo com Atkins (2012) utilizando como eletrólito sal fundido, como por exemplo NaCl, na qual a eletrólise ígnea ocorre em temperaturas superiores a de 800°C onde é o seu ponto de fusão, garante quebra dos íons que estruturam na sua rede cristalina, transformando-se assim em sal líquido, o eletrólito fundido movimenta os íons através da célula eletrolítica, Neste processo, o material imerso na solução o material que será oxidado será depositado em forma de íons ao material que será reduzido através do banho eletrolítico (SILVA *et al.*, 2016)

Figura 1 - Célula eletrolítica ígnea.



Fonte: Russell (2000).

Através balanças, provetas e outros equipamento é possível realizar o preparo de soluções, na qual obtemos podemos obter outras substâncias ou diluir a matéria prima (SANTO, 2015), deste modo ao realizar uma solução diluindo NaCl em água destilada, obtemos a eletrólise aquosa (FELTRE, 2004)

Figura 2 - Célula eletrolítica aquosa.

Fonte: Russell (2000)

Dentre outros tipos de eletrólises mencionadas por Russell (2000 p.290) dispomos da eletrólise por HCl contendo os mesmos aspectos do NaCl aquoso, detemos também do H₂SO₄ considerado um ácido forte, porém é observado que a água oxida mais facilmente

Corrosão

Corrosão se define como todo processo de deterioração de um metal ou liga metálica devido a reações eletrolíticas ou químicas com o ambiente (WIERCINSKI; 2015), estudos comprovam que a resistência dos metais depende das condições climáticas (MONTENEGRO; *et al.*, 2010), sendo apontado desde 1962 que metais são sensíveis a químicas em sua superfície (FINE, 2010)

A corrosão química não há troca de corrente elétrica dependendo somente de um reagente químico para que ocorra a reação (FRAUCHES-SANTOS-2014), a corrosão química é comumente compreendida como a degradação de polímeros através de solvente, modificando suas características como flexibilidade e tenacidade, provocando e intensificando seu desgaste, no entanto os metais também sofrem a corrosão química, na qual o metal cria uma camada oxidante sobre sua superfície, onde a mesma pode contaminar outros materiais que estiverem expostos ao metal (MOREIRA; 2015), dependendo da concentração do reagente e da temperatura da superfície, a velocidade que a corrosão acontece pode ser acelerada, também influenciada por impurezas no ambiente (BRAGANÇA, 2010)

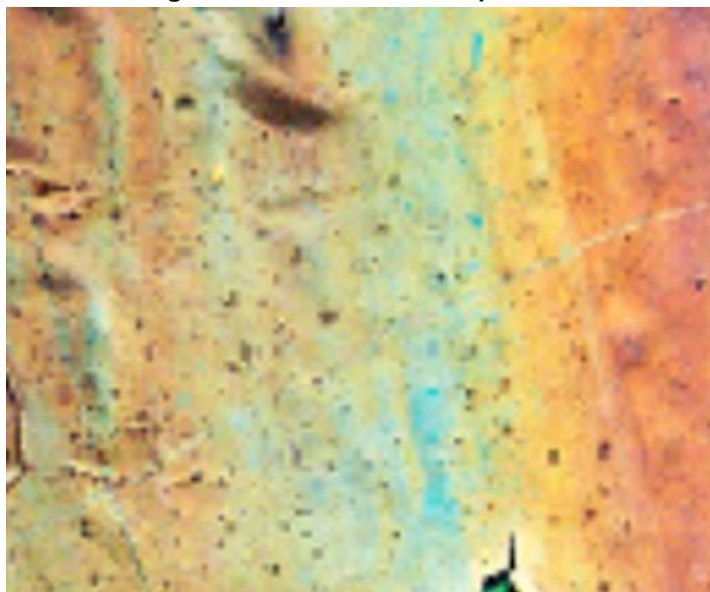
Através do contato do metal com um eletrólito, é possível que ocorra através do processo de eletrólise a oxidação do metal pela presença de água ou outro reagente ocasiona a reação anódica:



Na qual a oxidação pode ser chamada de ferrugem, onde pode ser ocasionada pela presença de uma solução natural ou não de água e sais (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER,

2011), diferente da oxirredução espontânea onde há conversão de trabalho químico para corrente elétrica, eletrólise emprega a energia para forçar uma reação química (PINTO, 2019), na qual fluidos corporais como o suor que contém sal pode ser utilizado para que uma reação eletrolítica seja iniciada (ROCHA, 2013)

Figura 3 - Corrosão eletroquímica.



Fonte: Freitas; Santos (2020)

Experimento

A Pesquisa deste projeto é de caráter experimental de cunho exploratório qualitativo e quantitativo acerca da identificação realizado nos laboratórios de física e elétrica das Faculdades Integradas Aparício Carvalho – FIMCA no município de Porto Velho/RO. As amostras dos aços que serão analisadas foram adquiridas no município de Porto Velho/RO e as soluções disponibilizadas pela instituição de ensino onde será realizada a presente pesquisa. Considerado critério de inclusão metais cuja composição seja ferrosa e não ferrosa, nos quais estão inclusos: Aço SAE 1020 e cobre. Para os critérios de exclusão estarão amostras onde o procedimento foi realizado de forma errônea, metais utilizados para oxidação com menos de 98% de pureza, metais já galvanizados

Os instrumentos que serão utilizados são: Balança analítica, capela de exaustão, balão volumétrico, becker de 500ml, pipeta e uma fonte de energia, com uma lixa de grão 150 será realizado o desbaste do material retirando a oxidação já existente na meta, posteriormente será utilizado uma lixa 1200 para fazer o acabamento da peça

Utilizando as técnicas de Masterton, Slowinski, Staniski (1990) para criar o soluto não saturado de HCl através de um balão volumétrico, posteriormente levado para um becker para que seja realizada a limpeza profunda do material ao mergulhar ele para retirar todo excesso de impurezas e fósforo criado ao lixar o metal, aplicando as referências de Brady e Humiston (2005) as soluções utilizadas na galvanização serão preparadas as soluções aquosas de NaCl em água destilada, uma solução CuSO₄, em seguida será utilizada a solução de CuCl₂, na qual se deve a mistura de CuSO₄ com NaCl, Também será usada a técnica apresentada por Russell (2000) onde a solução será usada HCl puro, para que seja retirado a solução de HCl da peça a mesma será lavada em água destilada, para

posteriormente ser mergulhada na fórmula para galvanização eletrolítica, em seguida será colocado no becker o eletrólito através de uma pipeta, após este processo será adicionado ao becker água destilada completando a solução, mergulhando o corpo de prova conectado ao catodo para que seja reduzido e o cobre ao anodo para que seja oxidado devido à corrente gerada pela fonte técnica apontada por Franco (2010). Realizada a galvanização a peça será colocada em água corrente e lavada com uma bucha anti riscos e detergente para que seja retirado o excesso do material, para testar a funcionalidade da galvanização o corpo de prova galvanizado será colocado em uma solução de salmoura com outro corpo de prova de características iguais ao aço antes de ser galvanizado

RESULTADOS

Almejando compreender os resultados obtidos através da exposição dos metais em uma solução de salmoura durante 5 dias foram realizados testes em triplicatas utilizando os métodos de galvanização em soluções de NaCl, CuSo4 e Na2So4, visto que a obtenção da galvanização correta deve conter o aspecto avermelhado no metal onde o mesmo deve estar fixado na superfície do metal. É observado que a quantidade de eletrólito na solução interfere na velocidade da galvanização e no acabamento do revestimento da peça.

Figura 3 - Acabamento com excesso de cobre.



Fonte: Autor (2023)

NaCl

Utilizando o NaCl na solução obtivemos uma coloração da solução transparente turvado, que ao decorrer da eletrólise se transformava em uma coloração azulada devido à corrosão do cobre. Pode-se observar que esta solução teve o processo de galvanização sutilmente mais lento que os demais, onde observamos que a corrente não passava de 5.5 amperes em uma tensão de 12 volts. Cada camada era formada com exposição do material no tempo de 60 segundos, dentre os metais usados para o teste apenas um apresentou falha, ocorrendo a descamação do cobre.

Figura 4 - Descamação do cobre.

Fonte: Autor (2023)

CuSo4

Ao utilizarmos a solução CuSo4, foi possível obter a coloração azul devido o sulfato de cobre, utilizando esta solução nos foi apresentado uma galvanização de aspecto linear, obtendo sua fixação no metal de maneira mais consistente, alcançando correntes entre 6 a 6,5 amperes utilizando a tensão de 12 volts, obtivemos uma eletrodeposição mais rápida que a solução de NaCl, devido ao seu aspecto linear obtivemos uma fixação melhor do cobre ao metal no qual todos os testes tiveram sucesso em sua galvanização.

Figura 5 - Galvanização bem-sucedida.

Fonte: Autor (2023)

NaSo4

A solução de NaSo4 obteve a maior velocidade de revestimento dentre todas outras soluções, ocasionando excesso de material em seu revestimento, alcançando até 7 amperes de corrente utilizando a 12 volts, devido a velocidade de revestimento todos

dois corpos de provas de três ocorreu a descamação do cobre observado na figura 6 onde o primeiro metal à esquerda não foi realizado o processo de galvanização seguindo dos metais expostos a galvanização e a solução de salmoura.

Figura 6 - Galvanização em NaSo4.



Fonte: Autor (2023)

Exposição

Ao expor os metais em salmoura, obtemos valiosos dados de corrosão no aço, sendo classificado como matéria ferrosa o aço 1020 teve grande parte da sua superfície oxidada sendo visível ao olho nu e a obtenção de hidrogênio ao realizar a eletrólise. Os metais que foram expostos a galvanização, porém tiveram a descamação do cobre obtiveram uma oxidação mais intensa, aos metais galvanizados conseguimos observar que não houve oxidação em sua superfície, porém onde houveram falhas de revestimento o metal foi atingido pela oxidação

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que a galvanização se destaca como uma solução eficaz e sustentável para uma ampla variedade de setores industriais. Ela oferece uma abordagem econômica e eficiente para reduzir o descarte e a perda de metais, especialmente em ambientes onde os metais estão expostos ao oxigênio. A pesquisa contínua na área de metalurgia é essencial para a evolução dos revestimentos metálicos. Com o objetivo de criar um revestimento metálico, a eletrólise concede propriedades ao material com a produção de um esmalte metálico (ANDRADE, 2021), obtendo tenacidade e a capacidade de preservar contra a oxidação e a corrosão (SOUZA; GRIZENDE, 2020). Combinando as matérias primas banhadas em uma solução, uma fonte conectando o anodo no material que será utilizado como revestimento e o catodo no material que será revestido (ANDARA; SOUZA, 2020).

Durante nosso estudo, observamos que cada etapa do processo de galvanização desempenha um papel crucial na obtenção de resultados precisos. O processo de lixamento e desengraxe do metal, por exemplo, é fundamental, pois quaisquer resíduos de fósforo

ou gordura podem comprometer a eficiência da aderência do material catódico ao metal, levando à descamação. Portanto, a atenção aos detalhes em todas as etapas é fundamental para o sucesso da galvanização como método de proteção de metais contra oxidação e corrosão.

REFERÊNCIAS

- ANDARA, Flávio Roberto; SOUZA, Adriano Mendonça. Estratégia de avaliação da neutralização do processo de galvanização eletrolítica por meio de modelagem e gráficos de controle. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 79592-79607, 2020.
- ANDRADE, Letícia V.; ZIMMER, Cinthia G. Galvanização: uma proposta para o ensino de eletroquímica. 43volume, 2021.
- ANTUNES, RENATO A. *et al.* Caracterização de produtos de corrosão de aço carbono e aço patinável submetidos a ensaio acelerado de corrosão e ensaio de intemperismo. 2022.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- BRADY, James E.; HUMISTON, Gerard E.. QUIMICA GERAL. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc S.A., 2005
- BRAGANCA, Saulo Roca. Corrosão de refratários utilizados na siderurgia. Parte II: propriedades físicas dos refratários e fatores operacionais. *Cerâmica*, v. 58, p. 459-464, 2012.
- BRAGANÇA, S. R. Aspectos Teóricos e Práticos sobre a corrosão de Refratários utilizados na Metalurgia. Anais 54º Cong. Bras. Cerâmica, Foz do Iguaçu, PR, p. 1142-1151, 2010.
- Da Silva, K. A., da Silva, L. de S. V. Vasconcellos, M. dos S., Santos, S. F., & Santana, A. I. de C. (2020). ETILENODIAMINA COMO INIBIDOR DE CORROSÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS 304 E 316 EM MEIO ÁCIDO. *Revista Univap*, 26(51), 191–200
- DE SOUZA, L. M.; PEREIRA, E. C. Influência da corrosão no aço inoxidável duplex S31803 submetido a íons de cloreto em diferentes temperaturas. *Exatas & Engenharias*, v. 10, n. 29, 30 jul. 2020.
- DINIZ, B. P.; SILVA, L. A. e ALVES, V. A. Experimentação no ensino de células galvânicas utilizando o método jigsaw. *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 6, p. 1559-1574, 2020
- FRANCO, Dalton. QUIMICA: processos naturais e tecnológicos. São Paulo: Fdt, 2010.
- FELTRE, R. Fundamentos de Química. 6ª ed. São Paulo: Moderna. 2004
- Fernandes, Ricardo Ferreira. "Eletrólise". *Revista de Ciência Elementar*, vol. 3, no 1, 2015. rce.casadasciencias.org, <https://doi.org/10.24927/rce2015.019>.
- FINE, G. F. *et al.* Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring. *Sensors*, v. 10, n. 6, p. 5469-5502, 2010

- FRAUCHES-SANTOS, Cristiane *et al.* A corrosão e os agentes anticorrosivos. Revista virtual de química, v. 6, n. 2, p. 293-309, 2014.
- FREITAS, João Luís Lopes; SANTOS, Aldo Ramos. Detecção de ferrugem em imagens de ligas metálicas pela utilização de uma Rede de Análise Paraconsistente (RAP). Anais do Encontro Nacional de Pós-graduação, v. 4, n. 1, p. 11-15, 2020.
- KNOB, Daniel. Geração de hidrogênio por eletrólise da água utilizando energia solar fotovoltaica. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- LELUDAK, F. T., & Haus, T. L. (2013). CÉLULA DE HIDROGÊNIO: ESTUDO E CONSTRUÇÃO DE UMA CÉLULA ELETROLÍTICA PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO GASOSO. Caderno PAIC, 14(1), 383–397
- MASTERTON, William L.; SLOWINSKI, Emil J.; STANITSKI, Conrad L.. Princípios de química. Rio de Janeiro: Ltc S.A, 1990.
- MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. Sistemas experimentais para o estudo da corrosão em metais. Química Nova na Escola, v. 31, n. 1, p. 57-60, 2011.
- MIRANDA, Thiago Silva Epifani. Projeto e implantação do novo setor de galvanização eletrolítica livre de cianeto. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- MONTENEGRO, Iêda NS *et al.* Taxa de corrosão de corpos-de-prova expostos no Ceará em atmosfera marinha de muito alta agressividade e em condições aceleradas no laboratório. 2010.
- MOREIRA, Renata Ferreira da Silva. “A corrosão e seus aspectos na engenharia civil”. Revista Obras Civis, vol. 7, no 1, 2015, p. 36–40.
- OLIVEIRA, César Rodnei de. Alteração das propriedades superficiais do alumínio via eletrólise e plasma. 2010. 122 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências de Bauru, 2010.
- PINTO, Camila Ferreira. Produção de hidrogênio por corrosão eletroquímica acelerada utilizando o ácido hexafluossilícico. 2019. 82f . Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.
- ROCHA, Thais Lenquist da. Resistência à corrosão eletroquímica da liga Ti-6AL4V prototipada para aplicações biomédicas. 2013. 87 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013.
- RODINE, Caroline Côrtes. Influência do banho eletrolítico na camada de galvanização formada sobre aço carbono e sua resistência à corrosão. 2020.
- RUSSELL, Jhon B. Química geral. 2. ed. [S.l.]: Pearson, 2000.
- SANTOS, SRB *et al.* Química experimental para deficientes visuais. Latin American Journal of Science Education, v. 2, p. 12015, 2015.

SILVA, Daniely De Lucena *et al.* Processo de eletrólise em banhos galvânicos. Anais I CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2016

SILVA, Jardel Freire da. Estudo sobre proteção contra corrosão do metal em ambiente salina. 2020.

SILVA, Rafael Soares. EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A FORMAÇÃO DA FERRUGEM. REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, v. 9, n. 2, p. e21058-e21058, 2021.

SOUZA, Istefani Almeida de; GRIZENDE, Jose Carlos. Processo de eletrólise em banho de Galvanização utilizando retificadores para biojoias. 2020

WIERCINSKI, Adriano. Galvanoplastia: Melhorias no processo de zincagem eletrolítica. 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Vinicius Augusto Castelo Branco Mateus e Ester R. Silva Alves por toda ajuda antes, durante e após a execução deste trabalho.

Análise da substituição da areia natural por pó de pedra na argamassa de revestimento

Mariana Ester Gebauer Venites

Aluna do 10º período de Engenharia Civil da Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira

Dayana Ruth Bola Oliveira

Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira

RESUMO

Com o aumento da demanda na construção civil, as extrações de recursos naturais cresceram, causando grande impacto ambiental. A areia quando extraída dos rios provoca alteração na vazão e erosão das margens, uma forma de amenizar esse fator é a utilização do pó de pedra, que por sua vez é um agregado proveniente da britagem que não possui destinação adequada. Neste trabalho, foi realizada a caracterização dos materiais da argamassa de revestimento fazendo a substituição da areia natural pelo pó de pedra, as proporções de substituição foram de 0%, 50% e 100%. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, consistência da argamassa, densidade de massa no estado endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios, absorção de água por capilaridade, coeficiente de capilaridade e resistência de aderência à tração.

Palavras-chave: argamassa. construção civil. pó de pedra. areia natural.

ABSTRACT

With the increase in demand in civil construction, the extraction of natural resources increased, causing a great environmental impact. Sand, when extracted from rivers, causes changes in the flow and erosion of the banks. One way to alleviate this factor is the use of stone dust, which in turn is an aggregate from crushing that does not have an adequate destination. In this work, the characterization of the coating mortar materials was carried out by replacing natural sand with stone dust, the replacement proportions were 0%, 50% and 100%. Tests were carried out on resistance to analysis, mortar consistency, mass density in the resisted state, water collection by analysis and void index, water collection by capillarity, capillarity coefficient and adhesion resistance to attraction.

Keywords: mortar. construction. grit. natural sand.



INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da população e aumento das construções está forçando os engenheiros a pensar em sustentabilidade (MUPPAR E MOHAMED, 2022). Devido ao aumento da urbanização nos últimos anos e a grande demanda no setor da construção civil, a extração de recursos naturais utilizados na fabricação de argamassas teve um aumento significativo.

Para Erba e Azambuja (2022), a utilização de novos materiais em substituição aos tradicionais é uma ótima alternativa para minimizar os impactos causados pelo setor ao meio ambiente.

Segundo Sharma E Vyas (2023), a argamassa é um produto que consome grande quantidade de agregado miúdo na execução de alvenaria e reboco. O agregado miúdo convencionalmente utilizado em argamassas é a areia natural extraída dos rios. No entanto, devido ao aumento na demanda de areia de rio, alternativas como pó de pedra podem ser utilizados em forma de substituição do agregado convencional.

Silva *et al.* (2021), buscou alternativas sustentáveis para a fabricação de argamassa para revestimento fazendo o estudo com a areia de britagem (pó de pedra) em substituição da areia natural. Pode-se constatar que a areia de britagem tem grande relevância na questão ambiental por ser um resíduo que não possui uma destinação correta e quando utilizado não gera impactos ambientais e possuem boas propriedades físicas e químicas para ser utilizados na fabricação de argamassas seguindo a norma NBR 13281 (ABNT, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais

Os materiais utilizados foram Cimento Portland CP II Z 32, cal hidratada, areia natural e pó de pedra. Foi realizado o ensaio de caracterização dos agregados miúdos. A tabela 1 apresenta o resultado da análise granulométrica da areia natural.

Tabela 1 - Análise granulométrica da areia natural.

PENEIRAS	MASSA RETIDA	%	RETIDO
Malha (mm)	Gramas	Individual	Acumulado
4,75	0	0	0
2,36	0,002	0,4	0,4
1,18	0,004	0,8	0,12
0,6	0,017	3,4	4,6
0,3	0,32	64	68,6
0,15	0,148	29,6	98,2
RESÍDUO	0,009	1,8	100
SOMA	0,5		

Fonte: Autor (2023).

A tabela 2 apresenta os resultados de módulo de finura e diâmetro máximo característico da areia natural.

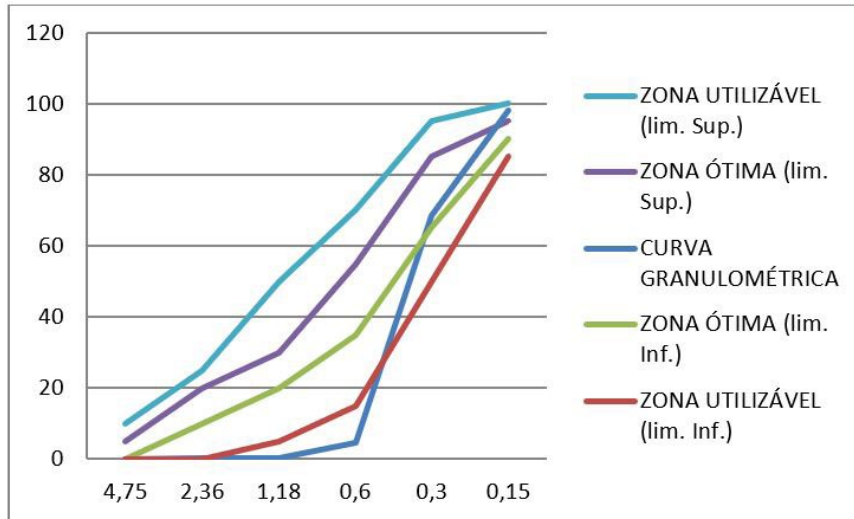
Tabela 2 - Resultado do módulo de finura e DMC da areia natural.

MÓDULO DE FINURA (MF)	DMC
1,7192	2,36mm

Fonte: Autor (2023).

O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica da areia natural.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia natural.



Fonte: Autora (2023)

A tabela 3 apresenta o resultado da análise granulométrica do pó de pedra.

Tabela 3 - Resultado da análise granulométrica do pó de pedra.

PENEIRAS	MASSA RETIDA	%	RETIDO
Malha (mm)	Gramas	Individual	Acumulado
4,75	0,012	2,4	2,4
2,36	0,176	35,2	37,6
1,18	0,197	39,4	77
0,6	0,052	10,4	87,4
0,3	0,039	7,8	95,2
0,15	0,015	3	98,2
RESÍDUO	0,009	1,8	100
SOMA	0,5		

Fonte: Autora (2023).

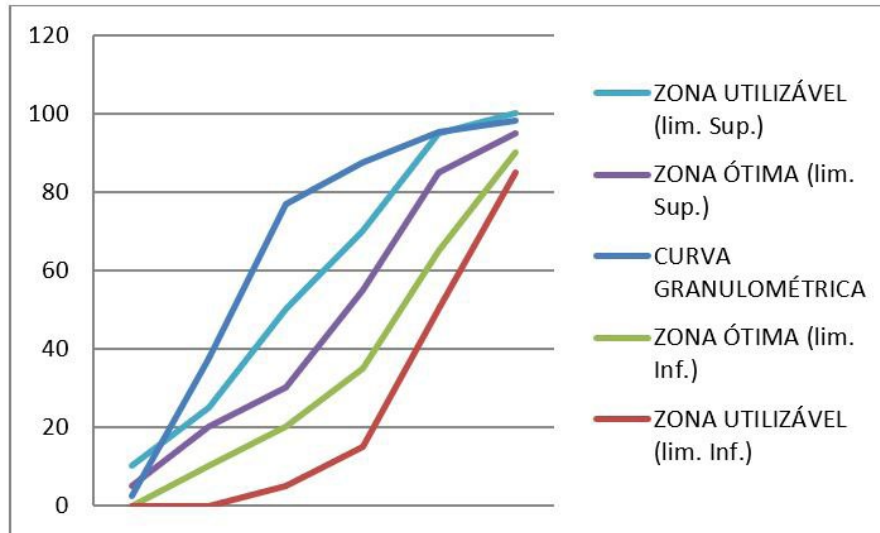
A tabela 4 apresenta os resultados de módulo de finura e diâmetro máximo característico do pó de pedra.

Tabela 4 - Resultado módulo de finura e dmc do pó de pedra.

MÓDULO DE FINURA (MF)	DMC
3,978	4,75 mm

Fonte: Autora (2023).

O gráfico 2 apresenta a curva granulométrica do pó de pedra.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do pó de pedra.

Fonte: Autora (2023).

Após feita a caracterização das matérias foi feita escolha do traço que se deu com base no traço usualmente utilizado para argamassa de revestimento., o qual foi escolhido como traço de referência 1:1:4 (Cimento: Cal: Areia), sendo assim, as demais misturas foram 1:1:4:0 (Cimento: Cal: Areia: Pó de pedra), 1:1:0:4 (Cimento: Cal: Areia: Pó de pedra) e 1:1:2:2 (Cimento: Cal: Areia: Pó de pedra).

MÉTODOS

Foram realizados ensaios da argamassa de revestimento em seu estado fresco e endurecido, sendo os ensaios de resistência à compressão, consistência da argamassa, densidade de massa no estado endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios, absorção de água por capilaridade, coeficiente de capilaridade e resistência de aderência a tração. Os resultados são apresentados a seguir.

Ensaio da argamassa em estado fresco

Ensaio de consistência da argamassa

O ensaio foi executado com amostras dos três traços de argamassas em estado fresco. A tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5 - Espalhamento da argamassa.

TRAÇOS	ESPALHAMENTO (mm)
Referência	172
50% de substituição	148
100% de substituição	158

Fonte: Autora (2023).

Pode-se constatar que a argamassa com traço de 100% área natural teve mais fluidez, já a argamassa com traço de 100% pó de pedra pode-se verificar mais consistência. Esse comportamento se dá pelo fato de que, com as quedas da mesa de consistência, a argamassa mais densa espalha-se mais. Tokarski (2017) obteve resultado de maior espalhamento nos traços com pó de pedra (285,48 mm) que segundo a autora, pode ser explicado pelo fato da massa unitária do pó de pedra ser maior que da areia natural.

Segundo Rubin (2015), a fluidez pode variar devida a inúmeros fatores, entre eles estão a adição de aditivos, o cimento, os agregados utilizados, a relação de água/cimento e também as adições minerais. Comparando com os resultados de Tokarski (2017), a possível diferença esteja no fato de que a autora utilizou aditivo ao invés da cal hidratada.

Densidade de massa

Este ensaio foi executado com amostras dos três traços de argamassas em estado fresco. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Resultado densidade de massa.

TRAÇO	DENSIDADE DE MASSA
100% areia	$153,695 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
50% areia e 50% pó de pedra	$165,025 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
100% pó de pedra	$169,951 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Fonte: Autora (2023)

Pode-se observar que conforme aumenta a quantidade de pó de pedra na argamassa, aumenta a densidade de massa, isso ocorre, pois, a massa específica do pó de pedra é maior que a areia natural. Tokarski (2017), também observou que o traço de areia natural ($184,6 \text{ g/cm}^3$) apresenta a menor densidade de massa que o traço composto por pó de pedra ($215,5 \text{ g/cm}^3$).

Ensaio da argamassa em estado endurecido

Resistência à compressão axial

O ensaio foi executado com 3 corpos de prova em estado endurecido na idade de 7 dias e posteriormente foi feito o ensaio na idade de 28 dias. Visto que a resistência do traço com 100% pó de pedra obteve resultado mais expressivo tanto aos 7 dias quanto aos

28 dias. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Resultado resistência à compressão axial.

TRAÇO	RESISTÊNCIA AOS 7 DIAS (KN)	RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS (KN)
100% areia (referência)	7,58	16,12
50% areia 50% pó de pedra	11,83	18,89
100% pó de pedra	15,96	18,99

Fonte: Autora (2023).

Através dos resultados obtidos, pode-se verificar que o traço com 100% de pó de pedra obteve resultados mais expressivos neste ensaio, podendo constatar que este traço teve uma resistência maior à compressão axial que os demais.

Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio foi executado com um corpo de prova de cada traço de argamassas, em seu estado endurecido na idade de 28 dias. A tabela 8 a seguir apresenta os resultados obtidos neste ensaio.

Tabela 8 - Resultado densidade de massa no estado endurecido.

TRAÇO	PESO (g)	DIMENSÕES		VOLUME (cm ³)	DENSIDADE (g/cm ³)
		Diâmetro (cm)	Altura (cm)		
100% areia (referência)	413	5	10	785,39	0,5258
50% areia 50% pó de pedra	436	5	10,2	801,10	0,5442
100% pó de pedra	444	5	10,1	793,25	0,5597

Fonte: Autora (2023).

Observa-se que os traços com maior quantidade de pó de pedra obtiveram maior densidade de massa, pois estes traços têm maior quantidade de finos que preenche os poros da argamassa, tendo assim um aumento em seu peso. Para Tokarski (2017), o traço com maior quantidade de pó de pedra também obteve valor maior de densidade de massa (2,045 g/cm³).

Absorção de água por imersão e índice de vazios

Foi executado este ensaio com 3 corpos de prova de traços diferentes em estado endurecido na idade de 28 dias. Pode-se observar que a argamassa com traço 100% de areia natural apresentou melhor eficiência na redução de absorção de água. A tabela 9 a seguir apresenta os dados obtidos.

Tabela 9 - resultado absorção de água por imersão e índice de vazios.

TRAÇO	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO (%)	ÍNDICE DE VAZIOS (%)
100% areia (referência)	8,61	9,44
50% areia 50% pó de pedra	11,91	14,11
100% pó de pedra	14,98	22,66

Fonte: Autora (2023).

Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade

Este ensaio foi realizado com 3 corpos de prova aos 28 dias em seu estado endurecido. As tabelas 10 e 11 apresentam os resultados obtidos neste ensaio.

Tabela 10 – Resultado de absorção de água por capilaridade.

TRAÇO	ABSORÇÃO (g/cm ³) AOS 10 MINUTOS	ABSORÇÃO (g/cm ³) AOS 90 MINUTOS
100% areia natural (referência)	0,08	0,354
50% areia natural 50% pó de pedra	0,187	0,604
100% pó de pedra	0,353	0,708

Fonte: Autora (2023).

Tabela 11 – Resultado de coeficiente de capilaridade.

TRAÇO	COEFICIENTE DE CAPILARIDADE (g/dm ² .min ^{1/2})
100% areia natural (referência)	4,33
50% areia natural 50% pó de pedra	5,33
100% pó de pedra	5,67

Fonte: Autora (2023).

Observa-se que a argamassa com traço 100% de pó de pedra apresentou melhor eficiência de absorção de água tanto aos 10 minutos quanto aos 90 minutos. Acredita-se que, a argamassa com 100% de areia natural tenha mais poros fechados, o que dificulta a ascensão de água por capilaridade. Tokarski (2017) obteve resultados mais expressivos no traço com 100% areia natural.

Resistência de aderência à tração

Este ensaio foi realizado para a determinação da resistência de aderência à tração para todos os traços aos 28 dias. Conforme a NBR 13258 (ABNT, 2019), o valor mínimo de aderência à tração é de 0,20 Mpa para revestimentos internos e 0,30 Mpa para revestimentos externos. Os resultados foram obtidos através da média geral entre os 12 corpos de prova de cada traço. A tabela 12 apresenta os resultados obtidos neste ensaio.

Tabela 12 – Resultado de resistência de aderência à tração.

TRAÇO	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)
100% areia natural (referência)	0,58
50% areia natural 50% pó de pedra	0,69
100% pó de pedra	0,76

Fonte: Autora (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A argamassa de referência, com 100% de areia natural obteve melhor resultado nos ensaios de consistência da argamassa, sendo a argamassa mais fluida.

A argamassa com 50% de substituição obteve bons resultados nas análises, porém a argamassa com substituição total de seu agregado miúdo por pó de pedra obteve melhores resultados nos ensaios de densidade de massa, resistência à compressão axial, densidade de massa em estado endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios, absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade e resistência de aderência à tração.

Portanto, através das análises realizadas demonstrou que o pó de pedra apresenta boas características físicas e mecânicas, sendo indicado para uso em argamassas de revestimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

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, RJ: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

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 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528. Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13530: Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificações. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. Agregado Miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009.

ERBA, L. A.; AZAMBUJA, M. A. Avaliação da resistência de aderência à tração em argamassa para revestimento com incorporação de areia de britagem. Unesp. São Paulo, SP. 2022.

MATTANA, A. J.; MEDEIROS, M. H. F.; COSTA, M. R. M. M. Análise hierárquica para escolha de agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. Curitiba, 2012.

MUPPAR, V. K. R.; MOHAMED, F. A. Crushed stone dust as a replacement for river sand in self compacting repair mortars – A sustainable solution. Chaitanya Bharathi Institute of Technology. Hyderabad, Telangana State, Índia, 2022.

RECENA, F. A. P. Conhecendo argamassa. Editora Universitária PUCRS. Porto Alegre 2011.

RUBIN, A. P. Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra. 2015. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SANTOS, T. F. Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basáltica para argamassas de assentamento. Centro Universitário Univates. Lajeado, 2017.

SHARMA S.; VYAS, A. K. A study on use of granite powder and crusher dust as fine aggregate in cement mortar. Instituto Nacional de Tecnologia Malaviya. Jaipur, Índia, 2023.

SILVA, J. R.; BAO, M. Análise técnica e econômica da utilização de areia de britagem com granulometria otimizada em argamassa de chapisco e emboço. Pato Branco, 2014.

SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SILVA, C. R.; SILVA, I. V. T.; SILVA, V. H. T.; BRAGA, C. S. Alternativa sustentável para fabricação de argamassa de revestimento. Faculdade Evangélica de Goianésia. 2021.

SILVA, G.B., SOUZA, F.R., GOMES, A.C.F. Caracterização tecnológica de resíduo de britagem e sua avaliação como areia artificial. Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). 2021.

TOKARSKI, R. B. Comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Protótipo de um dobrador de vergalhão de baixo custo

Gabriel de Amorim Gomes

Athus Igor Castro Holanda

Luiz Eduardo Sousa Sena

Luana Borges Goulart

Lucas Yoshi Tsugawa Palheta

Matheus Silva Santos

Jullyane Raquel Almeida Nunes

Maria Adrina Paixão de Souza da Silva

RESUMO

A presente pesquisa aborda o desenvolvimento da construção de um protótipo de dobrador de vergalhão, com o intuito de completar a disciplina de conformação plástica dos metais, como ferramenta de aprendizado e fixação de conteúdos relacionados a máquinas de conformação com diversas aplicações para a indústria. O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento da construção de um protótipo de dobrador de vergalhão, como desafio entregue aos alunos pertencentes à disciplina de conformação plástica dos metais, visando realizar um projeto para a resolução de uma problemática, sendo uma ferramenta de aprendizado e fixação de conteúdo. A metodologia incluiu pesquisa em inúmeras fontes para obtenção de ideias e maior entendimento sobre equipamentos de conformação plástica, especificamente a respeito de curvadoras de tubos e vergalhões, no qual, por meio das bases de pesquisas obtidas, fora-se decidido que o material a ser trabalhado pela equipe seria com a dobra de vergalhões - principalmente devido a praticidade da procura dos componentes levando em conta a questão do tamanho e escala, dessa forma, foram elencadas especificações dos materiais que o dobrador precisaria possuir para poder realizar as deformações no vergalhão, sendo todos os materiais do protótipo de aço, derivados de uma longa busca em “ferro velho” em Abaetetuba/Pará, tornando o dobrador de vergalhão mais sustentável para o meio ambiente por ser composto de materiais reutilizados, devido uma nova finalidade a este ter sido dada. Em suma, a escolha da problemática abordada pela equipe foi relacionada à dobra de vergalhões na construção civil, processo amplamente utilizado durante as obras construtoras. Onde, os equipamentos necessários para tal processo, por vezes, podem ser custosos, o que torna o processo de construção mais caro e, conseqüentemente, mais difícil de ser realizado, principalmente quando se trata da construção de moradias mais humildes em comunidades carentes. Dessa forma, o projeto buscou a construção de um protótipo de dobrador de vergalhão que fosse eficiente, barato e possível de ser produzido utilizando materiais reutilizados provenientes de ferro velho.

Palavras-chave: construção. protótipo. dobrador de vergalhão. conformação plástica dos metais.



ABSTRACT

The study of plastic forming has a significant impact on the current industry, considering that this theme deepens the understandings and discoveries in the area, enabling new improvements in the sector and bringing new perspectives for the production of parts and equipment that meet the demands of the manufacturing industry and mechanical construction. The objective of this work is to present the development of the construction of a prototype rebar bender, as a challenge given to the students of the Plastic Forming of Metals course, aiming to develop a project to solve a problem, as a tool for learning and fixing content. The methodology included research in numerous sources to obtain ideas and a better understanding of plastic forming equipment, specifically regarding tube and rebar bending machines. Through the research obtained, it was decided that the material to be worked on by the team would be rebar bending - mainly due to the practicality of searching for components taking into account the issue of size and scale. This way, the specifications of the materials that the bender would need to be able to perform the rebar deformations were listed, being all the materials of the steel prototype derived from a long search in “junkyards” in Abaetetuba/Pará, making the rebar bender more sustainable for the environment for being composed of reused materials, due to a new purpose given to it. In summary, the choice of the problem addressed by the team was related to rebar bending in civil construction, a process widely used during construction works. Where, the equipment needed for such process can sometimes be expensive, which makes the construction process more expensive and, consequently, more difficult to be carried out, especially when it comes to the construction of humble houses in poor communities. Thus, the project sought to build a prototype rebar bender that was efficient, cheap, and possible to produce using reused materials from scrap iron.

Keywords: construction. prototype. rebar bender. plastic conformation of the metals.

INTRODUÇÃO

O estudo de conformação plástica tem impacto significativo na indústria atual, tendo em vista que, esta temática aprofunda os entendimentos e descobertas na área, possibilitando novas melhorias no setor e trazendo novas perspectivas de produção de peças.

Frente a isso, entende-se por processo de conformação dos corpos metálicos, como o processo de modificação da forma desse corpo metálico para outra forma definida, sendo divididos os processos de conformação, em mecânicos, nos quais as modificações de forma são provocadas pela aplicação de tensões externas, e às vezes em altas temperaturas, mas sem a liquefação do metal; e processos metalúrgicos, nos quais as modificações de forma podem estar relacionadas também às tensões externas, e às vezes em altas temperaturas, mas com liquefação do metal (como no processo de fundição) ou com a difusão de partículas metálicas (como no processo de sinterização) (FILHO, *et al.*, 2011).

A disciplina de conformação plástica dos metais tem como objetivo apresentar ao aluno de engenharia mecânica os conceitos básicos acerca dos processos de conformação, suas consequências e peculiaridades de fabricação de peças metálicas. Para tanto, após apresentado o conteúdo programático da disciplina de forma teórica, foi utilizada a metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), do inglês “Problem Based

Learning” (PBL), cujo “propósito tornar o aluno capaz de construir o aprendizado conceitual, procedimental e atitudinal por meio de problemas propostos que o expõe a situações motivadoras e o prepara para o mundo do trabalho” (BOROCHOVICIUS, 2014). Dessa forma, o desafio apresentado aos alunos da disciplina seria de realizar um projeto para a resolução de uma problemática.

A problemática abordada pela equipe foi relacionada à dobra de vergalhões na construção civil, processo amplamente utilizado durante a obra. Onde, os equipamentos necessários para tal processo, por vezes, podem ser custosos, o que torna o processo de construção mais caro e, conseqüentemente mais difícil de ser realizado, principalmente quando se trata da construção de moradias mais humildes em comunidades carentes. Dessa forma, o projeto buscou a construção de um protótipo de dobrador de vergalhão que fosse eficiente, barato e possível de ser produzido utilizando materiais reciclados provenientes de ferro velho.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Construir um protótipo de Dobrador de Vergalhão com a finalidade de concluir a disciplina de Conformação Plástica dos Metais, como ferramenta de aprendizado e fixação de conteúdos relacionados às máquinas de conformação com variadas aplicações para a indústria.

Objetivos Específicos

- Pesquisar sobre a temática para embasamento teórico;
- Definir etapas do projeto de construção;
- Calcular os dados importantes acerca do protótipo;
- Desenhar o protótipo computacionalmente;
- Escolher as peças e materiais ideais para construção do protótipo;
- Cumprir com a aplicação proposta.

REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme Moraes (2009), a disciplina “Conformação Plástica dos Metais” ou MEC 0864 trata da descrição metalúrgico-mecânica (matemática) dos processos de conformação plástica dos metais. O objetivo primordial desta disciplina é a obtenção da carga de conformação para uma determinada peça e/ou as condições de aplicação desta carga por meio da descrição matemática do problema de conformação. Também é do interesse a prevenção de eventualidades que podem ocorrer no processo de conformação que degradem a qualidade do material após a conformação (trincas, rasgos, rugosidades). Assim, considerando o conceito de conformação plástica dos metais, que pode ser, por

exemplo: Quanto à operação onde se aplicam solicitações mecânicas em metais, que respondem com uma mudança permanente de dimensões (Helman e Cetlin, 1983), bem como, processo de alteração de geometria de um material (conformação) mediante aplicação de esforços mecânicos. Em ambos os casos, existem diversas características do processo (temperatura, força aplicada, número de operações de conformação, etc.) que são determinantes na quantidade de energia (força) empregada no processo e também para as características do produto final.

Os processos de conformação mecânica alteram a geometria do material através de forças aplicadas por ferramentas adequadas que podem variar desde pequenas matrizes até grandes cilindros, como os empregados na laminação. Em função da temperatura e do material utilizado, a conformação mecânica pode ser classificada como trabalho a frio, a morno e a quente. Cada um destes trabalhos fornecerá características especiais ao material e à peça obtida. Estas características serão uma da matéria prima utilizada como composição química e estrutura metalúrgica (natureza, tamanho, forma e distribuição das fases presentes) e das condições impostas pelo processo tais como o tipo e o grau de deformação, a velocidade de deformação e a temperatura em que o material é deformado (FEIDEN, 2012).

A crescente competição no cenário empresarial possibilita com que a maioria das organizações busquem posições competitivas e sustentáveis, tendo que responder às demandas de mercado com qualidade, rapidez e eficiência a baixos custos. Empresas brasileiras que dependem da matéria prima vendida em dólar, podem ter dificuldades nos custos devido à volatilidade do câmbio, o que faz com que busquem aperfeiçoamento em sua produção e o evitar do desperdício para não repassar esse custo ao produto. A construção de um dobrador de tubos manual promove ganhos significativos, tanto no aspecto financeiro, quanto no estratégico, devido à redução da necessidade de importação de peças, reduzindo custos, pelo fato das peças poderem ser fabricadas localmente, caso estas não sejam encontradas no Brasil (LISBOA, *et al.*, 2018).

A utilização de um dobrador de vergalhão de bancada é fundamental em diversas aplicações que envolvem a produção de peças e componentes de metal. Isso porque esse tipo de ferramenta permite dobrar barras de aço (vergalhões) em ângulos precisos e uniformes, o que é essencial para garantir a qualidade e a precisão das peças produzidas. A principal vantagem de um dobrador de vergalhão de bancada é a sua capacidade de dobrar barras de aço em diferentes ângulos, com precisão e uniformidade. Isso significa que é possível produzir peças de metal com formas e tamanhos variados, de acordo com as necessidades do projeto. O dobrador de vergalhão é um equipamento de grande valia dentro dos canteiros de obras pelo país, ele permite que a tarefa de dobrar vergalhões seja feita de forma prática, segura e dentro das normas técnicas vigentes (SELTEC MÁQUINAS, 2019).

A influência da conformação plástica dos metais na elaboração e construção de um protótipo de dobrador de vergalhão, visando otimizar tempo no processo produtivo de fabricação de produtos, além de, reduzir custos de importação de peças específicas advindas do exterior, tendo em vista que a manufatura de ajustes em componentes seria possibilitada por meio do protótipo em questão.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do protótipo foram realizadas, inicialmente, pesquisas no Google Acadêmico e vídeos educacionais para a obtenção de ideias e maior entendimento sobre máquinas de conformação plástica, especificamente sobre Dobradores de Tubos e Vergalhões. Com base nas pesquisas, foram listadas especificações dos materiais que a máquina iria precisar para conseguir efetuar as deformações nos vergalhões. Todas as peças são de aço oriundo de ferro velho.

Os materiais que compõem o protótipo são frutos de uma longa busca em “ferro velho” na cidade de Abaetetuba/Pará. Logo, o Dobrador de Vergalhão é composto de materiais que estão sendo reutilizados, o que o torna mais sustentável para o meio ambiente e ainda concede uma nova aplicação para materiais que não seriam mais utilizados.

Materiais

- Roldanas de aço oriundo de ferro velho com 100mm de diâmetro;
- Roldana de aço oriundo de ferro velho com 75mm de diâmetro;
- 5 Arruelas;
- Tubo de apoio 315 mm;
- Cabo de força 640 mm;
- Chapa metálica $\frac{3}{8}$ - Base;
- 2 Parafusos de $\frac{1}{2}$ para 3” - Polias;
- 3 Parafusos de 6 mm para 1” $\frac{1}{2}$ - Suporte do cabo de força;
- 2 Parafusos de 8 mm para 10 mm - Suporte do vergalhão;
- 2 Parafusos de 88 mm para 2” $\frac{1}{4}$ - Base.

Construção do protótipo

Seguem os passos seguidos para a confecção do protótipo:

- As cantoneiras de 1” $\frac{1}{2}$ foram cortadas para ter as seguintes medidas de cada lado: 25 mm de altura por 100 mm de comprimento em um dos extremos da chapa e no outro lado foram deixados com 37 mm de altura por 285 mm de comprimento;

- Realizaram-se as medidas das polias com uma cantoneira mencionada e feita as devidas marcações para um furo que passará pelas roldanas;

- Em seguida é fixado com um parafuso à roldana menor e adaptado para a roldana maior dobrar duas medidas de tubo, com isso foi feito um terceiro furo na chapa/cantoneira lateral;

- A cantoneira foi cortada para fazer um chanfro e este foi arredondado com uma lixadeira;

- Na outra ponta possuem 3 furos com 100 mm na ponta da cantoneira para fixação do cabo de força;
- Com a união das duas cantoneiras são realizados os furos mencionados anteriormente e fixado devidamente o braço com a roldana;
- Nesse momento é realizado duas marcações na base para localizar os pontos a serem perfurados, os quais serão os parafusados na roldana fixa;
- Em seguida, fez-se uma estimativa de corte da base para a rotação na hora de dobrar os produtos (vergalhões), resultando na base exibida da figura (12);
- Na lateral oposta às marcações da roldana fixa a base é feita dois furos onde será colocada uma cantoneira que servirá como um suporte/fixador do vergalhão para o processo de dobra;
- Foram-se realizados mais dois furos pela placa para fixar dois parafusos que servirão para manter um apoio para a base e o dobrador na hora dos procedimentos;
- E finalmente, fez-se o encaixe com as respectivas arruelas e parafusos no protótipo como pode ser visualizado o resultado na figura (13).

Equações

Desenvolvimento dos cálculos do protótipo de dobrador de vergalhão Cálculo do dimensionamento do protótipo de dobrador de vergalhão

De acordo com o dimensionamento do protótipo é medido o desenvolvimento da peça que irá ser conformada, com isso verifica-se o comprimento final do corpo de prova. O vergalhão, CA-50 (SAE 1028), possui 10 mm de diâmetro e 610 mm de comprimento inicial.

Para efetuar o cálculo de dimensionamento é necessário verificar a linha neutra (LN), como o diâmetro da peça é maior que 1 mm, a LN será $\frac{1}{3}$ do diâmetro, que será de 3,3 mm. Logo, o Raio Neutro (RN) é a soma do raio com a LN, será obtido um valor de 8,3 mm. Devido ao esforço de dobra realizado no vergalhão, conseqüentemente, este apresentará um cotovelo de 90°. Usando a Equação (1) de dimensionamento (D) para calcular o comprimento final do vergalhão após a realização da força de dobra, tem-se:

$$D = \frac{2\pi RN\alpha}{360^\circ} \quad (1)$$

Onde:

D = cálculo do dimensionamento;

$2\pi RN$ = comprimento da circunferência, levando em conta o Raio Neutro (RN);

RN = Raio Neutro;

α = ângulo de dobramento;

$$D = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,3(\text{mm}) \cdot 90^\circ}{360^\circ}$$

$D = 13,089 \text{ mm}$ (*Comprimento final adicionado*).

O que implica que o comprimento final é de 623,089 mm.

Cálculo da força de dobra do protótipo de dobrador de vergalhão

Usando a Equação (2) para calcular a força de dobra (F_D), tem-se:

$$F_D = \frac{1}{6} \sigma_D e l \quad (2)$$

Onde:

F_D = Força de dobra;

σ_D = Tensão de dobra;

e = espessura do vergalhão;

l = comprimento do vergalhão.

Como a razão entre o comprimento e a espessura do vergalhão é maior que 10, utiliza-se como tensão de dobra o dobro da tensão de ruptura do material. Para o aço SAE 1028, a tensão de ruptura é 540 MPa (SHAW *et al.*, 2001). Dessa forma:

$$F_D = \frac{1}{6} \times 540 \times 100 \times 10/610$$

$$F_D = 147,5 \text{ MPa (Força de dobra)}$$

Figuras, quadros e tabelas

Figura 1 – Roldana menor.



Fonte: Autor, 2022

Figura 2 – Roldana maior.



Fonte: Autor, 2022

Figura 3 – Cantoneira.



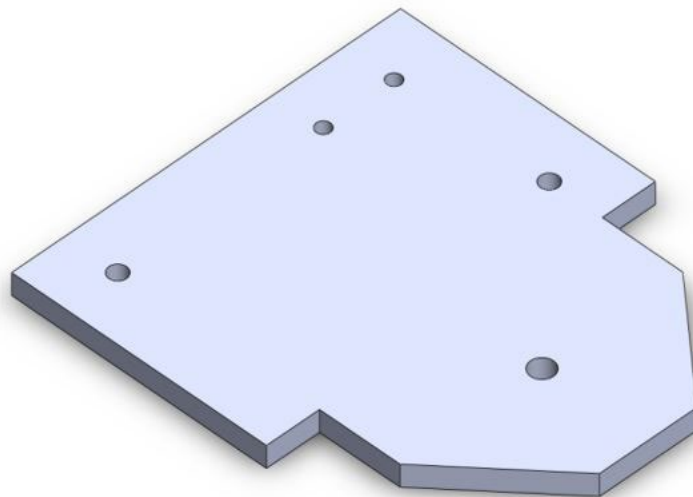
Fonte: Autor, 2022

Figura 4 – Braço de suporte.



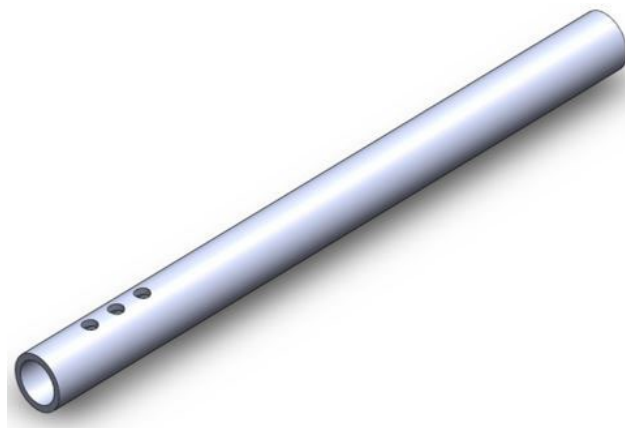
Fonte: Autor, 2022

Figura 5 – Vista isométrica da base do protótipo, desenho computacional realizado no software Solidworks.



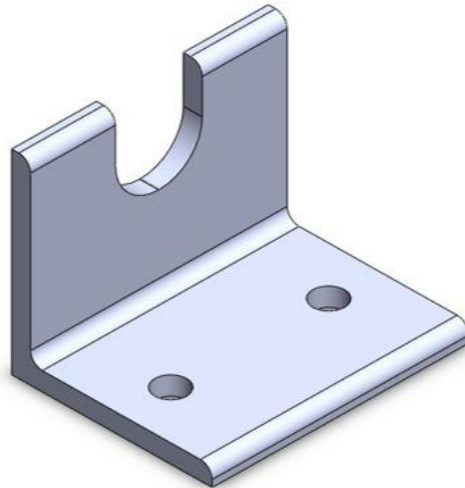
Fonte: Autor, 2022

Figura 6 – Vista isométrica do tubo para o cabo de força do protótipo, desenho computacional realizado no software Solidworks.



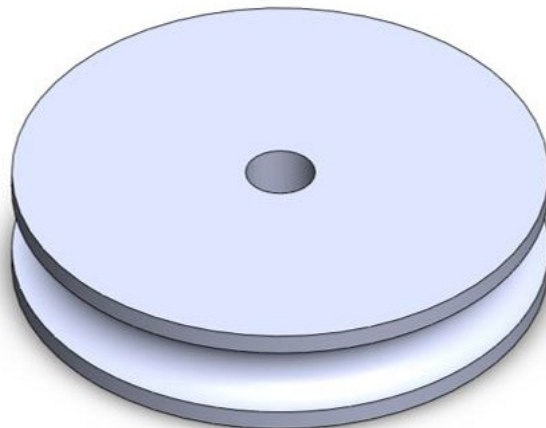
Fonte: Autor, 2022

Figura 7 – Vista isométrica do suporte do protótipo, desenho computacional realizado no software Solidworks.



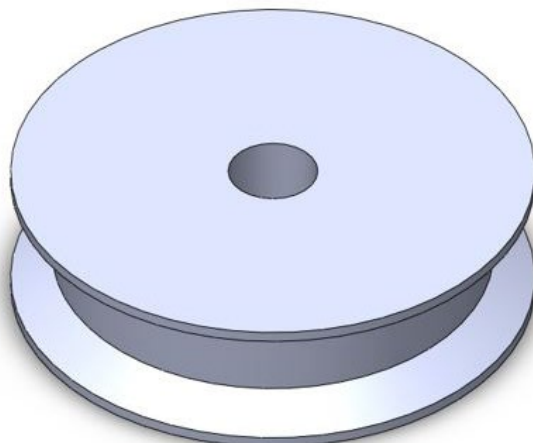
Fonte: Autor, 2022

Figura 8 – Vista isométrica da roldana maior do protótipo, desenho computacional realizado no software Solidworks.



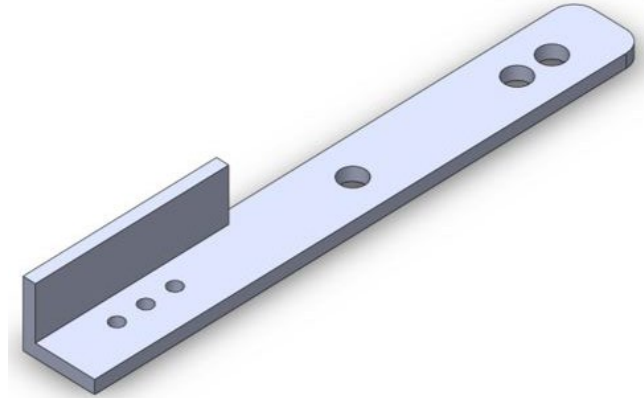
Fonte: Autor, 2022

Figura 9 – Vista isométrica da roldana menor do protótipo, desenho computacional realizado no software Solidworks.



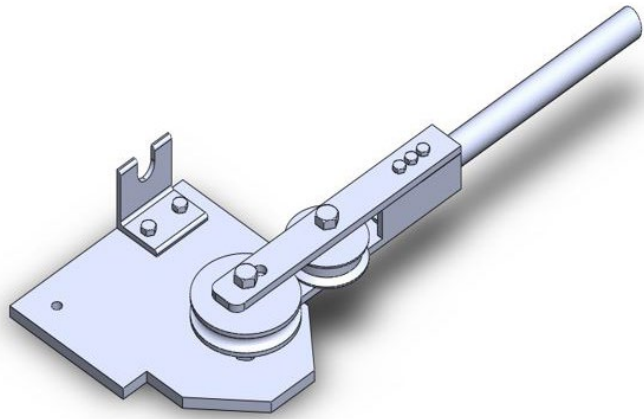
Fonte: Autor, 2022

Figura 10 – Vista isométrica da lateral do protótipo, desenho computacional realizado no software Solidworks.



Fonte: Autor, 2022

Figura 11 – Vista isométrica do protótipo montado, desenho computacional realizado no software Solidworks.



Fonte: Autor, 2022

Figura 12 – Vista isométrica da base do protótipo.



Fonte: Autor, 2022

Figura 13 – Vista isométrica do protótipo montado.

Fonte: Autor, 2022

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o objetivo principal do trabalho foi alcançado, o dobrador de vergalhão confeccionado provou-se eficaz na conformação de vergalhões, demonstrando capacidade de dobrar materiais que possuam uma tensão de escoamento menor que a do aço. Destaca-se ainda que, o protótipo em questão fora construído visando apenas sua viável execução e aplicação deveras prática, ou seja, fazendo uso de materiais metálicos reaproveitados de ferro velho, necessitando-se ainda de aprimoramentos e ajustes mais específicos, a exemplo do dimensionamento do suporte que é montado e preso a mesa por meio de sargentos (ferramentas de fixação), objetivando com isso, aumento de precisão nas medidas, para que assim, sejam reduzidas as folgas excessivas. Vale ressaltar, também, que este projeto foi de grande valor acadêmico para os membros da equipe, pois em seu decorrer foram aplicados diversos conhecimentos teóricos e práticos da engenharia mecânica. Essa ferramenta permite dobrar barras de aço em ângulos precisos e uniformes, o que é essencial para garantir a qualidade e a precisão das peças produzidas. Além disso, um dobrador de vergalhão de bancada é fácil de usar, relativamente compacto e pode ser uma opção acessível para pequenas oficinas ou empresas.

Uma aplicação útil para um dobrador de vergalhão utilizado em uma bancada de oficina seria a produção de peças e componentes de metal para diversos fins, tais como: Peças de mobiliário: Por meio do dobrador de vergalhão, é possível produzir peças de metal para construir móveis, tais como cadeiras, mesas e estantes. Os ângulos precisos e uniformes produzidos pelo dobrador de vergalhão garantem que as peças se encaixem perfeitamente, o que resulta em móveis mais resistentes e duráveis; Grades de proteção: Em oficinas mecânicas ou industriais, é necessário proteger máquinas e equipamentos para evitar acidentes. Com um dobrador de vergalhão, é possível produzir grades de proteção em diferentes tamanhos e formatos, personalizadas para cada máquina ou equipamento; Estruturas metálicas: Em projetos de construção civil ou de engenharia, é comum utilizar estruturas metálicas para suportar cargas ou para dar forma a edifícios e infraestruturas.

Com um dobrador de vergalhão, é possível produzir as barras de aço dobradas com precisão para compor essas estruturas.

A utilização de um dobrador de vergalhão de bancada pode trazer diversos benefícios para uma empresa ou oficina que trabalha com metalurgia ou serralheria, incluindo maior eficiência na produção, redução de custos, melhoria da qualidade das peças, maior versatilidade na produção e facilidade de manutenção.

REFERÊNCIAS

- BOROCHOVICIUS, *et al.*, 2014. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, v. 22, n. 83, p. 263–294, jun. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ensaio/a/QQXPb5SbP54VJtpmvThLBTc/?format=pdf#:~:text=O%20m%C3%A9todo%20da%20Aprendizagem%20Baseada,para%20o%20mundo%20do%20trabalho>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- SELTEC MÁQUINAS, 2019. Dobrador de Vergalhão. [Seltecmaquinas.com.br](https://www.seltecmaquinas.com.br). Disponível em: <https://www.seltecmaquinas.com.br/dobrador-de-vergalhao>. Acesso em: 6 jul. 2023.
- FEIDEN, R., 2012. Dispositivo Hidráulico Para Dobrar Tubos. UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. UERGS – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/1363/TCC%20Ramiro%20Feiden.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- FILHO, E. B., Silva, I. B. da Batalha, G. F., Button, S. T., 2011. Conformação Plástica dos Metais. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/CONFORMACAO%20PLASTICA%20DOS%20METAIS.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- HELMAN, H., CETLIN, P. R., 1983. *Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais*. Rio de Janeiro, RJ, Guanabara Dois, 171 p.
- LISBOA, C. F., Costa, D. V. da, Santos, L. D. R. dos, 2018. Protótipo de um dobrador manual de tubos. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_dobrador_de_tubo_manual_pronto2.pdf. Acesso em: 5 jul. 2022.
- MORAIS, W. A. de, 2009. Conformação Plástica dos Metais. Disponível em: <https://www.unisantabr/materialdidaticorm/arquivos%5CAPOSTILAPARTEIa108518.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2023.
- ROLDANAS, 2019. Relação de Roldanas. PARAFIX. Disponível em: <http://www.roldanas.com.br/CATALOGO2019.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- ROSA, A., 2021. PARAFUSO CABEÇA SEXTAVADA-ASME B18.2.1. Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library. Disponível em: <https://grabcad.com/library/parafuso-cabeca-sextavada-asme-b18-2-1-1>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- SHAW, J. R., & ZUIDEMA, B. K. (2001). New High Strength Steels Help Automakers Reach Future Goals for Safety, Affordability, Fuel Efficiency and Environmental Responsibility. *SAE Transactions*, 110, 976–983. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/44699861>. Acesso em: 5 jul. 2022.

STS ROLDANAS. Catálogo de Roldanas. Disponível em: <https://stsroldanas.com/catalogo.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente ao mecânico industrial Leonaldo da Silva Gomes, por nos orientar em todo o processo de obtenção e fabricação do protótipo, que foi imprescindível para a equipe e construção desse projeto. Gratidão a Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Universidade Federal do Pará (UFPA) por disponibilizar o espaço do Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM). Estendendo-se o agradecimento também, ao Grupo de Pesquisa Núcleo de Processamento de Materiais (NPM) da Universidade Federal do Pará (UFPA), no qual, sem dúvida este espaço fora essencial para o desenvolvimento das etapas referentes ao desenvolvimento do projeto como um todo e de pontos específicos, como a realização dos cálculos pertencentes ao protótipo em si.

Organizador

Jean Carlos Rodrigues

Engenheiro Industrial Mecânico pelo CEFET-MG, Físico licenciado pela UFMG, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFMG e Doutorando em Engenharia Mecânica pela PUC. Além de especialista em metodologias ativas e tecnologias educacionais. Possui 14 anos de experiência na área educacional atuando como professor e coordenador no ensino superior.

Índice Remissivo

A

abordagem 13, 38, 95, 97, 131
adesivo 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92
adsorção química 131
ambiental 28, 49, 54, 61, 62, 65, 72, 80, 96, 103, 105, 106, 110, 111, 112, 118, 133, 146, 147, 148, 160, 161
ambientes 16, 29, 32, 33, 34
análise 12, 13, 14, 16, 25, 47, 57, 60, 65, 96, 98, 99, 101, 102
análises 14, 19, 23, 41, 95, 97, 99, 131, 140, 142, 145, 146
aprendizagem 105, 112
areia natural 160, 161, 162, 164, 165, 166, 168
argamassa 67, 69, 119, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169
argamassas 136, 161, 163, 164, 165, 167, 168
autonomia 36, 37, 38, 41, 43, 44

C

cimento 60, 61, 62, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71
cliente 12, 13, 15, 17, 18, 19, 22
clima amazônico 29, 30, 33
climatização 29, 31, 32, 33
clínicas médicas 105, 106, 107, 109, 111, 112
cobramento 149
conceitos 12, 16, 21, 77, 108, 113, 171
conforto térmico 29, 31, 33
construção 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 28, 60, 61, 76, 80, 88, 95, 97, 101, 102, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 129, 130, 131, 136, 141, 160, 161, 170, 172, 173, 181, 183
construção civil 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 27, 28, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 129, 130, 131, 136, 160, 161
consumo 38, 41, 42, 43, 48, 50, 55
corrosão 149, 150, 152, 154, 156, 157, 158, 159
crescimento populacional 61

D

desenvolvimento 23, 25, 27, 38, 60, 61, 62, 72, 79, 80, 93, 96, 105, 106, 107, 110, 115, 117, 122, 124, 170,

174, 175, 183
deterioração 150, 152
dobrador 170, 172, 173, 175, 176, 181, 182
drenagem 101, 117, 118

E

ecológico 87
econômico 16, 48, 49, 50, 58, 61, 72, 80
eficiência 15, 22, 31, 32, 33, 35, 41, 48, 49, 54, 57
efluente 131, 133, 135, 136, 137, 139, 140, 142, 143,
144, 145, 146
efluentes 73, 131, 133, 136, 141, 142, 143, 145, 146, 148
eletrólise 149, 151, 152, 153, 154, 156, 158, 159
eletrólito 151, 152, 154
energia solar 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 48, 49,
50, 51, 53, 55, 56, 57, 58
energias renováveis 36
estratégias 28, 55, 60, 61

F

fabricação 61, 65, 87, 88, 113, 115, 123, 161, 169
ferramenta 12, 21, 23, 24, 96, 105, 112, 170, 172, 173,
181
formaldeído 86, 87, 88, 89, 90, 92
fotovoltaica 36, 37, 38, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 54, 55, 56,
57, 58, 59

G

galvanização 149, 153, 154, 155, 156, 157, 158
gestão 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25,
26, 27, 28
gestão de qualidade 12, 13, 15

I

imersão 87, 90, 91, 160, 163, 165, 167
impacto ambiental 61, 80, 110, 118, 160
impactos ambientais 56, 65, 102, 112, 116, 117, 118

indústrias 15, 16, 21, 48, 49, 54, 56, 57, 58
inutilizáveis 150

L

lama 131, 132, 134, 136, 137
liberação 72, 74
lucratividade 12, 22

M

mapabiomas 95
mapas temáticos 95, 97, 99, 101, 102
matemática 172
material metálico 150
meio ambiente 21, 28, 49, 53, 55, 57, 76, 80, 88
metodológica 95, 97
motorhome 36, 37, 38, 46

N

norma 13, 14, 15, 17, 21, 23, 24, 31, 90, 116, 129, 131,
146, 148
normas 16, 17, 31, 32, 41, 54, 106, 111, 120, 122

O

off-grid 36, 37, 43, 45, 46, 47
ornamentais 131, 132, 134, 135, 136, 139, 146, 147
oxidação 77, 142, 151, 152, 153, 156, 157

P

painéis de madeira 87, 89
painel 53, 59, 87, 88, 89, 90, 92
plástica 170, 171, 172, 173, 174
pó de pedra 68, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167
pó de vidro 60, 61, 62, 63, 66, 67, 69, 71

polimento 131, 132, 134, 135, 139
preservação ambiental 105, 106, 111
problemas ambientais 49, 115, 116
processo 12, 14, 16, 19, 22, 25, 30, 31, 40, 48, 61, 73,
78, 79, 88, 89, 90, 97, 106, 107, 108, 115, 116, 117,
118, 120, 121, 124, 125, 126, 131, 132, 133, 134,
135, 136, 137, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 146,
147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 156, 157, 159,
170, 171, 172, 173, 175, 183
processos 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28,
30, 37, 56, 61, 77, 102
produção 14, 16, 17, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 39, 47, 49,
50, 54, 56, 60, 61, 62, 65, 76, 79, 86, 87, 88, 92,
107, 111, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 132, 133,
136, 137, 138, 149, 156, 171, 173, 181, 182
produção de painéis 86, 88
produtividade 12, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 28
protótipo 170, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 179, 180,
181, 183

Q

qualidade 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24,
25, 26, 27, 28

R

reaproveitamento 76, 108, 110, 115, 116, 117, 122
reciclagem , 76, 88
recursos 17, 18, 24, 25, 48, 49, 56
renováveis 36, 38, 39, 48, 50, 58
resíduos 23, 61, 70, 72, 77, 80, 106, 108, 109, 110, 111,
112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121,
122, 123, 124, 129, 130
resistência 25, 60, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 88, 115, 116,
120, 121, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 149, 152,
158, 160, 163, 164, 165, 166, 167, 168
revestimento 160

S

sílica 61, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80
sistema 5, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 23, 24, 27, 28, 36,
37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47

sistemas 13, 14, 15, 17, 19, 23, 26, 27, 28, 31, 32, 41,
47, 54, 55, 56, 110, 117, 118
socioambiental 95, 116, 117, 129
sustentabilidade 19, 48, 54, 56, 57, 58
sustentáveis 39, 48, 56, 161
sustentável 38, 49, 55, 57, 87, 88, 105, 115, 117, 136,
156, 169, 170, 174

T

temperatura 29, 30, 32, 33
tratamento 78, 79, 90, 109, 111, 113, 131, 133, 135,
137, 140, 141, 143, 144, 145, 146

V

veículo 36, 37, 38, 41, 42, 43, 46
vergalhão 170, 172, 173, 174, 175, 176, 181, 182
viabilidade 36, 37, 38, 41, 47

