

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)**

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido



Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 3

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Franciele Braga Machado Tullio

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F697 Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 3 / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-980-6

DOI 10.22533/at.ed.806211204

1. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizadora). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

A obra “Força, Crescimento e Qualidade na Engenharia Civil no Brasil 3” contempla trinta e um capítulos com pesquisas sobre temas gerais da engenharia civil.

A engenharia civil é uma importante ferramenta social, pois através dela é possível apresentar propostas de edificações com fins sociais, bem como levar saneamento básico para comunidades vulneráveis.

Muitos estudos buscam trazer soluções sustentáveis através da engenharia civil. A aplicação de diversos tipos de resíduos pode gerar novos produtos aplicados na construção civil e pavimentação.

Conhecer o comportamento de materiais de construção, bem como o desenvolvimento de novos produtos, bem como a análise do comportamento de estruturas em diversos métodos construtivos auxilia os profissionais e estudantes a avaliar suas escolhas.

Por fim, apresentamos um estudo sobre o, ainda presente, preconceito que a mulher sofre na área de engenharia civil.

Desejo que esta obra proporcione uma agradável leitura e fomenta novas pesquisas, contribuindo para a força, o crescimento e a qualidade da engenharia civil no Brasil.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PEDRAS ORNAMENTAIS NAS PROPRIEDADES DE CONCRETOS E ARGAMASSAS**

Ana Flávia Ramos Cruz  
Cláudia Valéria Gávio Coura  
Arthur Ferreira de Paiva  
Lucas Machado Rocha  
Matheus Pereira Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.8062112041**

### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM SUBSTITUIÇÃO PACIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO RCD**

Lara Guizi Anoni  
Ana Paula Moreno Trigo

**DOI 10.22533/at.ed.8062112042**

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO ADIÇÃO MINERAL ÀS COMPOSTOS CIMENTÍCIOS**

Bruna Silva Almada  
Alex Sovat Cancio  
Marlo Souza Duarte  
Fernanda Galvão de Paula  
Nara Linhares Borges de Castro  
Abner Araújo Fajardo  
White José dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8062112043**

### **CAPÍTULO 4..... 39**

#### **AVALIAÇÃO DE MICROESTRUTURA DE PASTAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO DEPOSITADOS EM BARRAGEM DE LAMAS**

Nara Linhares Borges de Castro  
Laura Guimarães Lage  
Carlos Augusto de Souza Oliveira  
White José dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8062112044**

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS VÍTREOS NA PRODUÇÃO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO**

Isabelle Aparecida Costa  
Ricardo Schneider

**DOI 10.22533/at.ed.8062112045**



<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>59</b>
LOGÍSTICA REVERSA COMO INSTRUMENTO SUSTENTÁVEL POTENCIALIZADOR PARA DIMINUIR O DESCARTE RESIDUAL	
Fernanda Francine Miranda Braz Maria Clara Pestana Calsa Adriane Mendes Vieira Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112046</b>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>73</b>
FABRICAÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL UTILIZANDO FIBRAS DE CURAUÁ (ANANASERECTIFOLIUS) E RESÍDUOS DE ARGILA CALCINADA COMO AGREGADO	
Isnailson Feitosa Pinheiro Hilderson da Silva Freitas Samuel Cameli Fernandes Laerte Melo Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112047</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>85</b>
INTERFERÊNCIA DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FORMULAÇÕES A BASE DE EGAF E FGD	
Eduarda Pyro Magesk Desilvia Machado Louzada Alessandra Savazzini dos Reis Viviana Possamai Della Sagrillo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112048</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>92</b>
PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO	
Rebeca Fernandes Balsalobre Marcos Rafael Radaelli Fernando Nunes Cavalheiro Gustavo Savaris	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112049</b>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>102</b>
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Lidianne do Nascimento Farias	
<b>DOI 10.22533/at.ed.80621120410</b>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>112</b>
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CARBONO	
Luiz Fernando Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.80621120411</b>	

**CAPÍTULO 12..... 118**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA TRATADA COM IGNIFUGANTES EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

Gustavo Souza Silva  
Ismael Francisco Dias Junior  
Mayra Kethlyn da Silva Nascimento  
Victor dos Santos Carneiro  
Maria Fernanda Quintana Ytza

**DOI 10.22533/at.ed.80621120412**

**CAPÍTULO 13..... 128**

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO LEVE COM RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS**

Lucas Antônio Morais Oliveira  
Ingride Escaño  
Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

**DOI 10.22533/at.ed.80621120413**

**CAPÍTULO 14..... 142**

**INVESTIGAÇÃO DE REQUISITOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Rayza Beatriz Rosa Araújo  
Walter Ladislau de Barros Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.80621120414**

**CAPÍTULO 15..... 155**

**PRODUÇÃO DE COMPOSTOS COM ÓXIDO DE EURÓPIO (EU<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): DOPAGEM POR ALUMÍNIO (Al), FERRO (Fe), CARBONO (C), COBRE (Cu) E TITÂNIO (Ti) POR DEPOSIÇÃO DE VAPOR IÔNICO (ARC-PVD)**

Felipe Corrêa Ribeiro  
Célio Marques  
Daniel Rodrigues de Oliveira Novaes  
Gilmar de Souza Dias  
Isabelle Pereira Souza Dias  
Isac Rossi Sylvestre  
João Paulo Tailor de Matos Salvador  
Júllia Sttefane de Oliveira  
Lorena Silva Castello  
Maykon Elias Batista  
Rodrigo Vieira Rodrigues  
Tales Costa de Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.80621120415**

**CAPÍTULO 16..... 165**

**A INFLUÊNCIA DAS PONTES TÉRMICAS NO DESEMPENHO TÉRMICO, ENERGÉTICO E NAS ESTRUTURAS DAS EDIFICAÇÕES DA BAIXADA SANTISTA**

Edmar Nascimento Lopes  
Rodrigo Onofre de Oliveira  
Itamar Gonçalves da Silva

Rodrigo Coelho Roberto

DOI 10.22533/at.ed.80621120416

<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>175</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>176</b>

# CAPÍTULO 1

## A INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PEDRAS ORNAMENTAIS NAS PROPRIEDADES DE CONCRETOS E ARGAMASSAS

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 05/02/2021*

### **Ana Flávia Ramos Cruz**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais  
Juiz de Fora - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7881824872334454>

### **Cláudia Valéria Gávio Coura**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais  
Juiz de Fora - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/1974369704331449>

### **Arthur Ferreira de Paiva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais  
Juiz de Fora - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/6579142841018787>

### **Lucas Machado Rocha**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais  
Juiz de Fora - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5861383537041561>

### **Matheus Pereira Mendes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais  
Juiz de Fora - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/3379722661685232>

**RESUMO:** Para alcançar o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias e processos construtivos que tem como objetivo

minimizar a geração de resíduos e reduzir os impactos ambientais. Este setor é um dos que mais consome recursos naturais não renováveis e, por outro lado, pode ser considerado um dos mais eficazes para utilização de materiais reciclados. Sabe-se que outras indústrias, como a de produção de pedras ornamentais, produz grandes quantidades de materiais residuais em seu processo de produção, e que estes resíduos são passíveis de serem utilizados na construção civil. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade de uso dos resíduos da indústria de produção de pedras ornamentais como substituição ao agregado miúdo na produção de concretos e argamassas ou como adições. Para isso, é feita uma pesquisa bibliográfica nacionais acerca de trabalhos relevantes no assunto nos últimos 15 anos, com análise de seus resultados e apresentação das condições e dosagens mais favoráveis de utilização para melhoria das diversas propriedades desses materiais. Conclui-se que é possível o emprego desses resíduos nesse setor da construção civil, dada sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rochas; Materiais de Construção; Resíduos Industriais; Aproveitamento de Resíduos.

THE INFLUENCE OF THE USE OF WASTE FROM THE ORNAMENTAL STONES INDUSTRY ON THE PROPERTIES OF CONCRETE AND MORTARS

**ABSTRACT:** To achieve sustainable development in the civil construction sector, it is necessary



to develop technologies and construction processes that aim to minimize the generation of waste and reduce environmental impacts. This sector is one of the ones that most consumes non-renewable natural resources and, on the other hand, it can be considered one of the most effective for using recycled materials. Other industries, such as the production of ornamental stones, produce large quantities of residual materials in their production process, and these residues are likely to be used in civil construction. In this context, this work aims to verify the viability of using the residues of the ornamental stone production industry as a substitute for fine aggregate in the production of concrete and mortar or as additions. This present work used a national bibliographic search about relevant works in the subject in the last 15 years, with analysis of its results and presentation of the most favorable conditions and dosages for use to improve the various properties of these materials. The work concludes that it is possible to use this waste in this sector of civil construction, given its technical, economic and environmental viability.

**KEYWORDS:** Rocks; Construction Materials; Industrial Waste; Use of Waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

Após a década de 1980, os resíduos da construção civil se transformaram em grandes problemas devido ao aumento da população urbana, intensa industrialização e diversificação do consumo de bens e serviços. Os problemas envolviam seu oneroso gerenciamento, contaminação ambiental, escassez de depósitos causados pela intensa urbanização, dentre outros, segundo John (2000) e Coura (2009).

A gestão ambiental de resíduos sólidos foi debatida durante a ECO-92 com a definição da Agenda 21. Neste contexto, foram definidos conjuntos de medidas para conciliar crescimento econômico, desenvolvimento social e a preservação do meio ambiente, pilares para garantia do desenvolvimento sustentável. Assim, de acordo com John (1999) e Bigno (2002), em relação à indústria da construção civil, para que fosse garantido o desenvolvimento sustentável, era necessária a reutilização e reciclagem de resíduos por ela gerados, visto que o setor, além de ser um gerador de resíduos, é também um grande consumidor de recursos naturais, chegando a consumir até 75% de recursos naturais. Assim, a indústria da construção civil é geradora de um grande número de impactos ambientais.

Pinto (1999) aponta a importância da reutilização, também, de resíduos industriais de outras indústrias, como a indústria de rochas ornamentais. Dentre alguns de seus benefícios, pode-se citar: a redução do consumo de recursos naturais não renováveis e a preservação do meio ambiente; a redução de áreas para deposição e descarte de resíduos; a redução do consumo de materiais no processo de produção industrial e redução da poluição.

Apesar da indústria da construção civil ser uma das maiores consumidoras de recursos naturais não renováveis, segundo Coura (2009) e John (2000), ela também pode ser considerada uma das mais eficazes para utilização de materiais reciclados de outras

indústrias. Em consequência disso, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias e processos construtivos que tem como objetivo minimizar a geração de resíduos e aproveitar resíduos de outras indústrias na construção civil.

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da utilização de resíduos da indústria de pedras ornamentais (RIPO) em substituição à areia natural ou como adição em concretos e argamassas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para seu desenvolvimento, este trabalho conta com uma pesquisa bibliográfica, onde se buscou avaliar resultados obtidos por diversos autores brasileiros nos últimos 15 anos sobre a avaliação das propriedades de concretos e argamassas com adição ou substituição da areia natural por RIPO. O recorte das buscas realizadas foi feito para pesquisas nacionais, uma vez que as propriedades das rochas naturais, assim como as propriedades dos agregados, se alteram segundo a localidade da pesquisa, interferindo também nas propriedades das misturas obtidas.

Entre os materiais empregados nas pesquisas dos autores consultados estão os materiais das misturas de referência, como: água, cimento, agregados. Em relação aos resíduos empregados por esses autores, destacam-se aqueles oriundos das indústrias de pedras ornamentais.

Segundo Vidal *et al.* (2013), a principal aplicação das pedras ornamentais na construção civil é no revestimento de edificações, seja em pisos, paredes ou fachadas, sendo também bastante utilizadas em elementos como tampos de pias e balcões e também na ornamentação de ambientes.

Chiodi e Rodrigues (2009) destacam que as pedras ornamentais ou pedras de revestimento, também conhecidas como rochas ornamentais ou rochas naturais, compreendem os materiais geológicos que podem ser extraídos em forma de blocos ou de placas, pelo processo de extração. Feita a extração desses materiais, eles são cortados em formas variadas. Por fim, esses materiais são beneficiados, seja por esquadrejamento, polimento ou outros processos. A cada um desses processos, são gerados os resíduos da indústria de pedras ornamentais (RIPO).

Assim, os resíduos empregados nas pesquisas dos autores abordados nesse trabalho, como adição nas dosagens de concretos ou argamassas ou como substituição ao agregado miúdo natural, são:

- Resíduo de corte e polimento das indústrias de pedras ornamentais, obtido do processo de corte e também do processo de beneficiamento.
- Resíduo de quartzito, obtido do processo de beneficiamento do quartzito.
- Resíduo de mármore triturado e resíduo de rocha gnáissica triturada, obtidos do

processo de beneficiamento dessas rochas.

### 3 | RESULTADOS

O emprego de RIPO na construção civil tem sido amplamente estudado. Na década de 1990 pesquisadores desenvolveram seus trabalhos utilizando o resíduo das pedras ornamentais em argamassas, tijolos de solo-cimento e em tijolos cerâmicos, onde foi constatada a viabilidade técnica da substituição. Logo depois, o resíduo foi utilizado no concreto como adição e foi constatada sua viabilidade de utilização (GONÇALVES, 2000). Nos últimos anos, são amplas, também, as pesquisas sobre o emprego de RIPO na fabricação de concretos e argamassas. Dentre pesquisas internacionais, Kore e Vyas (2016) estudaram a durabilidade de concretos com uso de resíduo de mármore. Os concretos com resíduo de mármore apresentaram bons resultados de resistência à compressão axial e melhor durabilidade, se comparado ao concreto de referência. Corinaldesi, Moriconi e Naik (2010) fizeram, também, um estudo de caracterização do pó de mármore para uso em argamassas e concretos, comprovando sua viabilidade.

No que tange as pesquisas nacionais nos últimos 15 anos, o Quadro 1 apresenta um levantamento de estudos considerados nesse trabalho para coleta de dados e que promoveram o uso RIPO como adição ou substituição do agregado miúdo natural nas dosagens de concretos e argamassas, avaliando as propriedades desses materiais e as mudanças ocorridas nessas propriedades com o emprego desses resíduos.

Ano	Título	Tipo	Autores
2019	O potencial uso de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais como matéria prima em argamassas e sua avaliação do ciclo de vida (ACV)	Dissertação de mestrado	LEITE, F. R.
2018	Estudo da utilização de resíduo de quartzito como agregado miúdo em concreto convencional	Trabalho de fim de curso	NASCIMENTO, I. E.
2014	Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento portland	Dissertação de mestrado	APOLINÁRIO, E. C. A.
2009	Análise experimental sobre a substituição do agregado miúdo por mármore triturado na confecção de concreto	Tese de doutorado	COURA, C. V. G.
2008	Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto	Artigo	BARBOSA, M. T. G.; COURA, C. V. G.; MENDES, L. O.

Quadro 1 - Pesquisas relevantes nos últimos 15 anos sobre o emprego de resíduos de mármore e granito como agregado miúdo.

Fonte: Os autores (2020).

Seguindo a linha temporal abordada no Quadro 1, foram descritos a seguir, de forma resumida, os resultados encontrados nas pesquisas de cada autor.

Leite (2019) teve como objetivo utilizar os resíduos de beneficiamento secundário de rochas ornamentais em argamassas, como substituição à areia natural. O autor desenvolveu uma dosagem de referência (sem substituição) e outras dosagens com substituições. Ele empregou na dosagem R1 resíduos de corte e na dosagem R2 resíduos de polimento de pedras ornamentais. Os resíduos foram coletados em marmoraria e para cada um deles o autor utilizou substituições da areia em 10%, 20% e 30%. O Quadro 2 apresenta de forma sucinta os resultados encontrados pelo autor e uma consideração a que se chega sobre cada propriedade ensaiada.

Nascimento (2018), por sua vez, trabalhou com o uso de resíduo do beneficiamento de quartzito no concreto. O autor dosou um concreto de referência (sem substituição) e substituiu o agregado miúdo natural nas porcentagens de 25%, 50%, 75% e 100%. O Quadro 3 ilustra um resumo dos resultados encontrados.

Apolinário (2014) avaliou o aproveitamento do resíduo de corte do mármore e granito (RCMG) como adições em argamassas mistas (de cimento e cal) nos teores 5%, 10% e 15% em relação à massa de cimento. O fator água/cimento foi mantido em 0,59 nas diferentes dosagens. Em relação aos traços empregados, na medida em que se aumentava o teor de adições, a quantidade de areia empregada em cada mistura era reduzida. O Quadro 4 ilustra um resumo dos resultados encontrados pelo autor para argamassas mistas simples.

Coura (2009) também pesquisou a utilização de rejeitos de mármore triturado (RMT) em substituição ao agregado miúdo natural (AMN). Em sua pesquisa, foram utilizadas dosagens com areia natural de rio (mistura de referência), dosagens com substituição do AMN por RMT em 20%, 40%, 50%, 60% e 100%. As dosagens com substituição total do AMN por mistura de RMT foram testadas com fator água/cimento de 0,50, com abatimento (*slump*) fixado em 80 mm e também na granulometria ótima (segundo referência normativa). Foram ensaiadas várias propriedades em que o concreto com RMT se destacou. O Quadro 5 indica um resumo de alguns resultados obtidos pela autora.

Barbosa, Coura e Mendes (2008) efetuaram um estudo de caracterização e avaliação do emprego de rejeitos de mármore triturado (RMT) e rocha gnaisse triturada (RGT), em substituição total do agregado miúdo natural, para a produção de concretos. A dosagem de referência, com agregado miúdo natural (AMN), foi um parâmetro comparativo para avaliação da viabilidade das duas outras aplicações. Foram realizados ensaios de trabalhabilidade, densidade de massa, resistência à compressão axial, absorção de água por imersão e módulo de deformação. O Quadro 6 apresenta um resumo dos resultados encontrados.

	Substituição	Índice de consistência (mm)	Densidade de massa aparente (kg/m³)	Absorção de água por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Massa específica seca (g/cm³)	Massa específica saturada (g/cm³)	Absorção de água por capilaridade (g/cm²) aos 90 min
Referência	-	250	1934	13,1	24	3,9	12,7	1,85	2,095	0,24
R1 (corte)	10%	272	1976	12,4	23,3	4,8	12	1,88	2,113	0,6
	20%	258	1950	12,9	24	3,7	13,2	1,87	2,107	0,72
	30%	230	1934	13,6	25,2	4	11,7	1,85	2,1	0,42
R2 (polimento)	10%	272	2047	13,5	25,1	4	12	1,86	2,11	0,5
	20%	270	2034	13,17	24,3	4,1	12,9	1,85	2,09	0,26
	30%	240	2028	13	24,1	3,6	11,5	1,86	2,1	0,14
Considerações do autor		Afetado	Afetada	Estabilizou-se	Estabilizou-se	Estabilizou-se	Estabilizou-se	Estabilizou-se	Estabilizou-se	Afetada

Obs.: Foram expostos os resultados de propriedades do concreto no estado endurecido para 28 dias

#### Quadro 2 – Resumo dos resultados encontrados por Leite (2019) - argamassas

Fonte: Os autores (2020).

	Substituição	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)	Absorção por imersão (%)
Referência	-	24	31,28	4,38
Resíduo de quartzito	25%	20	21,34	4,5
	50%	17	25,02	4,52
	75%	29*	25,73	4,58
	100%	10	30,63	4,55
Considerações do autor		Afetada	Afetada	Variações desprezíveis
		* Resultado a ser desconsiderado		

#### Quadro 3 – Resumo dos resultados encontrados por Nascimento (2018) - concretos

Fonte: Os autores (2020).

	Adição	Ar incorporado (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Consistência (mm)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão axial (MPa)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (km/s)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Absorção de água capilar (g/(dm²·min <sup>0,5</sup> ))
Referência	-	4,2	2,11	296	7,2	20	3,2	3,09	16,3	0,48
RCMG	5%	3,5	2,14	290	8	22	3,3	3,23	18,2	0,61
	10%	3,7	2,14	288	7,5	20	3,5	3,32	19	0,74
	15%	3,5	2,15	284	7,5	19	3,6	3,38	19,7	1,47
Considerações do autor		Afetado	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetado	Afetada

Quadro 4 – Resumo dos resultados encontrados por Apolinário (2014) – argamassas

Fonte: Os autores (2020).

(continua)

	Substituição	Trabalhabilidade (mm)	Densidade de massa aparente (g/cm³) - 120 dias	Resistência à compressão axial (MPa)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Absorção de água por imersão (%)	Absorção de água por capilaridade (g/cm²)	Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (km/s) - 120 dias
Referência	-	80	2,3	26,1	3,59	4,58	27,98	0,29	6,23	1,44	4,223
RMT	20%	80	2,33	27,25	3,78	4,62	29,45	0,29	6,13	1,37	Não ensaiado
	40%	90	2,34	27,89	3,82	4,66	30,12	0,31	5,98	1,26	Não ensaiado
	60%	105	2,36	29,66	3,91	4,69	36,19	0,35	5,82	1,18	Não ensaiado
	100% (a/c = 0,50)	135	2,4	29,85	4,06	4,78	48,98	0,46	5,66	1,12	4,288
	100% (slump 80 mm)	80	2,41	34,76	4,18	4,87	49,17	0,45	5,57	1,05	4,367
	100% (granulometria ótima)	80	2,42	35,4	4,3	4,92	49,7	0,46	5,55	1,01	4,439
Considerações da autora		Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada	Afetada
Obs.: Foram expostos os resultados de propriedades do concreto no estado endurecido para 28 dias, exceto quando informada idade diferente de ensaios.											

Quadro 5 – Resumo dos resultados encontrados por Coura (2009) - concretos

Fonte: Os autores (2020)

	Substituição	Densidade de massa aparente (g/cm <sup>3</sup> ) - 120 dias	Resistência à compressão axial (MPa)	Absorção de água por imersão (%)	Módulo de elasticidade (GPa)	Trabalhabilidade (mm)
Referência	-	2,24	25,83	6,21	27,89	80
RMT	100%	2,37	29,52	5,4	47,81	140
RGT	100%	2,33	28,07	7,58	26,47	50
Considerações das autoras		Afetada	Afetada	Afetada	Afetado	Afetada
Obs.: Foram expostos os resultados de propriedades do concreto no estado endurecido para 28 dias, exceto quando informada idade diferente de ensaios.						

Quadro 6 – Resumo dos resultados encontrados por Barbosa, Coura e Mendes (2008) - concretos

Fonte: Os autores (2020).

## 4 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Propriedades avaliadas

Para avaliar a viabilidade técnica do uso de RIPO nas matrizes cimentícias, deve-se avaliar os resultados encontrados pelos diferentes autores. Cada propriedade avaliada pelos autores foi discutida neste trabalho, a fim de avaliar e justificar os resultados obtidos pelos autores.

#### • Consistência e Trabalhabilidade

Segundo Bauer (2016), a consistência é um dos fatores mais importantes para se determinar a trabalhabilidade de um concreto. A trabalhabilidade para concretos e argamassas é composta por no mínimo dois componentes, conforme Coura (2009): sua fluidez, que está relacionada à facilidade de mobilidade, e sua coesão, propriedade vinculada à resistência à exsudação ou à segregação. Nos concretos, a consistência pode ser avaliada segundo ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Em argamassas, sua avaliação se dá segundo a NBR 13276 (ABNT, 2016), ensaio conhecido como *flow table*.

Conforme visto nos Quadros 2 a 6, os autores consultados encontraram diferentes resultados para a variação da trabalhabilidade. Coura (2009) e Barbosa, Coura e Mendes (2008) encontraram ganhos de trabalhabilidade nos concretos com uso de resíduo de mármore (RMT) em substituição à areia. Porém, Barbosa, Coura e Mendes (2008) ao utilizarem o RGT, por sua vez, encontraram perdas de trabalhabilidade com emprego de RIPO, quando feitas substituições em dosagens elevadas. Esse resultado foi semelhante ao encontrado pelos demais autores.

O comportamento pode ser explicado pelo fato de que o resíduo empregado



pelos autores Leite (2019), Nascimento (2018), Apolinário (2014) e Barbosa, Coura e Mendes (2008) são resíduos que englobam não só material derivado do mármore, mas também material derivado do granito – como rocha gnaisse e resíduo de quartzito. Esse tipo de resíduo, diferentemente do resíduo derivado apenas do mármore, é um material mais pulverulento e que possui mais finos. Os finos promovem uma dificuldade de homogeneização da mistura, prejudicando sua trabalhabilidade.

- **Densidade de massa e teor de ar incorporado**

O ensaio de determinação de densidade de massa e teor de ar incorporado é regido pela NBR 13278 (ABNT, 2005), no caso do ensaio realizado em argamassas no estado fresco, e pela NBR 13280 (ABNT, 2005), para ensaios realizados em argamassas no estado endurecido – chamada de densidade de massa aparente.

Nos resultados encontrados nesta pesquisa, observa-se que todas as misturas com uso de RIPO tiveram suas densidades de massa superiores às misturas de referência. Isso ocorre porque os finos dos resíduos promovem o efeito *filler*, como visto em Apolinário (2014), de modo que os finos preenchem os vazios das misturas, reduzindo, portanto, o teor de ar incorporado e aumentando a densidade de massa. A densidade de massa aparente no estado endurecido também sofre acréscimo com adições de resíduo, como visto em Leite (2019), Coura (2009) e Barbosa, Coura e Mendes (2008), sendo um resultado benéfico para a resistência mecânica das misturas. Com a maior quantidade de partículas finas, as misturas com resíduo se tornam mais densas que as misturas convencionais, o que traz benefícios em relação à resistência final. No estado fresco, o ganho de densidade da mistura gera perdas de trabalhabilidade. Porém, de um modo geral, os acréscimos de densidade de massa, especialmente no estado endurecido, foram vistos de forma positiva para as misturas estudadas com resíduos.

- **Resistência à compressão axial**

Uma das principais propriedades de concretos e argamassas é sua resistência à compressão axial, que compõe a resistência mecânica desses materiais. Nos concretos sua importância é fundamental. Nas argamassas, porém, a necessidade de garantia de resistência à compressão varia com seu emprego (BAUER, 2016). A NBR 5739 (ABNT, 2007) prescreve o método de ensaio para determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto com cimento Portland a serem realizados após o período de cura. A NBR 7215 (ABNT, 1996) prescreve também o mesmo ensaio a ser empregado em argamassas de cimento Portland.

Independentemente do tipo de resíduo utilizado, nota-se que os autores em sua maioria encontraram ganhos de resistência à compressão nas misturas com uso de RIPO em substituição à areia natural. Leite (2019) considera que embora não houvesse ganhado significativos de resistência à compressão axial, os resultados estabilizavam-

se. O autor destaca, ainda, que todos os corpos de prova de argamassa apresentaram valores de resistência à compressão superiores a 8 MPa, considerada resistência elevada e tecnicamente viável.

Nascimento (2018), dentre os autores estudados nesta pesquisa, foi quem encontrou perdas de resistência à compressão em concretos com substituição. O autor, porém, considerou viável a substituição a partir de 50%, já que a resistência à compressão esperada (25 MPa) foi atingida com essa dosagem de substituição e nas dosagens com 75% e 100%.

- **Resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão**

A resistência à tração de concretos e argamassas é, também, uma de suas importantes características, uma vez que materiais com boa resistência à tração são capazes de resistir aos processos de fissuração.

Um dos ensaios mais empregados no Brasil para essa determinação é o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, regido pela NBR 7222 (2011). Pode, ainda, ser empregado o ensaio de resistência à tração na flexão. Este ensaio é normatizado pela NBR 13279 (2005), no caso de argamassas, e pela NBR 12142 (2010), no caso de concretos.

Observa-se que, de modo geral, todos os autores encontraram ganhos de resistência à tração nas misturas com resíduos. Coura (2009) e Apolinário (2014) explicam que esse fato se deve ao formato mais anguloso dos resíduos em comparação à areia natural. Sendo mais angulosos, os grãos dos resíduos tem mobilidade restrita, o que não acontece com a areia natural. A areia natural, por sua vez, por ter maior mobilidade, pode apresentar microfissuração entre a pasta e o agregado, o que prejudica sua resistência à tração.

- **Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson**

O módulo de elasticidade de concretos e argamassas está relacionado com a sua capacidade de absorver deformações, eventuais movimentações e acomodações da alvenaria (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004).

Nos autores estudados, observa-se que houve aumento do módulo de elasticidade estático e conseqüente aumento do coeficiente de Poisson nos concretos ensaiados, conforme visto em Coura (2009) e Barbosa, Coura e Mendes (2008), quando utilizado resíduo RMT. Com uso de RGT na mistura, o valor do módulo de elasticidade praticamente estabiliza-se. Coura (2009) e Apolinário (2014) destacam que o módulo de elasticidade está relacionado à rigidez do concreto. Agregados naturais têm suas partículas mais arredondadas, possibilitando maior movimentação entre agregado e pasta, o que promove microfissuras e reduz o módulo de elasticidade. Apolinário (2014) também observou aumento do módulo de elasticidade dinâmico nas argamassas com substituição da areia natural por resíduos. Esse aumento do módulo de elasticidade nas misturas com resíduos

é positivo, devido à capacidade desses materiais absorverem deformações.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade estático em concretos é normatizado pela NBR 8522 (ABNT, 2008). O módulo de elasticidade dinâmico em argamassas pode ser determinado através da NBR 15630 (ABNT, 2009).

- **Absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão**

Os ensaios de absorção de água são realizados em concretos e argamassas no estado endurecido. A absorção de água desses materiais está diretamente ligada à sua durabilidade e vida útil. Para determinação da absorção de água por imersão é utilizada a NBR 9778 (ABNT, 2005) e para determinação da absorção de água por capilaridade emprega-se a NBR 9779 (ABNT, 2012).

Pelos resultados apresentados pelos autores, observa-se que a absorção de água varia muito de acordo com o tipo de resíduo empregado e o percentual de substituição.

De um modo geral, a absorção de água capilar aumenta muito com todos os resíduos empregados. Apolinário (2014) explica que os resíduos, sendo um material mais fino, promovem o tamponamento dos poros, reduzindo os diâmetros capilares e fazendo com que a absorção de água capilar seja superior. Esse resultado só não foi encontrado com o resíduo R2 (de polimento) empregado por Leite (2019) no teor de 30% de resíduo e com o resíduo de RMT empregado por Coura (2009). Esse comportamento, porém, não inviabiliza as misturas com resíduos, segundo os autores estudados.

A absorção de água por imersão, por sua vez, é reduzida com o RMT empregado por Coura (2009) e com o resíduo R1 (de corte) empregado por Leite (2019). Para o RGT, o R2 (de polimento) e o resíduo de quartzito, porém, os valores de absorção de água por imersão foram bastante superiores aos das dosagens de referência.

- **Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas**

Apolinário (2014) aponta que a velocidade de propagação de uma onda ultrassônica em um meio sólido depende de vários fatores, como tipo de agregado, sua densidade, tipo de cimento, grau de hidratação, tipo de adensamento, posição da peça no ensaio e idade do material. A velocidade de propagação será maior quanto mais denso for o material e, conseqüentemente, menor o tempo de propagação das ondas.

Coura (2009) também faz uma relação da velocidade de propagação de ondas com as demais propriedades de concretos e argamassas. Segundo a autora, os materiais que utilizam RIPO em substituição à areia são materiais menos porosos, devido ao tamponamento dos poros pelos finos. Logo, são também materiais com maior densidade, maior resistência e maior módulo de elasticidade e, então, maior velocidade de propagação de ondas, comportamento benéfico para as misturas.

Coura (2009) e Apolinário (2014) encontraram resultados semelhantes em concretos e argamassas com uso de resíduo: maiores velocidades de propagação de

ondas ultrassônicas.

O ensaio de determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é normatizado pela NBR 8802 (ABNT, 2013).

## 4.2 Resumo do comportamento das propriedades de concretos e argamassas com uso dos resíduos da indústria de pedras ornamentais

De acordo com a discussão apresentada sobre o comportamento de cada propriedade investigada pelos diferentes autores, buscou-se, nesta etapa, identificar como se dá o comportamento de materiais cimentícios quando dosados com RIPO. O Quadro 7 ilustra como cada propriedade testada pelos diferentes autores quando as dosagens são feitas com RIPO. O quadro busca, ainda, indicar qual foi a substituição ou adição mais benéfica do ponto de vista técnico para ganho de qualidade concretos e argamassas e sua variação em relação às dosagens de referência. Por exemplo, argamassas de assentamento e revestimento devem ter boa trabalhabilidade, para facilidade de aplicação. Do mesmo modo, bons resultados de trabalhabilidade são esperados também para os concretos. Assim, a mistura que mais apresentou ganhos de trabalhabilidade em sua dosagem foi a mistura confeccionada com substituição de 100% da areia natural por RMT. Nessa dosagem, foi possível atingir um acréscimo de até 68,75% de trabalhabilidade.

O mesmo critério foi empregado para as demais propriedades, avaliando-se os Quadros 2 a 6 que ilustram os resultados encontrados para cada autor.

PROPRIEDADES	COMPORTAMENTO DAS MISTURAS COM RESÍDUOS	CONDIÇÕES QUE TENDEM A SER MAIS FAVORÁVEIS	PERCENTUAL DE VARIAÇÃO NA CONDIÇÃO MAIS FAVORÁVEL
Consistência e trabalhabilidade	Varia com o tipo de resíduo utilizado	Coura (2009): substituição de areia por RMT em 100% ( $a/c = 0,50$ )	Acréscimo de até 68,75% conforme quadro 5
Densidade de massa	Aumenta	Leite (2019): com resíduo R2 (de polimento) na porcentagem de 10% de substituição	Acréscimo de até 5,84% conforme quadro 2
Teor de ar incorporado	Diminui	Apolinário (2014): com resíduo RCMG nas porcentagens 5% e 15% de adição	Redução de até 16,67% conforme quadro 4
Resistência à compressão axial	Varia com o tipo de resíduo utilizado	Coura (2009): com resíduo RMT em 100% de substituição na granulometria ótima	Acréscimo de até 35,63% conforme quadro 5
Resistência à tração por compressão diametral	Aumenta	Coura (2009): com resíduo RMT em 100% de substituição com slump 80 mm	Acréscimo de até 16,43%, conforme quadro 5

Resistência à tração na flexão	Aumenta	Leite (2019): com resíduo R1 (de corte) na porcentagem de 10% de substituição	Acréscimo de até 23,08% conforme quadro 2
Módulo de elasticidade	Aumenta	Coura (2009): com resíduo RMT em 100% de substituição na granulometria ótima	Acréscimo de até 77,63% conforme quadro 5
Coefficiente de Poisson	Aumenta	Coura (2009): com resíduo RMT em 100% de substituição na granulometria ótima e com $a/c = 0,50$	Acréscimo de até 58,62% conforme quadro 5
Absorção de água por capilaridade	Varia com o tipo de resíduo utilizado	Leite (2019): com resíduo R2 (de polimento) na porcentagem de 30% de substituição	Redução de até 41,67% conforme quadro 2
Absorção de água por imersão	Varia com o tipo de resíduo utilizado	Barbosa, Coura e Mendes (2008): com substituição da areia por 100% de RMT	Redução de até 13,04% conforme quadro 6
Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas	Aumenta	Apolinário (2014): com adição de 15% de RCMG	

Quadro 7 – Resumo do comportamento das propriedades dos materiais com uso de resíduos

Fonte: Os autores (2020).

Conforme visto no Quadro 7, uma série de vantagens do emprego desses resíduos como adição ou substituição total ou parcial do agregado miúdo podem ser verificadas em concretos e argamassas. Observa-se, de forma geral, ganhos de trabalhabilidade, de resistência, de módulo de elasticidade e redução da absorção de água em algumas dosagens. Essas já são propriedades muito significativas na qualidade de um concreto e argamassa e devem ser consideradas.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados encontrados, pode-se concluir que o uso de RIPO como substituição total ou parcial do agregado miúdo em concretos e argamassas ou como adição tem boa viabilidade técnica, tendo sido encontrados resultados equivalentes ou que indicam que as dosagem com esses resíduos equivalem ou até mesmo superam tecnicamente aquelas com areia natural.

Pode-se dizer também que algumas propriedades variam muito com o tipo de resíduo utilizado. Observou-se que resíduos com menos material pulverulento (como o RMT) mais se destacam no sentido de viabilizar e potencializar a viabilidade técnica das misturas que o utilizam.

Observou-se também que para cada propriedade avaliada, pode-se considerar

um percentual mais adequado de substituição e adição. Assim, a escolha da dosagem de substituição ou adição depende das necessidades de cada projeto.

Por fim, foi possível comprovar a viabilidade técnica das misturas com uso de resíduos da indústria de pedras ornamentais. Comprovada sua viabilidade técnica, pode-se obter, então, materiais ecológicos, sustentáveis, duráveis e econômicos, visto que o custo desses resíduos são inferiores aos da areia natural.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67– Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama tensão x deformação – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802 – Concreto – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 – Massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142– Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016. 6p.

ABNT - 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.

ABNT - 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.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de paredes e tetos – Determinação do Módulo de Elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 2009.

APOLINÁRIO, E. C. A. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento portland.** Salvador, 2014. 193p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.

BARBOSA, M. T. G., COURA, C. V. G., MENDES, L. O. **Estudo de areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto.** Ambiente Construído. V.8, n.4, PP 51-60, Out-Dez, 2008.

BAUER, L. A. F. (Org.). **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 488 p. 1 v. Revisão técnica: João Fernando Dias.

BIGNO, I. C. **Aproveitamento do resíduo de corte de rochas ornamentais como fíler mineral em compósitos de matriz polimérica e cimentícia.** 2002. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Fluminense, Niterói, 2002.

CHIODI Filho, Cid; RODRIGUES, Eleno de Paula. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos;** Projeto Bula / Cid Chiodi Filho; Eleno de Paula Rodrigues. - São Paulo: ABIROCHAS, 2009 118 p.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T.R. **Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete.** Construction and building materials. Volume 24, Pág. 113-117, Jan, 2010.

COURA, C. V. G. **Análise experimental sobre a substituição do agregado miúdo por mármore triturado na confecção de concreto.** Niterói, 2009. 196p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2009.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concreto.** Porto Alegre, RS. PPGEC/UFRGS. 2000. 135p., il. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

JOHN, V.M.J. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999.



KORE, S. D.; VYAS, A. K. *Durability of concrete using marble mining waste*. J. Build. Mater. Struct. V.3, PP 55-67, Nov, 2016.

LEITE, F. R. **O potencial uso de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais como matéria prima em argamassas e sua avaliação do ciclo de vida (ACV)**. Sorocaba, 2019. 119p. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual Paulista. Sorocaba, 2019.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2004 (Boletim Técnico, n. 359).

NASCIMENTO, I. E. **Estudo da utilização de resíduo de quartzito como agregado miúdo em concreto convencional**. Angicos, 2018. 47p. Trabalho de fim de curso – Universidade Federal Rural do Semi-árido. Angicos, 2018.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais – Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. 1.ed. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2013. 677p. ISBN: 987-85-8261-005-3

# CAPÍTULO 2

## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM SUBSTITUIÇÃO PACIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO RCD

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 29/12/2020

### Lara Guizi Anoni

Instituto Federal de São Paulo – Campus  
Votuporanga  
Votuporanga – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5759689002143874>  
ORCID: 0000-0001-5116-1507

### Ana Paula Moreno Trigo

Instituto Federal de São Paulo – Campus  
Votuporanga  
Votuporanga – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5408753184399257>  
ORCID: 0000-0002-1374-7467

**RESUMO:** Na tentativa de reduzir impactos ambientais, o uso de materiais reciclados está se tornando frequente e sendo difundindo em diversas áreas de pesquisa e cadeias de produção ao redor do mundo. Na engenharia civil, há estudos que promovem essa utilização de reciclados, mais especificamente dos denominados Resíduos de Construção e Demolição (RCD), responsáveis pela maior parte de entulhos gerados no Brasil. Estes resíduos, quando triturados, podem ser utilizados como agregados constituintes de argamassas ou concretos. Existem, atualmente, normas brasileiras que admitem o uso destes agregados provenientes do RCD em elementos não estruturais. O intuito deste trabalho é produzir concretos estruturais com 50% de substituição

volumétrica do agregado miúdo natural pelo reciclado e avaliar suas características mecânicas, como resistência à compressão, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção de água, bem como sua evolução no tempo, com ensaios em 28 e 91 dias. Como resultados, destaca-se a produção de concretos contendo RCD com mais de 50 MPa de resistência à compressão aos 28 dias. Esta pesquisa foi desenvolvida a fim de possibilitar uma verificação da viabilidade do uso deste material, até há pouco descartado, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do setor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos de construção e demolição; agregados reciclados; concreto estrutural; sustentabilidade; construção civil.

### ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE PRODUCED WITH FINE AGGREGATES PARCIAL REPLACEMENT BY CDW

**ABSTRACT:** In an attempt to reduce environmental impacts, the use of recycled materials is becoming frequent and spreading in several areas of research and production chains around the world. In civil engineering, there are studies that promote this use of recycled materials, more specifically the so-called Construction and Demolition Waste (CDW), responsible for most of the debris generated in Brazil. These residues, when crushed, can be used as aggregates constituting mortars or concrete. Currently, there are Brazilian standards that allow the use of these aggregates from the CDW in non-structural elements. The aim of this work is to produce

structural concretes with 50% volumetric substitution of the natural fine aggregate for the recycled one and to evaluate its mechanical characteristics, such as compressive strength, traction by diametrical compression, elasticity moduli and water absorption, as well as its evolution over time, with trials in 28 and 91 days. As a result, the production of concrete with CDW stands out, which reached more than 50 MPa of compressive strength in 28 days. This research was developed in order to enable a verification of the feasibility of using this material, until recently discarded, contributing to a sustainable development of the sector.

**KEYWORDS:** Construction and demolition waste; recycled aggregates; structural concrete; sustainability; civil engineering.

## 1 | INTRODUÇÃO

Entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 de desenvolvimento da ONU, estão a necessidade de alcançar o uso eficiente dos recursos naturais, de reduzir a geração de resíduos por meio da reciclagem e de incentivar o manejo ambientalmente saudável desses resíduos. Essa proposta se enquadra bem no âmbito da engenharia civil, já que o desenvolvimento desse setor acarreta a necessidade de maior extração de recursos e, conseqüentemente, maior geração de resíduos, o que também pode ser conhecido por entulho, que ocupa cada vez mais o espaço em aterros.

Os resíduos são provenientes de sobras, materiais danificados no período da construção ou de demolições. Para um melhor aproveitamento de espaço e tentativa de reutilização desses rejeitos, as empresas coletoras trituram estes materiais remanescentes e as separam por tamanho dos grãos, gerando materiais que podem ser classificados em agregados graúdos ou miúdos reciclados.

Assim como em outros países, no Brasil a reciclagem da fração mineral do RCD gera agregados para pavimentação e material de enchimento para aterros, afirma Ângulo (2005). O uso destes agregados ainda é pouco incentivado para concretos, blocos estruturais ou argamassas, devido à grande heterogeneidade e falta de estudos que certifiquem este uso. A única recomendação internacional que prevê a produção de concretos com resistência mecânica acima de 20 MPa é a da instituição europeia RILEM (RILEM RECOMMENDATION, 1994).

Este trabalho visa, portanto, estudar misturas de concreto com a substituição do agregado miúdo natural em 50% pelo reciclado, a fim de proporcionar resultados que ampliem as possibilidades de uso de agregados provenientes do RCD, validando o uso em concretos estruturais e de alto desempenho, com resistência maior do que a mínima recomendada pela ABNT NBR 8953:2015, de 20 MPa.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, contou-se com o apoio da empresa Mejan Ambiental de Votuporanga-SP, que nos forneceu todo o agregado miúdo reciclado necessário. O aditivo

utilizado no concreto para aumentar a trabalhabilidade da mistura foi o superplastificante GLENIUM 51. Os demais materiais constituintes do concreto, cimento CP-II-32, areia natural e brita natural foram adquiridos pelo IFSP.

Os agregados foram caracterizados de acordo com as normativas brasileiras nos laboratórios do IFSP. Foram realizados os ensaios de Análise Granulométrica: NBR NM 248 (2003), Massa Específica Absoluta: NBR NM 52 (2009) / NBR NM 53 (2009) e Massa Unitária: NBR NM 45 (2006).

Para a análise de eficiência dos concretos produzidos com o RCD, optou-se por estudar três situações: concretos resistentes a regiões caracterizadas pela classe de agressividade IV, concretos de alta resistência e concretos com baixo consumo de cimento.

Foram então calculados dois traços para cada situação, um de referência, contendo somente a areia natural, e o outro com substituição de 50% da areia natural pela reciclada, contemplando um total de seis traços. Devido à estudos prévios bem-sucedidos, utilizou-se o método de dosagem do IPT e construíram-se diagramas de referência, dos quais foram possíveis retirar os dados da tabela 1.

Situações <sup>*</sup>	Traços <sup>**</sup>	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )
R-01	1 : 2,465 : 3,606 : 0,450	323,347
50-01	1 : 0,990 : 0,905 : 3,103 : 0,450	369,318
R-02	1 : 1,019 : 2,102 : 0,237	537,480
50-02	1 : 0,588 : 0,538 : 2,264 : 0,305	505,316
R-03	1 : 2,591 : 3,738 : 0,474	310,000
50-03	1 : 1,272 : 1,163 : 3,690 : 0,588	310,000

\*: os prefixos R e 50 referem-se aos concretos referência e com substituição em 50% da areia natural pela reciclada, respectivamente.

\*\* : traços em massa e substituição em volume da areia natural pela reciclada.

TABELA 1. Traços referentes às situações estudadas na pesquisa

As misturas foram adensadas com um vibrador mecânico. Em estado fresco, foi realizado o teste de abatimento de tronco de cone (NBR NM 67:1998) para verificar a trabalhabilidade das misturas de concreto.

Atingidas as idades de 28 e 91 dias, os corpos de prova submetidos à cura submersa foram ensaiados à compressão (NBR 5739:2018), tração por compressão diametral (NBR 7222:2011), módulo de elasticidade (NBR 8522:2017) e absorção de água (NBR 9778:2009).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão separados (tabela 2, figura 1 e figura 2) de acordo com

o tipo de propriedade avaliada, conjuntamente com breve discussão sobre eles.

### 3.1 Abatimento do tronco de cone

Cada traço, obtido pelos diagramas de dosagem, estimavam um abatimento de 120mm, o que foi alcançado neste ensaio no estado fresco dos concretos e que está exposto na tabela 2.

Situações					
R-01	50-01	R-02	50-02	R-03	50-03
110	115	100	94	135	130

TABELA 2. Resultados do slump das misturas no estado fresco

É importante ressaltar que a trabalhabilidade foi alcançada pelo emprego do superplastificante, principalmente nas misturas com o agregado reciclado, já que a quantidade de finos presente no RCD absorve grande quantidade de água das misturas.

### 3.2 Resistência à compressão

A figura 1 compara os resultados entre traços com e sem substituição da areia e também entre as situações. É possível notar que as misturas com o RCD alcançaram desempenho superior em todos os casos, ainda que em proporções diferentes. A melhor situação verificada foi a 01, onde a resistência a compressão da mistura com o resíduo aos 28 dias (36,9 MPa) superou em 66,64% o resultado da mistura sem a substituição (22,1 MPa). Ainda, para o traço com o menor consumo de cimento (03), constatou-se que a substituição da areia natural pela reciclada corroborou para o atendimento às definições de concreto para uso estrutural propostas pela ABNT NBR 8953:2015, que apontam a necessidade de resistência superior a 20 MPa aos 28 dias, registrando resistência à compressão de 24,4 MPa, embora o mesmo traço sem a substituição não atenda ao valor, atingindo apenas 18,8 MPa.

Nota-se também, analisando o gráfico 4, que o incremento de resistência no tempo possibilitou uma mistura com o RCD registrando valores em torno de 60 MPa aos 91 dias. Vieira (2003) também verificou maior resistência à compressão em concretos com a substituição do agregado pelo reciclado e Leite (2001) afirma que isso se deve à maior quantidade de finos do material, que diminui a segregação e contribui para o fechamento de vazios na mistura.

### 3.3 Resistência à tração por compressão diametral

A figura 1 permite verificar o bom desempenho das misturas com o resíduo também com relação à tração, que segue a proporção comumente utilizada para concretos usuais, de ter valores em torno de um décimo da resistência à compressão. Rangel (2015) também percebeu pequeno incremento de resistência à tração em substituições de 50%

do agregado reciclado. Com relação ao desempenho no tempo, verifica-se também que se obteve diferença entre as figuras 1 e 2, de modo que a presença do RCD não inibiu essa propriedade.

### 3.4 Módulo de Elasticidade

Como resultados, foram obtidos módulos de elasticidade inferiores nas misturas com o resíduo, em um dos casos o módulo foi minorado em 26%. Diversos autores também encontraram essa diminuição do módulo de elasticidade em misturas com o RCD, e isso se deve à camada de argamassa antiga aderida à superfície do agregado reciclado e à maior porosidade dos materiais, afirma Levy (1997). Como previsto, os módulos marcaram valores mais elevados aos 91 dias, com relação proporcional às resistências, porém nos concretos com o RCD esse incremento foi menor.

### 3.5 Absorção de água

É possível perceber, com simples análise das figuras 1 e 2, que os concretos com o RCD absorveram mais água do que os concretos sem o resíduo. Isso ocorre pelo fato já citado de que há grande presença de finos no material reciclado, o que o torna mais propício à absorção. Em contradição ao fato de que, quanto mais resistentes, menos absorativos os concretos serão, as misturas com agregados reciclados marcam maior resistência mesmo que com maior absorção e isso se deve ao fato de que cada uma das partículas do RCD absorve mais água e em geral, isso afeta o resultado no concreto. Ainda, como esperado, houve decaimento de absorção com o passar o tempo, relação indireta com a resistência mecânica dos concretos.

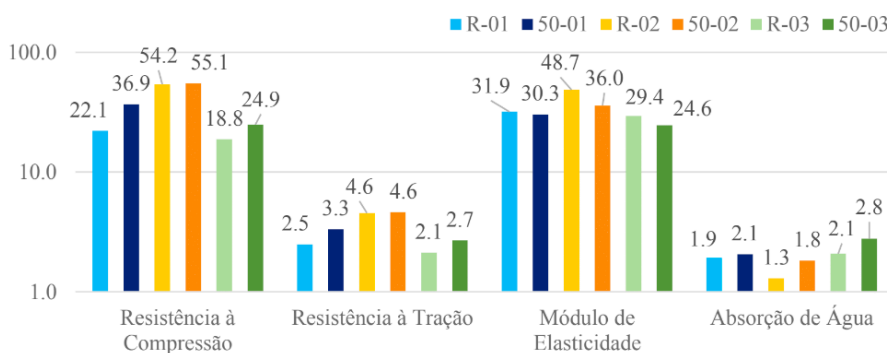


FIGURA 1. Resultados médios obtidos para os traços aos 28 dias de idade.

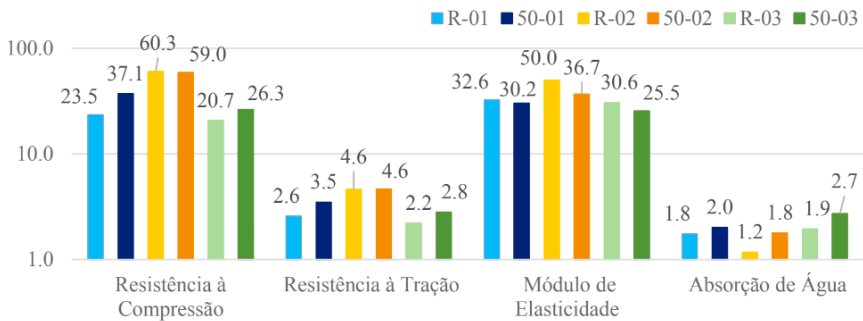


FIGURA 2. Resultados médios obtidos para os traços aos 91 dias de idade.

## 4 | CONCLUSÕES

O desenvolvimento dessa pesquisa permitiu identificar o bom desempenho do agregado miúdo reciclado em misturas dosadas a partir de diagramas desenvolvidos com o método IPT, já que o traço 50-01 superou em mais de 66% a resistência à compressão do respectivo traço referência. Nas misturas com baixo consumo de cimento, traços 03, percebe-se que a substituição pelo agregado reciclado permitiu superar a resistência mínima de 20 MPa, admitindo o seu uso como estrutural, o que não foi alcançado pelo traço referência. Com relação ao módulo de elasticidade, os ensaios relataram valores mais baixos nos traços com o RCD, isso ocorre devido ao fato de as partículas que compõe o agregado reciclado serem mais porosas, o que também contribui para a elevação da porcentagem de absorção de água. Apesar de mais absorventes, os concretos com o resíduo apresentaram boa resistência à compressão e tração e isso se deve ao fato de se ter conseguido uma matriz reforçada com a dosagem. Ainda que tenha sido possível desenvolver concretos de alto desempenho, recomenda-se o desenvolvimento de réplicas desta pesquisa para outras amostras de RCD levando em conta a heterogeneidade deste material.

## AGRADECIMENTOS

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de São Paulo – campus Votuporanga, por auxiliarem no desenvolvimento das atividades. Ao Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIFSP, 2020), pelo subsídio das atividades de pesquisa e, às empresas que forneceram os materiais, deixo aqui meu agradecimento.

Em nome dos autores, esta publicação oferece os créditos de apresentação inicial ao 11º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP (CONICT), realizado em dezembro de 2020.



## REFERÊNCIAS

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. São Paulo, 2005. 167 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR/NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR/NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR/NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR/NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR/NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

GALEGO, Gabriela dos Santos. **Estudo de dosagens de concretos estruturais com resíduos de construção e demolição**. Orientador: Ana Paula Moreno Trigo. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Votuporanga, Votuporanga, 2019.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, 270p.

LEVY, Salomon Mony; HELENE, Paulo R. L. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. 1997. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RANGEL, Caroline Santana **Influência de agregados graúdos reciclados nas propriedades estruturais de concretos de resistência normal e de alto desempenho**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures**, n.27, p.557-59, 1994.

VIEIRA, G. V. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003. 150 p.

## APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO ADIÇÃO MINERAL À COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 01/02/2021*

### **Bruna Silva Almada**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/2146833673047554>

### **Alex Sovat Cancio**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais

### **Marlo Souza Duarte**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8837929820742513>

### **Fernanda Galvão de Paula**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7468935481135714>

### **Nara Linhares Borges de Castro**

Universidade Federal de Ouro Preto - PROPEC  
Ouro Preto -Minas Gerais.  
<http://lattes.cnpq.br/7017354511764029>

### **Abner Araújo Fajardo**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais.  
<http://lattes.cnpq.br/8825949313525657>

### **White José dos Santos**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/6929801431620076>

**RESUMO:** O mercado de minério de ferro é um dos maiores responsáveis pela demanda de ferro na siderurgia e representa grande importância na economia brasileira. O crescente desenvolvimento do setor levou a um aumento da geração de resíduo de minério de ferro (RMF). Nesse contexto, este estudo visa avaliar as perspectivas para reaproveitamento do RMF como adição à matriz de compósitos cimentícios, no teor de 40%. Foram avaliadas propriedades no estado fresco e endurecido, estudando-se pastas e argamassas. Os resultados indicam um aumento na demanda de água e do coeficiente de capilaridade devido à finura do material, causando refinamento dos poros na estrutura. Apesar do aumento da permeabilidade de fluidos a resistividade elétrica foi reduzida. Constatou-se um aumento na resistência à compressão e no módulo de elasticidade dinâmico, influenciada pela elevada massa específica do resíduo e densificação na matriz. De forma geral, o desempenho mecânico de pastas e argamassas utilizando 40% de adição de RMF se mostrou superior à composição de referência. Pode ser uma solução técnica e eficiente para produção de materiais destinados à construção civil, contribuindo para a diminuição do volume do rejeito e fomentando uma destinação ecoeficiente dos rejeitos armazenados em barragens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rejeito de mineração de ferro, adição mineral ao cimento, Cimentos com adições, Aproveitamento de resíduos.

## USE OF IRON ORE TAILINGS AS MINERAL ADDITION TO CEMENT COMPOSITES

**ABSTRACT:** The iron ore market is one of the most responsible for the iron demand in the steel industry and represents great importance in the Brazilian economy. The growing development of sector has led to an increase in the generation of iron ore tailings (IOT). In this context, this study aims to evaluate the prospects for reusing IOT as an addition to the matrix of cementitious composites, in the content of 40%. Properties in fresh and hardened state were evaluated, studying pastes and mortars. The results indicate an increase in demand for water and the capillarity coefficient due to the fineness of the material, causing pore refinement in the structure. Despite the increase in fluid permeability, electrical resistivity was reduced. There was an increase in compressive strength and in dynamic elastic modulus, influenced by the high specific mass of the residue and densification in matrix. In general, the mechanical performance of pastes and mortars using 40% IOT addition proved to be superior to the reference composition. It can be a technical and efficient solution to produce materials intended for civil construction, contributing to the reduction of the volume of tailings and promoting an eco-efficient destination of tailings stored in dams.

**KEYWORDS:** Iron ore tailings, mineral addition to cement, Cements with additions, Waste recovery.

### 1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor da mineração representa um significativo papel na economia, contribuindo com cerca de 16% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial (IBRAM, 2018). Esta atividade faz com que o país ocupe posição de destaque como o segundo maior produtor mundial de minério de ferro (USGS, 2020). Apesar dos benefícios econômicos, a mineração de ferro também está associada a impactos ambientais, devido à extensão de áreas alteradas nas minas e ao grande volume de resíduos gerados no processo de extração e beneficiamento do minério. Calcula-se que cada tonelada de minério extraído gere 400 kg de resíduos no processo de beneficiamento (DAUCE *et al.*, 2018).

Os rejeitos de minério de ferro (RMF), em geral, apresentam elevada superfície específica e composição química com altos teores de dióxido de silício, óxido de alumínio e óxido de ferro (CARRASCO *et al.*, 2017). Em razão das suas características, apresentam potencial como matéria prima para produtos destinados à construção civil (SILVA *et al.*, 2014). Assim, o RMF vem sendo alvo de estudos para aproveitamento com finalidades distintas, para confecção de argamassas (CARRASCO *et al.*, 2017; FONTES *et al.*, 2016), materiais cerâmicos (SILVA *et al.*, 2014; WEISHI *et al.*, 2018), concreto (SHETTIMA *et al.*, 2016; COSTA, 2016; KURANCHIE *et al.*, 2015; MAGALHÃES *et al.*, 2017) e concreto de ultra-alto desempenho (ZHAO *et al.*, 2014).

Embora já existam pesquisas com a utilização do RMF, a maioria dos pesquisadores utiliza o RMF como substituição ao agregado, sendo a aplicação como adição ainda pouco explorada. Portanto, este trabalho busca avaliar o comportamento de pastas e argamassas

contendo 40% de RMF como adição à matriz, sob os aspectos de resistência e durabilidade.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O RMF estudado nesta pesquisa foi coletado de uma barragem de rejeito pertencente ao Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. Para a utilização como adição mineral o RMF foi cominuído em moinho de barras até que suas partículas possuíssem dimensões próximas às do cimento (inferiores a 75  $\mu\text{m}$ ).

O resíduo foi caracterizado quanto a composição granulométrica, por granulometria à laser, massa específica por picnômetro à hélio, composição química por fluorescência de raios-X (FRX) e mineralógica por difração de raios-X (DRX). A FRX foi realizada, com limite de detecção de 0,01% e método de referência analítica CLA70C, para determinação de óxido de ferro (II) – FeO (silicato) volumétrico. A perda ao fogo foi realizada por calcinação da amostra a 405° C e/ou 1000° C, utilizando o método PHY01E: LOI (*Loss on ignition*) e, na quantificação por RFX, utilizou-se o método XRF79C: fusão com tetraborato de lítio. Para a DRX o equipamento utilizado foi o Difrátômetro de raios-X, para amostra em pó, PHILIPS (PANALYTICAL), sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, gerador PW 1830/40, goniômetro PW 3020/00.

Após a caracterização, foram moldadas pastas e argamassas, contendo somente cimento (REF), e contendo a adição de 40% do resíduo (RMF). Além do RMF, foi utilizado cimento Portland CPI, por não conter adições; areia tratada, que atendem à NBR 7214 (ABNT, 2015), fornecida pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo, composta por quatro frações de areia quartzosa (n° 16, n° 30, n° 50 e n° 100) e água potável. Para o estudo com as pastas, foi realizado, inicialmente, o ensaio de consistência normal com a pasta de referência, e com a pasta contendo RMF, buscando verificar a demanda de água dos materiais secos. Como esse resultado foi diferente, foram moldadas pastas nos dois fatores água/cimento obtidos. O índice de consistência das pastas foi realizado em molde de tronco de cone, com dimensões 49,15 x 30,80 x 18,15 mm (Bxbxh) e das argamassas, utilizou-se o molde padrão da norma NBR 13276 (ABNT, 2016). A Tabela 1 apresenta as dosagens utilizadas para as pastas e argamassa.

		Cimento	Resíduo	Areia	Água	a/f	r/c	a/c
<b>Pastas</b>	REF a/c 0,345	1.525,64	0,00	-	526,35	0,345	0,40	0,345
	RMF a/c 0,345	1.338,28	535,31	-	461,71	0,246		
	REF a/c 0,416	1.376,53	-	-	572,64	0,416	0,40	0,416
	RMF a/c 0,416	1.222,16	488,862	-	508,42	0,297		
<b>Argamassas</b>	REF	509,08	-	1.527,25	254,54	0,500	0,40	0,500
	RMF	486,36	194,55	1.459,09	243,18	0,357		

Nota: a/f – relação água finos; r/c – relação resíduo cimento; a/c – relação água cimento

Tabela 1 - Consumo de materiais das pastas e argamassas (kg/m³)

Para a avaliação das propriedades mecânicas e de durabilidade foram moldados corpos de prova conforme NBR 7215 (ABNT, 2018), sendo o adensamento realizado em mesa vibratória, até exsudação de cada camada. A cura foi realizada em câmara úmida por 28 dias, sendo realizados os experimentos conforme Figura 1.

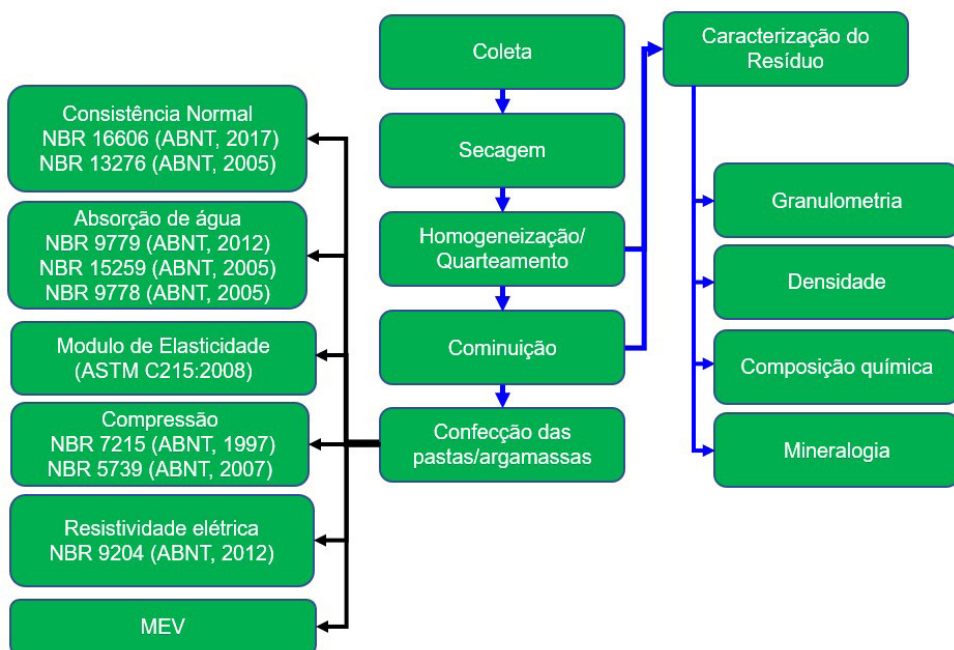


Figura 1- Programa experimental

A resistência à compressão das pastas foi determinada a partir do rompimento de corpos de prova prismáticos (5x5x5) cm, em máquina de ensaios universal, modelo

Instron 5582, de carga máxima de 100 kN e velocidade de carregamento de 0,5 mm/min. Já para as argamassas, foram utilizados corpos de prova cilíndricos (5x10) cm, rompidos em prensa automatizada EMIC, modelo DL2000, de carga máxima de 200t e velocidade de carregamento de (0,45 ±0,15) MPa/s. A absorção de água por capilaridade e por imersão foram realizadas seguindo os procedimentos normativos. A porosidade teórica foi calculada, considerando o Teorema de Arquimedes, utilizando os dados obtidos no ensaio de absorção por imersão e considerando somente os materiais secos para a massa específica da argamassa.

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pelo método de frequência ressonante forçada no modo longitudinal em corpos de prova cilíndricos (10x20) cm, seguindo as recomendações da norma (ASTM, 2008) e as adaptações na equação de NBR 9204 (ABNT, 2012). Foi utilizado o equipamento Erudite MKII Ressonante Frequency Test System para aferição da frequência ressonante. Estas amostras ficaram em imersão completa por 24 horas para saturação, realizando-se leituras de corrente elétrica contínua, aplicada através de diferença de potencial entre dois eletrodos localizados nas superfícies de base e topo dos corpos de prova. Para isso, utilizou-se o equipamento Gerador de Função Digital FG -8102 da Politerm, considerando a geometria do material e a Lei de Ohm.

## 3 | RESULTADOS

### 3.1 Caracterização do RMF

O RMF apresentou massa específica de 4,359 kg/dm<sup>3</sup> enquanto o cimento obteve o valor de 3,221 kg/dm<sup>3</sup>, logo percebe-se que se trata de um material 35% mais pesado que cimento. Deste modo, o uso deste material como agregado ou cimento convergiria para redução de possíveis utilização, devido ao aumento de peso do material. Espera-se que, ao ser adicionado à matriz de argamassas, permita um uso maximizado para fins estruturais. Aliado a isto, tem-se os valores da composição química (Tabela 3) e mineralógica (Figura 2), que demonstram não possui elementos contaminantes.

	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	LOI
<b>RMF</b>	0,49	25,6	3,13	59,1	3,85	0,23	0,14	0,16	<0,1	0,38	0,23	6,12
<b>CPI</b>	-	19,9	4,34	2,38	63,3	2,68	0,23	0,18	0,17	0,98	0,05	2,29

Tabela 3 - Composição química do RMF e do cimento

Para o resíduo utilizado neste trabalho, percebe-se ainda alto teor de ferro, o que se justifica devido ao processo simplificado de beneficiamento pelo qual o minério extraído da lavra foi submetido. Observa-se uma maior quantidade de Ferro (Fe) e Oxigênio (O),



média quantidade de Sílica (Si), baixa quantidade de Alumínio (Al) e Fósforo (P) e traços de Manganês (Mn), Tântalo (Ti), Cloro (Cl), Enxofre (S), Magnésio (Mg) e Sódio (Na) na amostra de RMF analisada, semelhante ao resultado de Fluorescência de Raios-X.

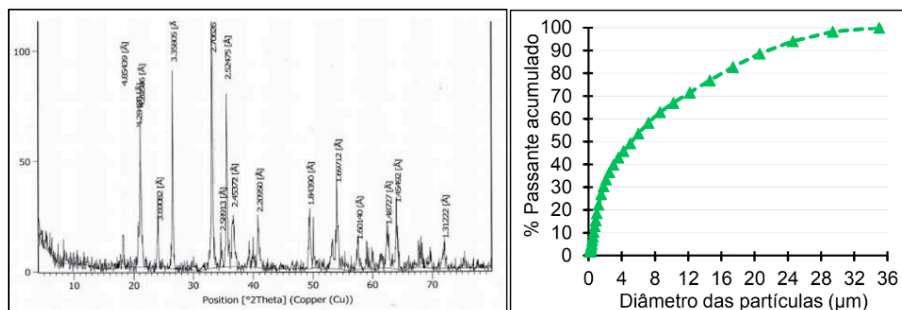


Figura 2 - Difratoograma de raios-X do RMF e curva granulométrica do cimento e do RMF

Percebe-se (Figura 2) a presença predominante de Quartzo -  $\text{SiO}_2$ , Hematita -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Goethita -  $\text{FeO(OH)}$  e Gibbsita -  $\text{Al(OH)}_3$ . Constata-se vários picos demonstrando a elevada cristalinidade do resíduo de mineração e possivelmente, pouca probabilidade de uma eventual reação deste material com os materiais presentes nos compósitos cimentícios. Quanto à composição química do cimento CPI utilizado, o ensaio de Fluorescência de raios-X demonstra que o material se encontra dentro da norma referência NBR 16697 (ABNT, 2018), apresentando mais de 95% de clínquer e sulfatos de cálcio, com óxido de magnésio inferior a 2% em massa. A perda ao fogo, com a presença do RMF tende a não gerar grandes comprometimentos ao comportamento do microconcreto em situações de incêndio.

O resultado da granulometria, apresentado na Figura 2, mostra que o resíduo tem partículas de dimensões inferiores à 33, com  $D_{90} = 13,240$ ,  $D_{50} = 2,980$  e  $D_{10} = 0,530$ . Verifica-se que o resíduo apresenta uma finura intermediária a do cimento, com cerca de 70% das partículas com maior finura, o que indica que este material pode trabalhar com uma boa propensão a filler, melhorando o preenchimento dos vazios deixados pelo cimento.

### 3.2 Avaliação das pastas e argamassas no estado fresco

Os resultados para a consistência normal (Figura 3) mostraram que a pasta de referência demandou um fator água/cimento (a/c) de 0,345, enquanto a pasta contendo RMF demandou 0,416. Observa-se, portanto, um aumento de 20,5% na quantidade de água da pasta, que é resultado do aumento da área superficial das partículas, devido à inserção do resíduo na mistura.

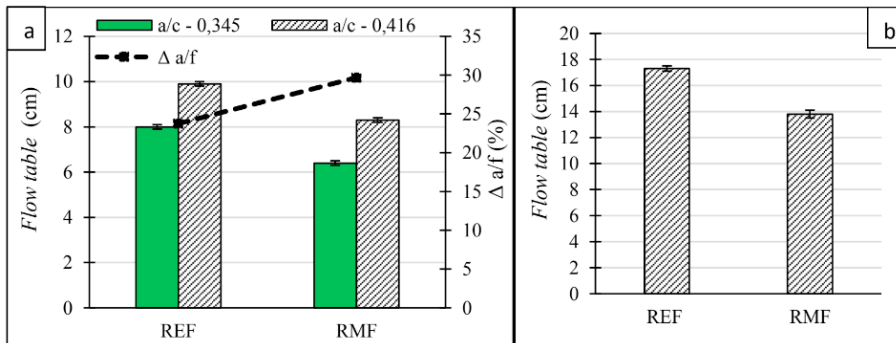


Figura 3 - Resultado do índice de consistência (*flow table*) das (a) pastas e das (b) argamassas

Constata-se que o incremento na quantidade de água promoveu um maior espalhamento das pastas, como já era esperado. Entretanto, esse espalhamento não seguiu a mesma proporção do aumento de água, variando 23,7% na pasta de referência e 29,6% na pasta contendo RMF, o que indica que a diferença granulométrica e área superficial específica dos resíduos influenciou esta propriedade conforme observado por (ZHAO; FAN; SUN, 2014). Destaca-se que, a forma dos grãos do resíduo também influencia as propriedades de argamassas no estado fresco. Conforme visto em (ZHAO; FAN; SUN, 2014; YU; ZHANG; MU, 2012), as partículas do RMF geralmente possuem formas angulares e superfície rugosas. As pastas contendo RMF obtiveram índices de consistência inferiores às pastas de referência, sendo 20,00% para o fator a/c 0,345 e 16,16% para a/c 0,416. Esse resultado pode ser atribuído à finura do material e à maior densidade do RMF em relação ao cimento, conforme visto nos estudos de (FONTES *et al.*, 2014; FONTES *et al.*, 2016). De forma semelhante, houve uma redução de 20,23% no espalhamento das argamassas.

### 3.3 Avaliação no estado endurecido

Percebe-se (Figura 4) que houve um aumento do coeficiente de capilaridade em 15,47% com a adição de RMF, que está associado à absorção de água por capilaridade nos minutos iniciais, conforme variação da taxa.

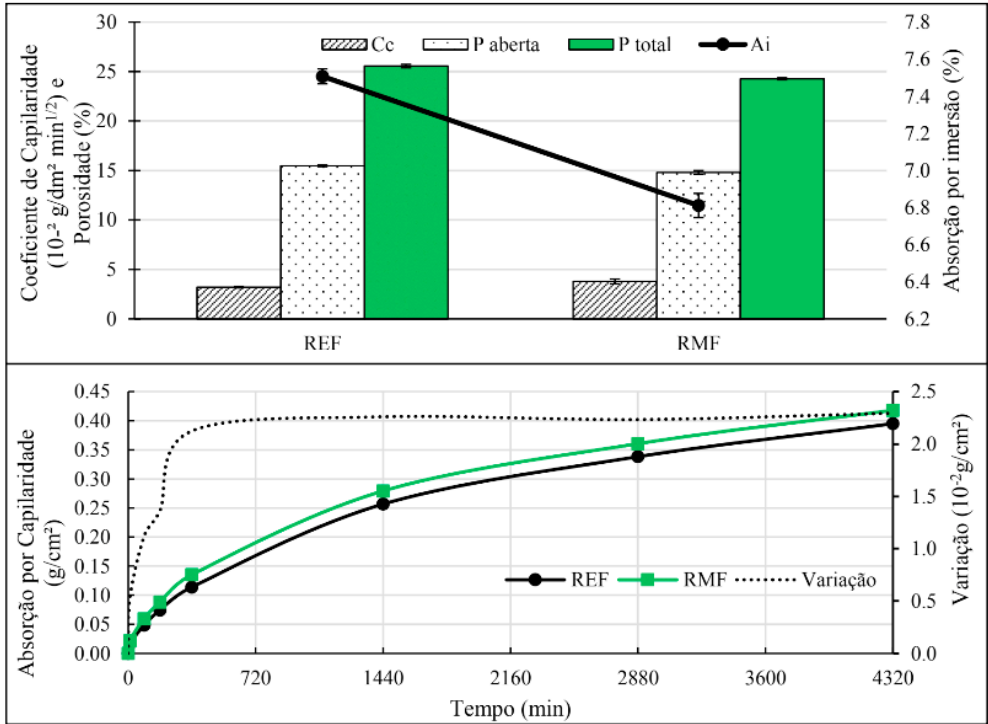


Figura 4 - Resultado do coeficiente de capilaridade, porosidade e absorção de água por imersão e por capilaridade das argamassas

Correlacionando esse resultado com as porosidades aberta e fechada, percebe-se que reduziram 4,59 e 5,25%, respectivamente, que houve um refinamento da estrutura dos poros, promovendo um melhor empacotamento dos grãos. Resultado compatível com estudo de (YU; ZHANG; MU, 2012), o que pode garantir maior durabilidade das argamassas (SANT'ANA FILHO *et al.*, 2017). Já a variação entre as porosidades aberta e fechada, tanto na argamassa de referência como na argamassa contendo RMF, fica em torno de 39%, indicando pouca diferença na quantidade de poros abertos, sendo mais significativa a dimensão destes gerando o refinamento dos poros (Figura 5).

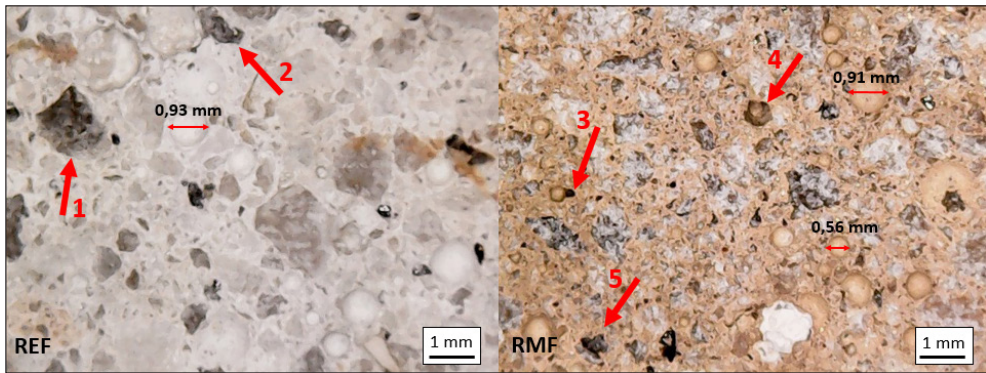


Figura 5 - Imagem de microscópio digital (1000x) das argamassas

Nos pontos 1 e 2, da argamassa de referência, são identificados poros de maior profundidade, ou seja, uma interconexão, que contribui para a permeabilidade de fluidos. Entretanto, esses vazios são maiores e mais irregulares, o que dificulta a absorção por capilaridade, tornando-a também mais lenta. Há também uma distribuição não uniforme de poros, de forma circular e de dimensões médias de 0,90 mm, além da presença de poucos poros menores. Já para a argamassa contendo resíduo, os pontos 3, 4 e 5, indicam os poros conectados, mas que tem menores dimensões, facilitando a absorção por capilaridade, assim como observado no resultado do ensaio. É possível constatar ainda que a distribuição dos poros é mais homogênea e os estes têm tamanho aproximado de 0,55 mm.

Santos (2006) afirma que a resistividade está fundamentalmente relacionada à permeabilidade de fluidos e à difusividade de íons através dos poros do material. Como houve aumento do coeficiente de capilaridade e refinamento da estrutura dos poros, a permeabilidade do material foi aumentada, observando uma redução da resistividade elétrica no valor similar (15,47%), conforme Figura 6. Destaca-se ainda o elevado teor de óxido de ferro (59,1%) do resíduo, que contribui elevando a condutividade e, conseqüentemente, reduzindo a resistividade elétrica.

Observa-se na Figura 7 que a pasta de referência no teor a/f de 0,416 resultou em uma resistência à compressão superior (39,06%) à do teor a/f de 0,345, o que não era esperado. Esse resultado pode estar atribuído a falhas na moldagem, gerando corpos de prova com faces não paralelas e superfícies irregulares, acarretando concentração de tensão durante a execução do ensaio. Isso corrobora com as rupturas, ocorridas próximas às faces laterais das amostras, ocorrendo sobretudo a pasta de referência.

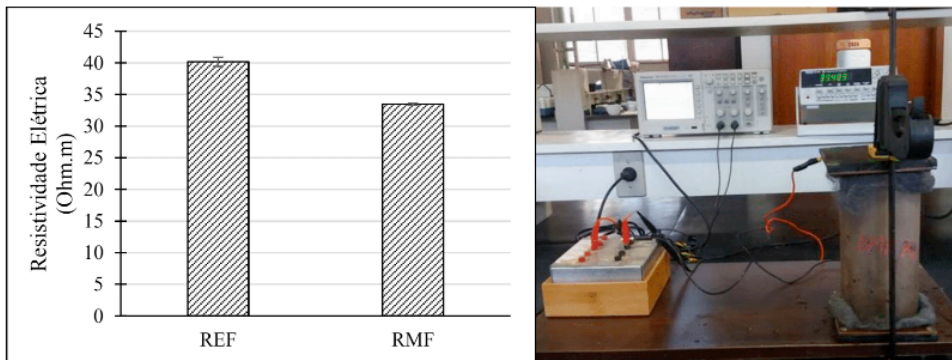


Figura 6 – (a) Resultado da resistividade elétrica das argamassas

Avaliando-se a presença do resíduo, houve um aumento de 80,06% na resistência à compressão no fator  $a/c$  de 0,345. Contudo, no fator água/cimento maior, observa-se uma queda de 5,78%. Considerando o erro do ensaio, esses últimos resultados são considerados estatisticamente iguais. Diante disto, pode-se afirmar que a adição de 40% de RMF não altera significativamente esta propriedade.

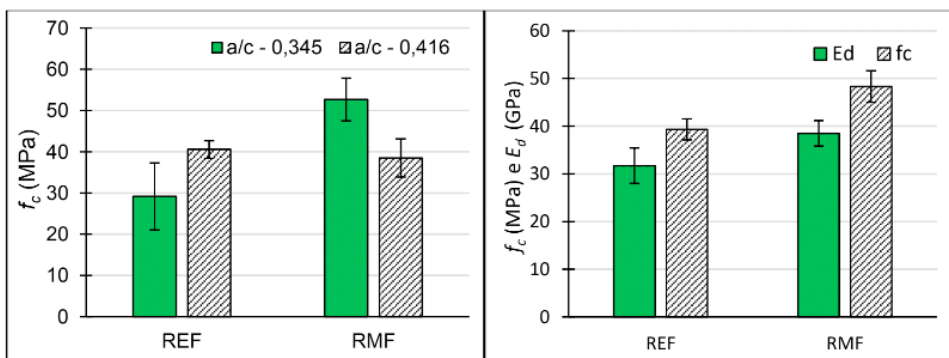


Figura 7 - Resultado da resistência à compressão ( $f_c$ ) e módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) das (Esquerda) pastas e das (Direita) argamassas

Já na resistência à compressão (Figura 7) da argamassa contendo RMF, constatou-se um aumento de 22,88%, devido ao efeito fíler e melhor empacotamento promovido pela adição mineral, confirmando os resultados observados na porosidade aberta e fechada, em conformidade com os estudos realizados por (YU; ZHANG; MU, 2012). Resultado semelhante foi encontrado no módulo de elasticidade dinâmico, sendo observado um aumento de 21,41% com a dição do RMF. Sendo esta propriedade também influenciada pela massa específica do resíduo (CARRASCO *et al.*, 2017). Destaca-se ainda a influência do tipo de cimento na composição da argamassa (CASTRO, 2018), utilizando

o cimento CPV ARI, obteve, para a mesma composição, uma resistência à compressão de aproximadamente 44 MPa, sendo, portanto, 8,90% menor que o resultado obtido neste trabalho com o cimento do tipo CPI.

Na Figura 8, observa-se a microestrutura da pasta contendo RMF, onde percebe-se uma região de “afastamento” de uma partícula da pasta que pode estar atribuída a absorção de água pelo RMF ocasionando um aumento no volume da mesma e contribuindo com a formação da portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Uma outra hipótese levantada seria a da presença de algum componente no resíduo de minério de ferro que possa reagir de forma expansiva nas primeiras idades, afastando a matriz e gerando a formação da portlandita na zona de transição. Ambas as hipóteses necessitariam de estudos mais aprofundados para conclusões mais elucidativas.

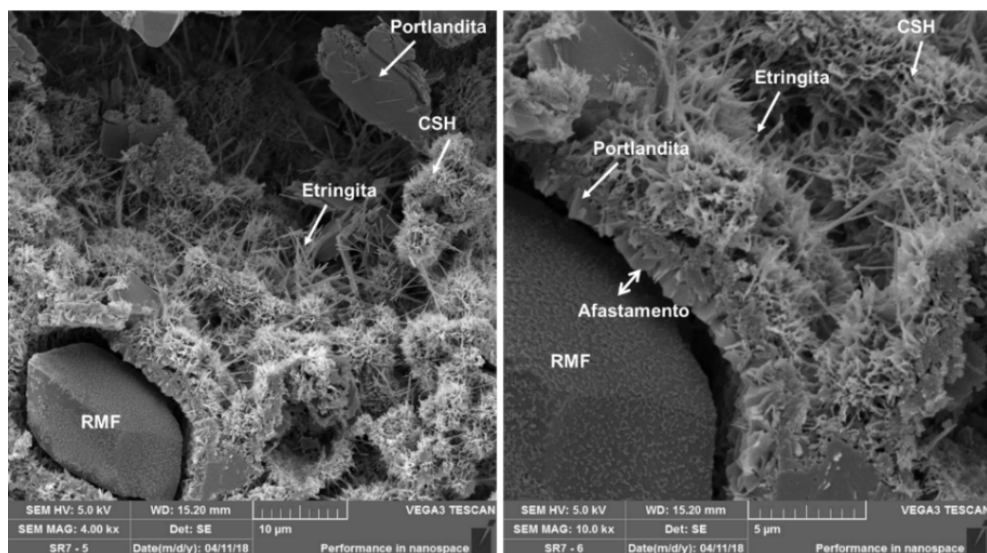


Figura 8 - Microestrutura das pastas próximo às partículas de RMF.

A composição química, referente a área demarcada em vermelho, através da análise do RMF pelo método de EDS, sendo composta principalmente por 42,7% de Ca (cálcio), 29,5% de Fe (ferro), 12,2% de Si (silício), dentre outros, e que difere do EDS realizado em outros pontos da pasta com adição de RMF, que não apresentou concentração elevada de Ferro. Acredita-se que este seja uma partícula de resíduo recoberta pela pasta de cimento o que causaria o elevado valor de cálcio, contudo não se identifica qualquer estrutura que corrobora com o cimento recobrindo.



## 4 | CONCLUSÕES

A avaliação do comportamento de pastas e argamassas contendo adição de 40% de resíduo de minério de ferro permite concluir que, de forma geral, o resíduo melhora o desempenho das argamassas no que diz respeito às propriedades mecânicas e de durabilidade, embora reduza a trabalhabilidade. Essa redução, está associada à sua elevada da área de molhagem, demandando mais água para atingir a mesma consistência. Constatou-se que o RMF atuou como fíler, proporcionando um melhor empacotamento dos grãos, o que refinou a estrutura dos poros. Esse resultado indica um melhor desempenho em relação à durabilidade do material, podendo ser um indicativo de maior resistência a penetração de agentes agressivos. Embora tenha sido observado um aumento no coeficiente de capilaridade, a longo prazo, pode-se concluir que a taxa de absorção é semelhante à da argamassa de referência. Além disso, a inserção do resíduo também leva a uma menor absorção final. Devido à essa menor porosidade e ao teor de ferro do resíduo, houve um ganho de resistência e elevação do módulo de elasticidade. Entretanto, mesmo com menor porosidade, houve uma queda na resistividade elétrica, pois essa propriedade é muito sensível à diversos fatores, incluindo a presença de materiais condutores, como é o caso do ferro. Este trabalho mostra a viabilidade técnica para o uso do RMF como adição em matrizes cimentícias, podendo ser uma solução eficiente para produção de materiais destinados à construção civil, contribuindo para a diminuição do volume do rejeito e fomentando uma destinação e coeficiente dos rejeitos armazenados em barragens.

## REFERÊNCIAS

CARRASCO, E. V. M., MAGALHÃES, M. D. C., SANTOS, W. J. D., ALVES, R. C., MANTILLA, J. N. **Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests.** Construction and Building Materials, v. 131, p. 31–38, 2017.

CASTRO, N. L. **Estudo de argamassa estrutural com adição de resíduo da mineração de ferro depositado em barragem de lama no estado de Minas Gerais – Brasil.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

COSTA, A. V. **Concreto com rejeito de sinter feed: Estudo comparativo de desempenho e caracterização microestrutural.** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2016.

DAUCE, P.D.; CASTRO, G.B.; LIMA, M.M.F.; LIMA, R.M.F. **Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings.** Journal of Materials Research and Technology, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro – Principais substâncias Metálicas 2017.** Disponível em: [http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/analisis-mineral/analisis-mineral-brasileiro/amb\\_metalicos2017](http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/analisis-mineral/analisis-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017), acessado em 27 de outubro de 2018.

FEAM. **Inventário de barragens do estado de Minas Gerais ano 2017**. [http://www.ief.mg.gov.br/images/FEAM/Barragens/Invent%C3%A1rio\\_de\\_Barragens\\_2017.pdf](http://www.ief.mg.gov.br/images/FEAM/Barragens/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2017.pdf), acessado em 27 de outubro de 2018.

FONTES, W. C.; MENDES, J. C.; SILVA, S. N.; PEIXOTO, R. A. F. **Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams**. *Construction and Building Materials*, v. 112, p. 988–995, 2016.

GALVÃO, J. L. B.; ANDRADE, H. D.; BRIGOLINI, G. J.; PEIXOTO, R. A. F.; MENDES, J. C., **Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints**. *Journal of Cleaner Production*, v. 200, p. 412–422, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Relatório Anual de Atividades, julho de 2017 - Junho de 2018**. Disponível em: [http://portaldamineracao.com.br/ibram/wpcontent/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o\\_Relat%C3%B3rioAnual\\_vers%C3%A3oweb.pdf](http://portaldamineracao.com.br/ibram/wpcontent/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf). Acessado em 27 de outubro de 2018.

KURANCHIE, F. A.; SHUKLA, S. K.; HABIBI, D.; MOHYEDDIN, A. **Utilisation of iron ore tailings as aggregates in concrete**. *Cogent Engineering*, v. 2, n. 1, 2015.

LEE, B. J.; KEE, S.-H.; OH, T.; KIM, Y.-Y. **Effect of Cylinder Size on the Modulus of Elasticity and Compressive Strength of Concrete from Static and Dynamic Tests**. *Advances in Materials Science and Engineering*, p. 1-12, 2015.

MAGALHÃES, L. F.; MORAIS, I. S.; ESTEVES JUNIOR, M. A.; MELO, A. C.; MAIA, A. L. F.; BEZERRA, A. C. S. **Resistência ao ataque ácido de cimento Portland com adição de rejeito de minério de ferro**, IBRACON, 59º Congresso Brasileiro de Concreto, Anais, out/nov, 2017.

PEIXOTO, R. F.; MENDES, J. C.; FONTES, W. C.; BASTOS, L. A. C.; SANT'ANNA, J. N.; SANTOS, D. H. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na construção civil. Relatório Técnico Reciclos**, UFOP, p. 56, 2016.

SANT'ANA FILHO, Joaquim *et al.* **Technical and Environmental Feasibility of Interlockin Concrete Pavers with Iron Ore Tailings from Tailings Dams**. *Construction and Building Materials*, v. 29, p. 1-7, jan. 2017.

SANTOS, L. **Evaluation of the electrical resistivity of concrete as a parameter to calculation of initiation period of corrosion induced by chlorids in concrete structures**. Master's Dissertation University of Brasília; Brasília, 2006. (Portuguese)

SHETTIMA, A. U., HUSSIN, M. W., AHMAD, Y., MIRZA, J. **Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 120, p. 72–79, 2016.

SILVA, F.L.; ARAÚJO, F.G.S.; TEIXEIRA, M.P.; GOMES, R.C.; VON KRUGER, F.L. **Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic**. *Ceramics International*, v. 40, n. PB, p. 16085–16089, 2014.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **National Minerals Information Center – Mineral Commodity Summaries, 2020**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/iron-ore-statistics-and-information>. Acesso em: 10/01/2021.



WEISHI, L., GUOYUAN, L., YA, X., QIFEI, H. **The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings.** Journal of Cleaner Production, v. 204, p. 685–692, 2018.

YU, L.; ZHANG, J.; MU, K. **Relationships between Compressive Strength and Microstructure in Mortars with Iron Ore Tailings as Fine Aggregate.** Applied Mechanics and Materials, v. 188, p. 211-218, 2012.

ZHAO, S.; FAN, J.; SUN, W. **Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete.** Construction and Building Materials, v. 50, p. 540–548, 2014.

## AVALIAÇÃO DE MICROESTRUTURA DE PASTAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO DEPOSITADOS EM BARRAGEM DE LAMAS

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 01/02/2021*

### **Nara Linhares Borges de Castro**

Universidade Federal de Ouro Preto - PROPEC  
Ouro Preto - Minas Gerais  
<https://orcid.org/0000-0002-7551-7667>

### **Laura Guimarães Lage**

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7906163707853431>

### **Carlos Augusto de Souza Oliveira**

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/3173026840468974>

### **White José dos Santos**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte-Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/6929801431620076>

**RESUMO:** Na atualidade, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de minério de ferro, em contrapartida o setor da mineração é apontado como um dos principais geradores de resíduos e de passivos ambientais, sendo altamente fiscalizado por órgãos públicos que visam a segurança e estabilidade das estruturas que armazenam estes resíduos. Denominadas barragens de lamas ou pilhas, estas, ocupam uma área considerável, necessária para sua operação, além do elevado impacto social causado nas comunidades. Existem iniciativas de estudos,

aplicando o resíduo de minério de ferro (RMF) em alguns materiais da construção civil, como na confecção de concretos, fabricação de blocos estruturais, pavimentação e em argamassas. Entretanto, em boa parte dos casos é necessário aprofundar os estudos técnicos, as dosagens e a aplicabilidade. No presente momento, a busca por soluções inovadoras, ligadas a sustentabilidade e ao consumo enorme de recursos naturais, demandam o melhor conhecimento dos materiais que utilizam aproveitamento do RMF, assim como seu comportamento e microestrutura. Nessa conjuntura, este trabalho apresenta a análise microestrutural de pastas cimentícias fabricadas com adição parcial de RMF em relação massa de cimento Portland. Foram estudadas pastas com teores de adição de 10%, 20%, 30% e 40% de RMF, estas, analisadas para idades de 7 e 28 dias. A técnica de instrumentação utilizada nas análises microestruturais foi a de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), aliada a técnicas de caracterização como, fluorescência de raios X (FRX) e densidade dos grãos e granulometria. As análises sinalizaram indícios de que o uso do RMF na forma de adição seria tecnicamente viável. Porém, observam-se algumas anomalias da microestrutura que podem indicar algum efeito deletério da adição do RMF às pastas cimentícias como, diminuição de trabalhabilidade e demanda excessiva de água para hidratação da pasta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microestrutura, Pasta, Rejeito de minério de ferro.

## MICROSTRUCTURE EVALUATION OF CEMENTITIOUS PASTES WITH ADDITION OF IRON ORE TAILINGS DEPOSITED IN A MUD DAM

**ABSTRACT:** Currently, Brazil is one of the world's largest producers of iron ore. In contrast, the mining sector is considered as one of the main generators of waste and of environmental liabilities, being highly supervised by public agencies that aim at the safety and stability of structures that store this waste. Called mud or pile dams, these occupy a considerable area, necessary for its operation, in addition to the high social impact caused in the communities. There are study initiatives, applying iron ore residue (IOR) to some construction materials, such as making concrete, making structural blocks, paving and mortar. However, in most cases it is necessary to deepen technical studies, mix design and applicability. At the present time, the search for innovative solutions, linked to sustainability and the enormous consumption of natural resources, demand the best knowledge of the materials that use the IOR, as well as their behavior and microstructure. At this juncture, this work presents the microstructural analysis of cementitious pastes manufactured with partial addition of iron ore residue (IOR) in relation to Portland cement. Pastes content of 10%, 20%, 30% and 40% of IOR were studied, these were analyzed for ages 7 and 28 days. The instrumentation technique used in microstructural analyzes was Scanning Electron Microscopy (SEM), combined with characterization techniques such as X-ray fluorescence (FRX) and, grain density and particle size. The analyzes signaled indications that the use of RMF in the form of addition would be technically feasible. However, there are some anomalies in the microstructure that may indicate some deleterious effect of adding RMF to cementitious pastes, such as decreased workability and excessive water demand for hydrating the paste.

**KEYWORDS:** Microstructure, Paste, Iron ore tailing.

### 1 | INTRODUÇÃO

Dados da *United States Geological Survey* (USGS, 2014) mostram que a produção de minério de ferro do Brasil foi estimada, em 2013, em 398 milhões de toneladas o que equivale cerca de 13,5% do total mundial. Como consequência da produção de matéria prima a geração de rejeitos é inevitável. Está prescrito na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que alocar os rejeitos em barragens não deve ser considerado como último artifício de acomodação dos mesmos, e ainda como alternativa provisória. O cadastro de barragens da FEAM teve início no ano de 2006, quando havia 606 estruturas. Com o passar do tempo, como consequência das ações de gerenciamento adotadas pelo órgão e da atitude responsável dos empreendedores em cumprir com as determinações definidas nas Deliberações Normativas do COPAM o número de estruturas vem se alterando a cada, em 2017 verificam-se 698 barragens mapeadas e cadastradas (FEAM, 2017). Segundo Silva, Viana e Cavalcante (2012), na mineração, grandes volumes e massas de material são extraídos e movimentados, e a quantidade de resíduos gerada pela atividade depende do processo utilizado para a extração do minério, da concentração do mineral na rocha matriz e da localização da jazida.

As operações realizadas para etapa de beneficiamento do produto podem ser

destacadas como cominuição, peneiramento, concentração mineral, filtragem, secagem e por fim disposição do rejeito. O reaproveitamento dos resíduos da mineração é um fator importante, tanto no âmbito ambiental, quanto no que se diz respeito ao emprego de materiais sustentáveis na construção civil. Suzuki (2017) afirma que as maiores dificuldades encontradas são as viabilidades econômica e técnica para essa troca e o desempenho nem sempre similar, quando utilizado o produto reciclado em comparação ao natural. Visando dirimir esse volume audacioso de barragens, Neto (2007) defende que existem técnicas para gerenciar os resíduos e devem partir de um planejamento integrado, para que haja minimização de ações e majoração de reciclagem e reaproveitamento. Para gerenciar os resíduos assim como iniciar os processos de descaracterização das barragens, deve-se dar ênfase na redução na fonte, visando a reutilização e reciclagem. Atrelado a essa necessidade atual de desenvolvimento de materiais sustentáveis, vê-se a importância de entender o comportamento desses novos métodos. A maneira de se caracterizar uma amostra de RMF varia muito com a própria mineralogia e as propriedades inerentes ao minério, bem como os objetivos e a abrangência da caracterização, como as possíveis rotas de processamento, e como a disponibilidade de tempo, capacidade analítica e recursos financeiros. Para tal, uma das técnicas é a análise microestrutural, que vem sendo incentivada pois, de acordo com Custódio (2015), a partir de estudos de caracterização seria possível prever e otimizar propriedades da pasta, além de ser possível prever patologias. Mehta e Monteiro (2008), complementam que a análise microscópica pode ser considerada um ensaio não-destrutivo e eficiente. Varela (2017) define pasta como a mistura com proporções adequadas de água e cimento e/ou aglomerante. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) afirma que a mesma pode ser classificada quanto ao seu estado, sendo eles, fresco ou endurecido. Um dos itens para obtenção da pasta, é o aglomerante, o mais utilizado é o cimento Portland, e pode ser definido como um material pulverulento, rico em sílica e cal e que apresenta propriedades aglutinantes. Ao ser misturado com a água, forma uma pasta com consistência plástica, reage quimicamente, endurece e adquire resistência mecânica (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986). Na análise do resíduo do minério de ferro, Varela (2017) define por granulometria, a distribuição, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos. “A composição granulométrica tem grande influência nas propriedades das argamassas e concretos” (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Se tratando da análise química do RMF, Glocker e Schreiber (1928) a espectrometria de fluorescência de raios-X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra. A microscopia eletrônica de varredura é utilizada em várias áreas do conhecimento, incluindo a mineralogia. O uso desta técnica vem se tornando mais frequente por fornecer informações de detalhe, com aumentos de até 300.000 vezes (Duarte et al., 2003). As propriedades, por exemplo as mecânicas, tem sua origem na microestrutura e essas podem ser modificadas fazendo certas alterações na

microestrutura do material.

## 2 | OBJETIVOS

Neste contexto, o presente trabalho, visa promover o aproveitamento de resíduos, originado no processamento final do beneficiamento, em forma de lama, proveniente do estado de Minas Gerais, Brasil e estudar a influência da implementação em matrizes cimentícias. Para tal uso, avalia-se as características químicas e físicas do resíduo de minério de ferro coletado em Sarzedo, no estado de Minas Gerais, Brasil, assim como o estudo da dosagem experimental das pastas e identificando o teor ótimo de adição do RMF realizando análise e caracterização da microestrutura das mesmas, avaliando as possíveis reações químicas entre o cimento Portland e resíduo de minério de ferro quando hidratados e por consequência analisar morfologicamente a fase endurecida da pasta, na finalidade de entendimento desta interação.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho avaliou a influência do resíduo de RMF em adição parcial ao cimento Portland, analisando suas características e por meio da confecção de pastas, avaliando a sua microestrutura. A Figura 01 retrata sobre a metodologia usada para o desenvolvimento.

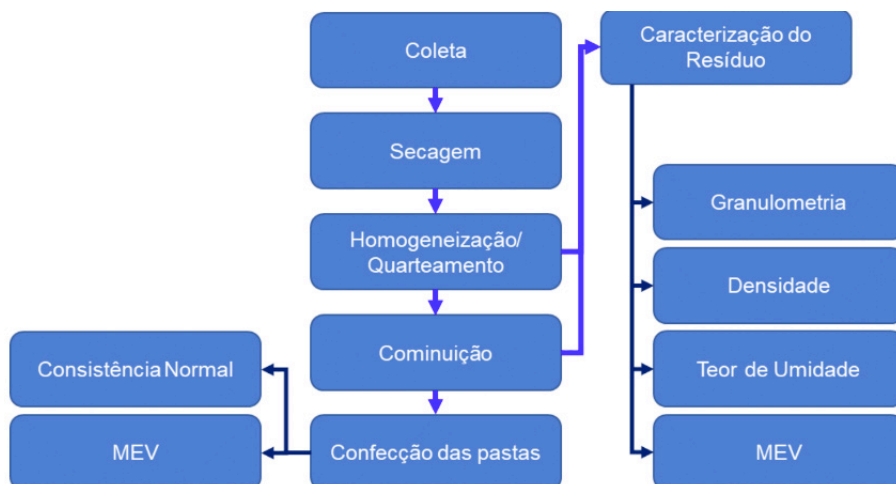


Figura 1- Fluxograma dos métodos

Fonte: O autor,2018.

O RMF utilizado neste trabalho tem origem de Sarzedo (MG), cidade situada na região

metropolitana de Belo Horizonte. O RMF foi coletado e disponibilizado por uma empresa que atua no segmento de exploração e beneficiamento mineral. A amostra foi retirada de forma representativa seguindo as orientações da norma da NBR 9604 (ABNT, 2016), com auxílio de uma carregadeira, sendo obtidas em diferentes pontos da barragem de rejeito. Em seguida as amostras foram conduzidas até o Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Unifei – Campus de Itabira. Estas se encontravam convenientemente embaladas e identificadas, conforme orientações da norma NBR 6457 (ABNT, 1986), o que pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 - Recebimento, quarteamento e secagem do rejeito

Fonte: Próprio autor, 2018.

Primeiramente, foi feita a caracterização do material no seu estado natural, de modo a conhecer as propriedades e características do rejeito de mineração de ferro. Para isso, foi retirada uma amostra representativa do montante, após o processo de quarteamento em laboratório. Prosseguiu-se com a caracterização realizando-se a granulometria, densidade dos grãos e o teor de umidade.

A análise mineralógica das amostras de rejeito (RMF) foi determinada pela técnica de fluorescência de raios X. Esse teste foi realizado pela empresa SGS Geosol Laboratório Ltda, localizada na cidade de Vespasiano (MG). Foram analisadas três amostras do RMF. Na avaliação da granulometria do RMF foram adotadas as recomendações da norma NBR 7181 (ABNT, 1984), seguindo as etapas de peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação. Após uma análise visual do resíduo foi constatado que não apresentava material de diâmetro de partículas superiores à abertura 4,8mm. Então, na etapa de peneiramento grosso, optou-se por usar apenas as peneiras de aberturas 4,8mm e 2,0mm, sendo que nas demais não haveria retenção do material. Já na etapa de peneiramento fino, empregou-se todo o jogo de peneiras de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984), que foram elas: 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,075 mm e fundo.

De acordo com os ensaios realizados, constatou-se que o material apresentava elevado diâmetro dos grãos e não se encontrava na granulometria almejada para o desenvolvimento da pesquisa. Com isso, procedeu-se a cominuição do material, para se

obter uma maior superfície específica. Ressalta-se que essa pesquisa visa pesquisar o comportamento reológico do RMF com elevada finura, como adição ao cimento Portland. Para cominuição foi utilizado o moinho de Bolas, com dimensões 380 x 420 mm, volume de 47 litros, carregado com 67 esferas metálicas de 30,53 mm de diâmetros em média. A cada procedimento foi colocado no equipamento uma quantidade de 4,5kg de RMF. Por meio de um programador digital do equipamento foi possível controlar o número de rotações durante o processo de moagem, sendo adotadas 16.000 rotações, como tentativa de maximizar o material fino. Utilizou-se como processo de moagem o moinho de bolas, rotacionados a 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000, 12.000, 14.000 e 16.000 rotações, sempre intercalado com peneiramento para análise. Entre os dois últimos ciclos o material se estabilizou quanto a porcentagem de finos, portanto, trabalhou-se com o RMF proveniente da moagem de 14.000 rotações. Com isso, aproximadamente 66% do material foi incorporado aos processos de confecção de pastas. Do material cominuído, foram coletadas novamente amostras para a realização dos ensaios de granulometria e densidade grãos, segundo as metodologias anteriormente citadas. Após a passagem pela peneira 0,15 mm (#100) esse material foi empregado na produção das pastas.

Para a produção das pastas foi realizada a adição em porcentagens proporcionais em massa, de resíduo em relação ao cimento Portland. Foram adotados os teores de adição de 10%, 20%, 30% e 40% de RMF, em relação a massa do cimento. A relação água/aglomerante empregada na pasta foi 0,50. Foi adotada a seguinte representação gráfica para os traços, sendo o primeiro índice o cimento Portland, o segundo índice a adição de RMF e o Terceiro a relação água/aglomerante. Foram considerados como aglomerantes o cimento Portland e o RMF, passante na peneira de abertura 0,15 mm (#100). O cimento Portland empregado na fabricação das pastas foi o cimento Portland de alta resistência Inicial. A escolha do cimento Portland CPV-ARI, do fabricante InterCement Brasil S/A se deu pois, de acordo com os dados do mesmo é constituído basicamente de clínquer Portland finamente moído e gesso. Portanto, por característica de elevada finura (baixo teor de adições minerais) esse cimento foi adotado no estudo para facilitar o entendimento da influência do RMF na reologia das pastas e análise das microestruturas geradas. Após o preparo das pastas, colocou-as em moldes até a etapa de desforma. Adotou-se como moldes em oito copos plásticos com capacidade volumétrica de 50 ml cada. Para cada teor de adição de RMF moldou-se dois corpos de prova (moldes), de cada molde confeccionado foram extraídos fragmentos para análises de microestrutura, conforme Figura 3.



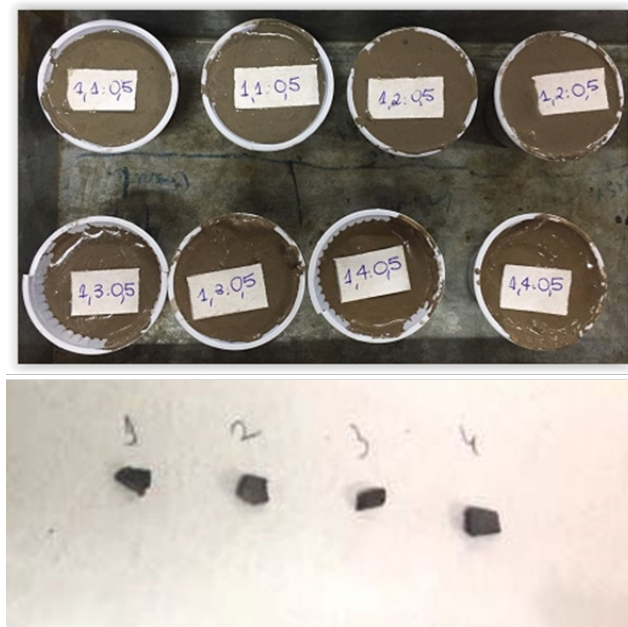


Figura 3- Moldes dos corpos de Prova e fragmentos extraídos.

Fonte: Próprio autor,2018.

Para análise da microestrutura foram examinados fragmentos das amostras das pastas com adição de 10%, 20%, 30% e 40% de RMF em relação ao cimento. O equipamento utilizado foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura Bruker Xflash Detector 410 –M. As amostras foram dispostas em suportes metálicos e fixadas com fita adesiva. Em seguida, foram metalizadas com ouro paladium para conferir propriedade de condutividade a amostras de RMF. Posteriormente, já disposto em condição de vácuo, através do detector de elétrons secundários foi possível visualizar as amostras nos aumentos de 100, 1.000 e 10.000 vezes, avaliando imagens tanto em elétrons secundários, como de retroespalhados. Essas ampliações permitiram para observar a estrutura superficial a amostra.

## 4 | RESULTADOS

Identificou-se uma umidade do RMF natural na ordem de 0,75%. Observou-se que o processo de moagem, influenciou diretamente na densidade dos grãos. Isso foi percebido, após a realização da picnometria ao final de cada ciclo das rotações para cominuição do resíduo, observou-se que quanto mais cominuído o material maior era sua densidade dos grãos. O resultado da densidade dos grãos utilizados para confecção das pastas foi de 4,22 g/cm<sup>3</sup>. Percebe-se pela distribuição granulométrica do RMF natural que o modulo de finura da amostra é de 8,6% superior ao do cimento Portland cujo às especificações da NBR



11579 (ABNT, 1991) para o CPV - ARI que deve possuir o índice de finura inferior a 6%. Percebeu-se que houve um aumento significativo da área específica devido a cominuição do material no moinho de bolas.

Na Tabela 01 visualizam-se os resultados da análise química do RMF. Os elementos químicos com maiores porcentagens em ordem de grandeza foram o ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e o silício ( $\text{SiO}_2$ ), respectivamente.

Análise	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	LOI
RMF	0,49	25,60	3,13	59,10	3,85	0,23	0,14	0,16	<0,1	0,38	0,23	6,12

Tabela 1 - Resultado Fluorescência de Raios- X.

Fonte: O autor, 2018.

O elevado teor de ferro justifica o resultado da densidade dos grãos obtida. O método de DRX permitiu avaliar que o RMF é um material composto principalmente por Fe, Si, Ca e Al, apresentando a composição de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 59,1%,  $\text{SiO}_2$  - 25,6%, CaO - 3,85%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 3,13%. As análises e os dados encontrados neste trabalho, corroboram com os obtidos na análise química e na densidade dos grãos do RMF. As micrografias das pastas de argamassas estudadas, nas idades de 7 e 28 dias, geraram-se imagens obtidas por elétrons secundários (SE) e retroespalhados (BSE). Na Figura 04, destacam-se imagens dos elétrons secundários de 28 dias, com aumento de 100 vezes. As pastas apresentam estrutura densa e compacta. Entretanto, dispersos na microestrutura das pastas, encontram regiões com a presença de vazios, com morfologia arredondada, típicos de bolhas de ar incorporadas que foram incorporadas às pastas durante o processo de moldagem dos corpos de prova.

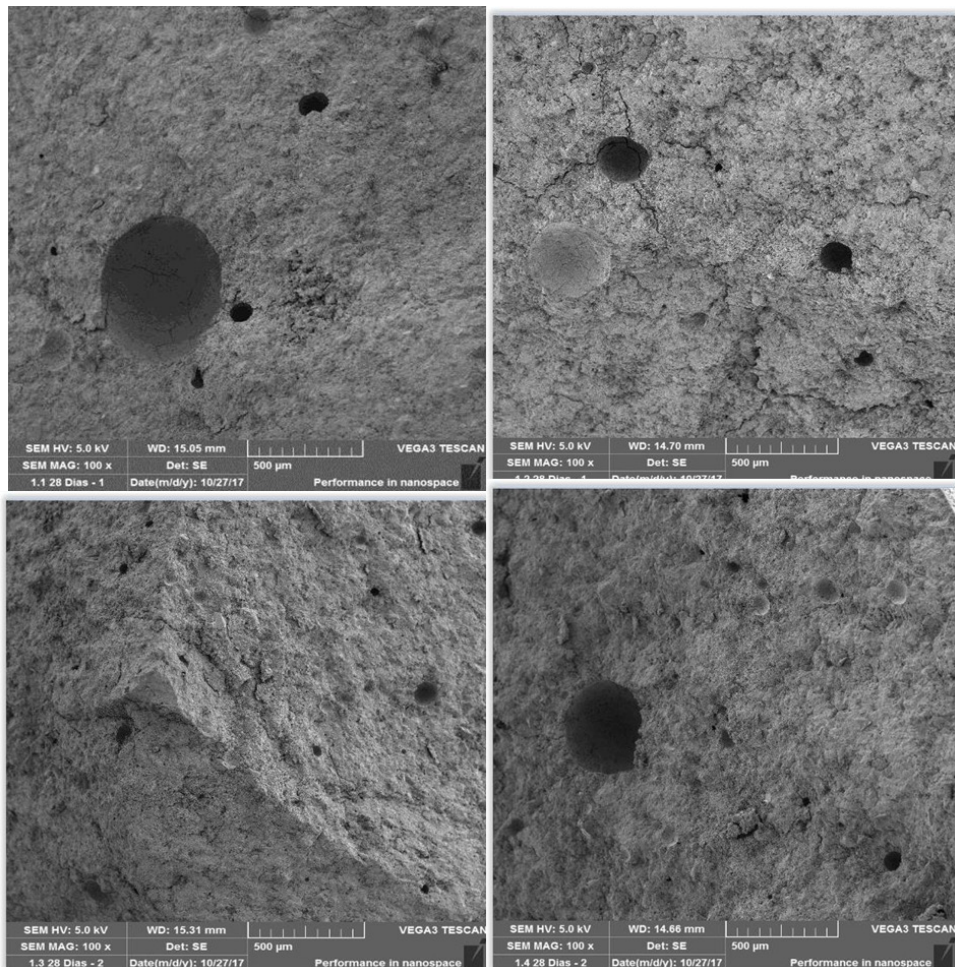


Figura 04 SE - 28 DIAS – AUMENTO: 100 X (pastas com 10%, 20%, 30% e 40% de adição de RMF- esquerda para direita).

Fonte: Próprio autor, 2018.

Um bom processo de adensamento e a redução do tempo de mistura poderia minimizar esse fenômeno. O aumento de 10.000 vezes exibe o alto teor de óxido de silício e óxido férrico no RMF da pasta. As partículas finas da sílica ativa e hematita ocupam os vazios deixando a massa mais densa, por isso quanto mais RMF incorporado, menos poroso é a pasta.

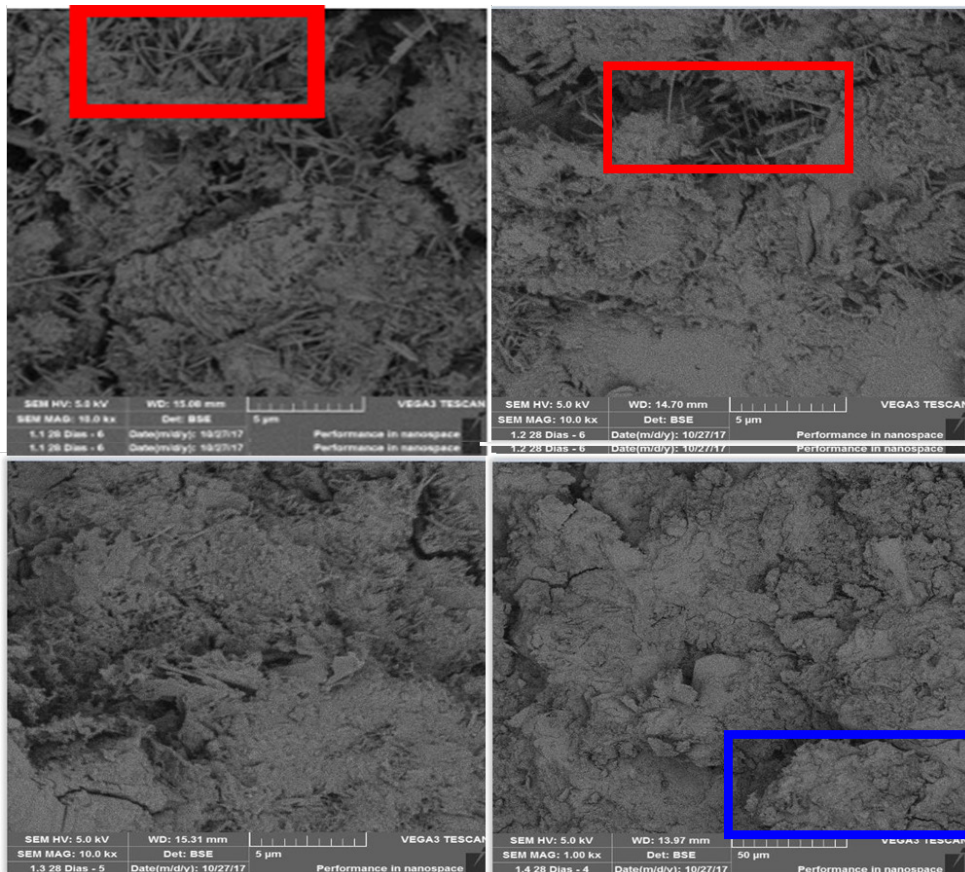


Figura 05 BSE - 28 DIAS – AUMENTO: 10.000 X (pasta com 10%, 20%, 30% e 40% de adição de RMF- esquerda para direita).

Fonte: Próprio autor.

Nos traços P10% e P20%, observa-se uma estrutura porosa com presença de etringitas, destacada de vermelho. Enquanto com percentual de adição de P40% a amostra está mais densa, com menos etringitas e maior aglomerado de C-S-H, que se encontra destacado em azul. Apesar disto, a presença de fase cristalina de C-S-H se encontra identificada em todas as pastas, independente do teor de utilização do RMF e da idade de análise, aspecto importante por se tratar da principal fase proveniente da hidratação do cimento Portland. Nessa pesquisa com a técnica de MEV empregada não foi possível identificar qual tipo de fase C-S-H foi predominantemente formada ou se o RMF influenciou nos seus mecanismos de formação. A relação água/aglomerante, influencia diretamente na resistência mecânica da pasta, porém pouco se observou a formação de fissuras durante a aplicação da microscopia. Observou-se que houve um descolamento da matriz. Apesar do RMF ser acrescido a massa de cimento, ele possui características diferentes. E nessa

etapa ele se comportou como agregado, que pode ser justificado porque há presença de alguns grãos. A elevada relação água/aglomerante está intimamente ligada aos efeitos deletérios da pasta, pois agrava o aparecimento de poros, acarretando mais retrações, originando as fissuras. Em consequência, é perceptível uma maior permeabilidade.

## 5 | CONCLUSÕES

Fisicamente pode-se observar que a lama oriunda da barragem de Sarzedo, Minas Gerais, após ser beneficiada em laboratório, possui alta dureza do material. Isso pode ser constatado, pois, apesar de todos os processos de moagens, foi possível implementar como adição a pasta de cimento apenas 66% da amostra. A análise química mostra que o RMF apresenta elevado teor de hematita, resultando então numa alta densidade. Além disso, após cada processo para aumento da superfície de contato do RMF, sua densidade dos grãos aumentou. Isso aconteceu, pois, quanto maior o percentual de finos, mais vazios aquela amostra ocupa em um dado volume. O volume e a densidade são parâmetros inversamente proporcionais. O RMF cominuído e peneirado se comportou como efeito filler, ou seja, fechando os poros, então quando maior o percentual de RMF implementado a pasta, espera-se melhor características mecânica. Seguindo o raciocínio de que, menor quantidade de poros, menor permeabilidade e maior durabilidade. O traço P40% possui melhores características morfológicas e químicas, isso porque as partículas finas da sílica ativa e hematita ocupam os vazios deixando a pasta mais densa, por isso quanto mais RMF incorporado, menos poroso é a pasta. A fase cristalina de silicato de cálcio hidrato (C-S-H) é importante pois influência de modo positivo e direto nas propriedades mecânicas, é considerado o composto mais importante na resistência da pasta. Em contrapartida, o traço P10% apresentam maior volume de etringitas, que é considerado a parte frágil da pasta. O uso do RMF na forma como foi estudado sinaliza ser tecnicamente viável e ambientalmente correto, porém necessita de estudos mais aprofundados. Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se diminuir a relação água/aglomerante da pasta e observar o que acontece na sua morfologia. Implementar essa pasta estudada em argamassas ou concretos. Além disso, executar ensaios relacionados a durabilidade deste material.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. B de, 2006, **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**, Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 11579. **Cimento Portland: Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro. 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6457. **Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.NBR 11560. **Água destinada ao amassamento do concreto**. Rio de Janeiro. 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.NBR 7181. **Solo: Análise Granulométrica – Procedimento**. Rio de Janeiro. 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.NBR 7211. **Agregado para concreto**. Rio de Janeiro. 2009.

BARROS, C.J. **Os resíduos sólidos urbanos na cidade de Maringá – Um modelo de gestão**. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2002.

BIDONE, FR; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC- USP, 1999.

BRASIL, Ministério do Planejamento. Programa de Aceleração do Crescimento – Balanço 4 anos – 2007 – 2010, 2010.

CONSTANTINIDES, G.; ULM, F.-J. The **Effect of Two Types of C-S-H on the Elasticity of Cement-Based Materials: results from nanoindentation and micromechanical modeling**. Cement and Concrete Research, v. 34, n. 1, p. 67-80, 2004.

CONSTANTINIDES, G.; ULM, F.-J. The **Nanogranular Nature of C-S-H**. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, v. 55, n. 1, p. 64-90, 2007.

Departamento nacional de estrada e rodagem, DNER – ME 093/94 –**Solos - Determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1994.

FONTES, Wanna Carvalho; PEREIRA, Ana Cristina; PIMENTA; CHIBLI, Pedro Apolinário; BASTOS, Lucas A. de Castro; BRIGOLINI, Guilherme; FIOROTTI, Ricardo. **Utilização de Rejeito de Barragem de Minério de Ferro com Agregado Reciclado para Argamassas**. 2013 Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

Governo do estado de Minas Gerais. Fundação estadual do Meio Ambiente. **Inventário de barragem do Estado de Minas Gerais**,2017. ACESSADO EM 27/01/10 as 14:30 h.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando A. Freitas. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. 2010. 21 f. **TCC (Graduação) – Curso de Coordenação de Processos** Minerais – Copm, Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2010.

METHA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**- 2ª Edição. Ed.: IBRACON. 2008.

MONDAL, Paramita et al. **Nanoscale Characterization of Cementitious Materials**. ACI Materials Journal, v. 105, n. 2, mar./abr. 2008.

NETO, H. A. 2007. **Perfil da Mineração de uro (Relatóri Técnico nº28 do Projeto de Assistência ao Setor de Energia – Projeto ESTAL)**. Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia, Brasília. 50 p.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. Ed. PINI, São Paulo, 1986.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. Santa Maria, 2007. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

RESENDE, C.M.A. **Estudo da viabilidade de incorporação de escória de cobre como agregado fino em produtos de construção**. Porto, FEUP, 2009. (Dissertação de Mestrado).

RICHARDSON, I. G.; GROVES, G. W. **The Microstructure and Microanalysis of Hardened Ordinary Portland Cement Pastes**. Journal Material Science, v. 28, n. 11, p. 265-277, 1993.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Argamassas – Notas de Aula**. USP. São Paulo.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013

TENNIS, P.; JENNINGS D.; HAMLIN, M. **A Model for Two Types of Calcium Silicate Hydrate in the Microstructure of Portland Cement Pastes**. Cement and Concrete Research, v. 30, n. 6, p. 855-863, 2000.

PELISSER, F.; GLEIZE, P. J. P.; MIKOWSKI, A. **Propriedades nanomecânicas do silicato de cálcio hidratado de síntese**. Ambiente Construído. V. 9, n. 42, p. 129-139, out./dez. 2009.



## ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS VÍTREOS NA PRODUÇÃO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 04/01/2021

### Isabelle Aparecida Costa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Toledo – Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-1397-466X>

### Ricardo Schneider

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Toledo – Paraná  
<https://orcid.org/0000-0001-9501-8489>

**RESUMO:** Em vista dos problemas ambientais gerados pela disposição errônea dos resíduos vítreos não reciclados no país e visando maior valor agregado ao material, nota-se a necessidade do estudo de aplicações que absorvam o vidro na construção civil. Este trabalho avalia a viabilidade da implementação do pó de vidro em substituição ao material mais oneroso na produção de blocos intertravados de concreto: o cimento. Para tanto, moldaram-se corpos de prova com substituição de pó de vidro, em massa, na proporção de 5%, 10%, 20% e 40%, e avaliaram-se quanto a inspeção visual, resistência à compressão e absorção de água; testes amparados pela NBR 9781:2013. Os resultados para a análise de inspeção visual foram satisfatórios, visto a granulometria apresentada pelo pó de vidro. Além disso, houve ganhos na resistência a compressão das três primeiras amostragens, sendo a última inviável para uso devido a fácil degradação. Por fim, enfatiza-se a otimização do

custo do *paver* e o impacto nos âmbitos social e ambiental, visto que a proposta conta com a remediação de um passivo ambiental enfrentado por grande parte dos municípios brasileiros e que a iniciativa pode ser reaplicada em qualquer localidade revertendo o resíduo em benefícios para a sociedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Paver*; resíduos vítreos; substituição de aglomerante; sustentabilidade; meio ambiente.

### STUDY OF THE FEASIBILITY OF REPLACING BINDER BY VITREOUS WASTE IN THE PRODUCTION OF INTERLOCKED CONCRETE PAVEMENT

**ABSTRACT:** In face of the environmental problems generated by the improper disposal of non-recycled glass waste in the country and aiming at a higher added value to the material, it is necessary to study applications that absorb glass in civil construction. This work evaluates the feasibility of implementing glass powder as a substitute for the most expensive material in the production of interlocked concrete blocks: cement. For this purpose, specimens with replacement of glass powder, by mass, in the proportion of 5%, 10%, 20% and 40%, were molded and evaluated for visual inspection, compressive strength and water absorption; tests supported by NBR 9781:2013. The results for visual inspection analysis were satisfactory, given the granulometry presented by the glass powder. Additionally, there were gains in the compression resistance of the first three samples, the last one being unfeasible for use due to easy degradation. Finally, the optimization of the paving cost and the

impact in the social and environmental spheres are emphasized, since the proposal includes the remediation of an environmental liability faced by most Brazilian municipalities and that the initiative can be reapplied in any location reverting the waste in benefits to society.

**KEYWORDS:** Paver; vitreous waste; binder replacement; sustainability; environment.

## 1 | INTRODUÇÃO

A importância da reciclagem dos resíduos sólidos é fundamental para a preservação e redução do consumo de recursos naturais não renováveis do planeta, pois satisfaz às necessidades da população sem comprometer a sobrevivência de próximas gerações (LUCAS; BENATTI, 2008). Tratando-se especificamente da classe de resíduos vítreos, estes materiais amplamente difundidos na vida moderna, surgem como uma complicação nos aterros devido à dificuldade de manejo e reaproveitamento do mesmo (GRIGORI, 20\_).

Estima-se que anualmente são descartados 5,57 kg de vidro per capita em todo o país (ASSIS, 2006). Dito isso, cabe recordar que a natureza não biodegradável dos resíduos vítreos gera problemas tanto de ordem ambiental como de disponibilidade espacial em aterros sanitários (JANI; HOGLAND, 2014; LEE et al., 2007).

Atualmente, esses materiais não possuem destinação correta definida, ou ainda, apresentam disposição inviável por motivos logísticos, operacionais e/ou econômicos. Tais fatos constituem-se como obstáculos de caráter ambiental e financeiro, representando grande dificuldade para o setor público e privado, pois se veem inaptos a destinar corretamente o montante de resíduo vítreo produzido mensalmente.

Diante do exposto, pesquisas que visem a absorção desse resíduo na construção civil têm se tornado frequentes, visto que é um setor com potencial para incorporação de matérias-primas alternativas. O resíduo vítreo já foi estudado por autores quanto à substituição do agregado miúdo na produção de pavimento intertravado de concreto, também conhecido como “*paver*” (WICZNOVSKI, 2019; CENCI, 2019).

Nesta pesquisa, propõe-se a investigação das propriedades físicas e mecânicas de *pavers* dormidos com substituição do aglomerante - cimento - por pó de vidro em quatro proporções diferentes. As amostras foram avaliadas quanto a inspeção visual, resistência a compressão e índice de absorção d’água.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos *pavers*, os materiais utilizados foram: água de abastecimento público, Cimento Portland CP-II, da empresa VOTORAM, areia natural, pedrisco, brita nº 1 e o pó de vidro reciclado; proveniente da Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Toledo, que funciona em estrutura cedida pelo governo municipal, anexa ao Aterro Sanitário. Os protagonistas do estudo estão ilustrados na Figura 1.





Figura 1 – Pó de vidro e cimento utilizados como aglomerante.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

O pó de vidro foi submetido a ensaios de caracterização física realizados segundo os parâmetros normativos brasileiros listados na Tabela 1.

NBR	Descrição do Ensaio
NM 248 (2000)	Agregados - Determinação da composição granulométrica
NM 23 (2000)	Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica

Tabela 1 – Diretrizes para caracterização dos aglomerantes utilizados.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

De modo a identificar a aplicabilidade do material reciclado na linha de produção da empresa Beit Abba definiu-se o traço de referência sendo o próprio padrão adotado pela empresa na confecção de suas peças.

O traço de referência, denominado como  $P_{0\%}$ , contém 1:2,5:1:2 (cimento:areia:brita 1:pedrisco), em massa, e para obter um aspecto visual diferenciado é feita a nata de cimento com traço 1:2 (cimento:areia). Para determinar a porcentagem de pó de vidro viável no produto adotaram-se quatro traços, variando a quantidade de aglomerante substituído, em massa, por 5% ( $P_{5\%}$ ), 10% ( $P_{10\%}$ ), 20% ( $P_{20\%}$ ) e 40% ( $P_{40\%}$ ) de pó de vidro.

Foram moldados 21 corpos de prova prismáticos de 10x20x6cm para cada porcentagem de substituição, sendo 6 amostras para realização dos ensaios de inspeção visual e resistência à compressão nas idades de 7, 14 e 28 dias; e 3 amostras para o ensaio de absorção d'água aos 28 dias.

A mistura do concreto foi realizada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 120L. Os materiais foram adicionados na seguinte ordem: brita nº 1, pedrisco, cimento, pó de vidro, água e por fim a areia. Em seguida preencheram-se formas duplas com o concreto fresco e o adensamento em mesa vibratória foi realizado, Figura 2. Após a moldagem, aguardaram-se 24h para a desforma dos corpos de prova, os *pavers* foram acomodados em paletes e submetidos ao processo de cura em estufa até as idades dos ensaios citados.



Figura 2 – Amostragem em preparo para o adensamento sob mesa vibratória.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

As peças de pavimento intertravado foram analisadas quanto a inspeção visual, resistência a compressão e índice de absorção d'água; todos ensaios parametrizados pela NBR 9781:2013.

### 3 | RESULTADOS

A análise de inspeção visual foi realizada após 28 dias de cura e mostrou resultados satisfatórios, como apresenta a Figura 3. Visto a granulometria do pó de vidro ( $< 590 \mu\text{m}$ ) e sua alta densidade ( $2,94 \text{ g/cm}^3$ ), constatou-se que quanto maior o teor de pó de vidro, menor a porosidade do *paver*. Nota-se o preenchimento dos poros gerando uma aparência marmorizada na peça, salve a última amostragem que inicia o processo de esfarelamento por não aglutinar as partículas satisfatoriamente.

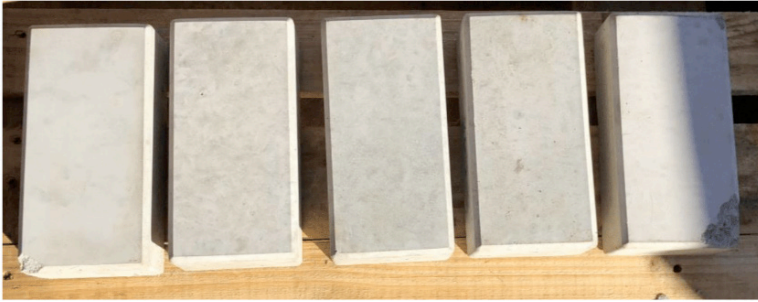


Figura 3 – Inspeção visual das amostras  $P_{0\%}$ ,  $P_{5\%}$ ,  $P_{10\%}$ ,  $P_{20\%}$  e  $P_{40\%}$ , respectivamente.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

A relação entre quantidade de vidro e porosidade das peças pode ser comprovada pelo ensaio de absorção d'água, Tabela 2. Onde nota-se que até o limite  $P_{20\%}$  consegue-se a redução de absorção d'água e conseqüentemente diminui-se o número de vazios da peça, dispensando assim a utilização de nata do cimento na produção para melhorar o aspecto do *paver* dormido.

Traço Utilizado	$P_{0\%}$	$P_{5\%}$	$P_{10\%}$	$P_{20\%}$	$P_{40\%}$
Absorção d'água (%)	8,96	7,18	6,54	5,67	7,63

Tabela 2 – Ensaio de absorção d'água.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

Além disso, houve melhoras significativas na resistência à compressão com a adição do pó de vidro, Gráfico 1. Entretanto, nota-se a necessidade de revisão do traço utilizado, visto que na NBR 9781:2013, a resistência à compressão, deve suportar um peso maior ou igual a 35 MPa para tráfego de pedestres e veículos leves e amostragem não alcançou tal resistência.

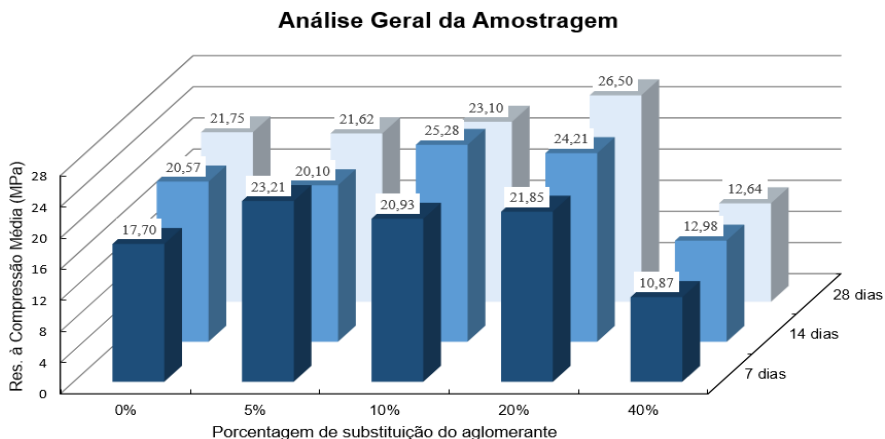


Gráfico 1 – Análise da resistência à compressão média da amostragem

Fonte: Aatoria Própria (2020).

A priori, a porcentagem de substituição ideal concentra-se no teor de 20% de pó de vidro, resultando em um acréscimo de resistência de 22% aos 28 dias. Vale ressaltar a melhoria na homogeneidade dos resultados, visto que a amostragem  $P_{20\%}$  possui desvio padrão equivalente a 1,53 MPa, valor 60% inferior ao traço de referência.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se além da otimização das propriedades mecânicas do *paver*, a redução de custo na produção e o impacto no âmbito social, visto que a proposta conta com a remediação de um passivo ambiental enfrentado por grande parte dos municípios brasileiros e que a iniciativa pode ser reaplicada em qualquer localidade revertendo o resíduo em benefícios para a sociedade.

Atualmente, a empresa Beit Abba produz 400m<sup>2</sup> de *pavers* dormidos por mês, resultando em um consumo de aproximadamente 6 toneladas de cimento que se substituídos parcialmente (20%) por pó de vidro significam uma redução de 33,11% dos custos de produção.

#### REFERÊNCIAS

ASSIS, O. B.G. O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração. **Cerâmica**, [S.L.], v. 52, n. 321, p. 105-113, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação — especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: Norma Técnica, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica. Rio de Janeiro: Norma Técnica, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: Norma Técnica, 2003.

CENCI, Charles Severo. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de vidro cominuído na produção de blocos de concreto para pavimentação**. 2019. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

GRIGORI, Pedro. Lixo urbano: especial do correio apresenta iniciativas em relação ao manejo de resíduos sólidos que tem problemas de destinação correta no DF. **Correio Braziliense**. Brasília, 20\_\_\_. Disponível em: <http://especiais.correiobrasiliense.com.br/lixo-urbano>. Acesso em: 15 ago. 2020.

JANI, Yahya; HOGGLAND, William. Waste glass in the production of cement and concrete – A review. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 1767-1775, 2014.

LEE, Sangyeop; CHOI, Junghyun; CHEN, Lingxin; PARK, Byungchoon; KYONG, Jin Burm; SEONG, Gi Hun; CHOO, Jaebum; LEE, Yeonjung; SHIN, Kyung-Hoon; LEE, Eun Kyu. Fast and sensitive trace analysis of malachite green using a surface-enhanced Raman microfluidic sensor. **Analytica Chimica Acta**, [S.L.], v. 590, n. 2, p. 139-144, 2007.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, América do Norte, v.1, n.3, 2008.

WICZNOVSKI, Dauany. **Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto**. 2019. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

## LOGÍSTICA REVERSA COMO INSTRUMENTO SUSTENTÁVEL POTENCIALIZADOR PARA DIMINUIR O DESCARTE RESIDUAL

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 05/01/2021*

### **Fernanda Francine Miranda Braz**

Centro Universitário Maurício de Nassau  
Recife – Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/6381609000845464>

### **Maria Clara Pestana Calsa**

Centro Universitário Maurício de Nassau  
Recife – Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/3207244201563601>

### **Adriane Mendes Vieira Mota**

Centro Universitário Maurício de Nassau  
Recife – Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/4032216015008017>

**RESUMO:** A crescente geração de resíduos sólidos associado ao descarte ambientalmente inadequado gera impacto negativo ao ecossistema. Para tal cenário com matéria-prima finita é necessário a criação de medidas que possam minimizar os efeitos danosos sobre o meio ambiente. O óleo vegetal usado em frituras se descartado incorretamente torna-se um resíduo com alto poder de poluição, possuindo percentuais de reciclagem inferior a 3%. Portanto, este trabalho objetiva fortalecer a importância da logística reversa (LR) como um instrumento sustentável e potencializador para diminuir o descarte residual e evidenciar o reaproveitamento de resíduos. Para isso, foi elaborado um questionário para identificar dos entrevistados os conhecimentos sobre LR, qualidade de vida

correlacionada ao meio ambiente, ciclo de vida, práticas comportamentais de descarte, impactos, ponto de entrega voluntária (PEV) para entender o baixo índice de coleta do OVR. Observou-se notável percentual dos entrevistados em desconhecer sobre LR e dos locais dos PEVs, que pode justificar o baixo índice de coleta, e afirmar que a LR é possível melhorar retorno de resíduos recicláveis e obter, além das vantagens econômicas, a social e ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerenciamento de resíduos, sustentabilidade, educação ambiental, óleo vegetal usado.

### REVERSE LOGISTICS AS A SUSTAINABLE POTENTIALIZING INSTRUMENT TO REDUCE RESIDUAL DISPOSAL

**ABSTRACT:** The growing generation of solid waste associated with environmentally inappropriate disposal results in a negative impact on the ecosystem. For such scenario with finite raw material it is necessary to create measures that can minimize the harmful effects on the environment. The vegetable oil used in frying if discarded incorrectly becomes a residue with high pollution power, having percentages of recycling of less than 3%. Therefore, this work aims to strengthen the importance of reverse logistics (LR) as a sustainable and potentiating tool to reduce residual waste and evidence for the reuse of waste. For this purpose, a questionnaire was designed to identify the knowledge about LR, life quality correlated to the environment, life cycle, behavioral discard practices, impacts, voluntary delivery point (PEV) to understand the

low OVR. It was observed a remarkable percentage of respondents not knowing about LR and the locations of the PEVs, which can justify the low collection rate, and affirm that the LR can improve the return of recyclable waste and obtain, besides the economic, social and environmental advantages.

**KEYWORDS:** Residue management, sustainability, environmental education, used vegetable oil.

## 1 | INTRODUÇÃO

Conforme o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2016 (SNIS, 2018), o indicador médio da quantidade coletada de resíduos domiciliares e públicos para o Brasil foi de 0,94 kg/hab./dia, sinalizando, pelo terceiro ano seguido, queda nos valores coletados desde a edição do diagnóstico de 2014. Em contrapartida, Recife se destaca pelo volume de massa coletada com 1,38 kg/hab./dia e a região Nordeste representa 17% maior que o indicador médio nacional, ambos acima da média. A prática da coleta seletiva no país, embora demonstre avanços, ainda se encontra em patamar muito baixo, apenas 20% do total de municípios brasileiros que possuem a prática sob quaisquer modalidades, seja pelo descarte em pontos de entrega voluntária, seja pelo recolhimento porta a porta ou por sistemas mistos. Com isso, fica evidente da importância de incentivar e investir nesse serviço a fim de ampliar sua abrangência, pois na maior parte das cidades brasileiras não há forma adequada para destinação e tratamento de resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, Lei Federal nº 12.305/10 (BRASIL, 2010a), inicia grande marco de um processo de articulações entre setor público, privado e a sociedade com obrigações e responsabilidades que devem ser de forma compartilhada, na busca por soluções para um dos principais problemas urbanos: a geração de resíduos. Segundo a PNRS e por meio do Decreto nº 7.404/10 (BRASIL, 2010b) que a regulamentou, traz a Logística reversa como sendo o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelas ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e restituição dos resíduos sólidos recicláveis ao setor empresarial para reaproveitamento em seu ciclo, ou em outros ciclos produtivos. A percepção responsável trouxe o entendimento de se resgatar os resíduos pós-consumo gerando a oportunidade de recapturar valor ou o descarte ambientalmente adequado. Conforme Tadeu et al. (2013, p. 145) a relevância da sustentabilidade por um mundo mais viável apresenta LR como um instrumento necessário para atender um universo de constantes transformações da cadeia produtiva e da crescente demanda do consumidor.

Dentre os resíduos sólidos gerados em grandes centros urbanos a maior fração está para a matéria orgânica com percentual acima de 50% e somados ao baixo índice de saneamento básico de rede de esgoto ressalta-se sobre o óleo vegetal residual (OVR) ou óleo de cozinha usado. Apesar de o OVR expressar um percentual mínimo do resíduo domiciliar o seu impacto negativo ao meio ambiente é grande. Corroborado por Braga



et al. (2015, p. 83), o óleo vegetal residual sendo uma matéria orgânica proveniente de esgotos domésticos geram impactos danosos aos corpos hídricos, reforça o autor (2015, p. 77) que a “água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados. É fundamental para a existência humana e a manutenção da vida e, para isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas”. Sabe-se que o óleo vegetal é um dos principais ingredientes, muitas vezes indispensável na preparação de algumas refeições, quando esse óleo residual proveniente de frituras é descartado de forma inadequada gera-se grande impacto ambiental, social e econômico, pois cada litro de óleo de cozinha pode contaminar 20 mil litros de água (BRASIL, 2017).

Pensar em outras maneiras eficientes para evitar que o óleo residual tome um rumo inadequado torna-se urgente, considerando ainda que crescente número de pontos alimentícios informais, tanto quanto estabelecimentos comerciais não fiscalizados, bem como as residências em sua maioria despejam direto nas redes de esgoto ou no solo, pia, vaso sanitário, ralo e outros. O descarte inadequado do OVR causa efeito negativo diminuindo a qualidade dos recursos hídricos, produtividade do solo, aumento do efeito estufa, danos à saúde do ser humano e animais, e, em contrapartida aumentando o custo no aspecto financeiro para correção e tratamento do dano. Essa constatação justifica o desenvolvimento de pesquisas que possam contribuir com o entendimento dessa situação e apontar alternativas para lidar com melhores práticas ambientais. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a importância da logística reversa como instrumento sustentável para o aumento do ciclo de vida do óleo vegetal residual na Região Metropolitana do Recife-RMR. A pesquisa de percepção socioambiental além de trazer os conceitos de desenvolvimento sustentável, logística reversa e abordar os impactos do óleo de cozinha usado, também procurou entender os motivos que levam ao irrisório volume de óleo descartado adequadamente e a problematizar sua correlação com adesão às práticas da coleta seletiva ainda está muito inferior do necessário para minimizar os impactos. Não obstante de perceber a importância da educação ambiental (EA) para maior participação e envolvimento da sociedade para mudanças mais sustentáveis que só é possível se vierem agregadas à disseminação de amplo conhecimento, sensibilização e práticas que produzam melhores resultados.

## 2 | METODOLOGIA

Consiste na elaboração de pesquisa de percepção socioambiental direcionada ao público consumidor da Região Metropolitana do Recife, empírica, de abordagem mista, ou seja, análise de dados quantitativos e qualitativos, e tendo a aplicação de questionários como ferramenta de coleta. Os dados foram adquiridos em duas fases (2015 e 2018) com o efeito de comparar resultados em amostras coincidentes ou não, como também, considerando a relevância do tema buscou-se o propósito de compreender melhor a



realidade mais aprofundada para explicar quais as formas de descarte, se pratica coleta seletiva do óleo residual de cozinha, volume potencial consumido de óleo vegetal; conhecimentos relacionados aos impactos positivos e negativos, logística reversa e ciclo de vida do produto e sobre os pontos de entrega voluntária para óleo de cozinha usado.

Sendo assim, o universo total da amostra foi de 391 (trezentos e noventa e um) entrevistados. As três primeiras perguntas trataram da caracterização do perfil socioeconômico, envolvendo aspectos: identidade biológica, idade e escolaridade; da 4ª (quarta) até 14ª (décima quarta) perguntas, foi de fundamental importância, para embasamento e análise foi através do método quali-quantitativo, com isso obter dados mais próximos do real e visão ampla da problemática.

## 3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

### 3.1 Pesquisa de percepção socioambiental

A pergunta inicial buscou identificar a identidade biológica do entrevistado, e conforme constatado, nos dois anos da pesquisa, a maioria das entrevistas média acima de 70% foi do sexo feminino, ficando em 2018 com uma parcela ainda menor para o sexo masculino. Esse comparativo que destaca a maior participação das mulheres, conforme salientou Bruschini (2007), uma provável explicação para maior participação das mulheres, é que elas estão expostas a grande dinamismo e diversidade de papéis sociais, como cuidar de crianças, dos afazeres domésticos e trabalho fora de casa, acumulando tarefas. **Posteriormente, segunda pergunta**, mostra a constituição dos entrevistados quanto a sua faixa etária no momento da pesquisa e pode perceber maior público média de 73% dos entrevistados com faixa etária de 20 a 39 anos. Em seguida, **terceira pergunta**, foi a respeito do grau de escolaridade e a maior parcela da amostra entrevistada, média de 68,15%, afirmou ter nível de instrução educacional de graduação e/ou especialização. Pode-se inferir que o perfil desse público obtenha mais acesso a conteúdo educacional, mas não está intrínseco, mesmo que hipoteticamente, melhores ou adequadas práticas sustentáveis em face do maior nível de conhecimento adquirido.

A partir das questões em diante, com o propósito de perceber a relação de responsabilidade dos indivíduos por suas ações que afetam o ambiente, através de seu conhecimento, consciência e comportamento, as análises das perguntas 4ª a 14ª e suas respectivas respostas ao questionário permitiram as seguintes observações:

- **Quarta pergunta:** nesta questão, conforme Figura 1, buscou-se ter conhecimento se o indivíduo consegue associar a importância do meio ambiente para sua qualidade de vida, ou seja, se consegue ver correspondência direta e proporcional entre sua qualidade de vida e o equilíbrio ambiental.

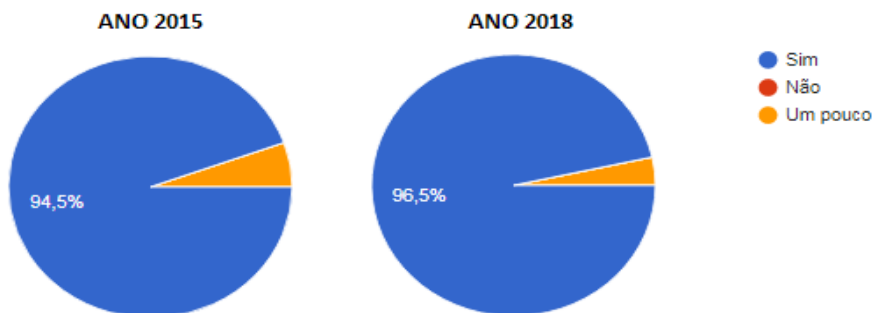


Figura 1 – Gráfico da distribuição quanto à importância do meio ambiente para a qualidade de vida.

De acordo com os dados da Figura 1, pode-se analisar de forma bem clara que nos dois períodos da pesquisa, as pessoas eram bastante conscientes dessa relação, sendo expressivo o entendimento da importância dessa consciência ambiental. Os dados mostraram: o percentual de 94,5% em 2015 e no ano de 2018, o percentual foi de 96,5% para o “SIM”. Muitos especialistas atestam que, num primeiro momento, a solução para os problemas ambientais tem relação com o início de uma geração ambientalmente consciente, alcançada através da educação ambiental, que propicia a formação de cidadãos capazes de assimilar o meio e suas relações, e atuar de forma crítica diante das adversidades (VINHOLI JÚNIOR; LEHN; DUTRA, 2012). Através da enquete realizada pelo professor Ribemboim (2012) sobre ‘Qualidade Ambiental do Recife’ expressiu que o público não está contente com a realidade. “Dentre os 303 votantes, 71% das pessoas acham que no Recife a qualidade ambiental é péssima ou ruim, enquanto que apenas 6% julgam-na como boa ou excelente. Os restantes 23% consideram-na ‘mais ou menos’. É de senso comum considerar que não é possível pensar em um ambiente sustentável sem a existência de uma sociedade informada e consciente. E para garantir a permanência de um ambiente sadio para toda a comunidade é necessária conscientização e de forma abrangente.

- **Quinta pergunta:** nesta questão (Figura 2) foi perguntado ao entrevistado se ele ficava preocupado com o meio ambiente que estava deixando para geração futura.

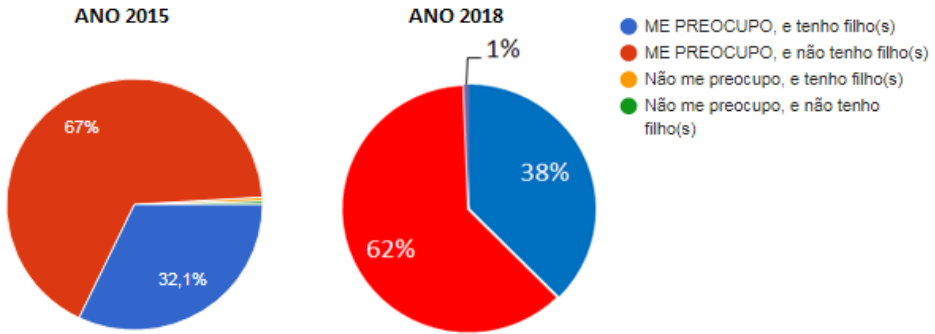


Figura 2 – Gráfico da distribuição quanto à preocupação com meio ambiente que deixará para futura geração.

Um dado interessante constatado na Figura 2 foi que a maioria considera estar preocupados com o futuro do meio ambiente, mesmo que entre essas pessoas, 67% em 2015, e 62% em 2018 não tenham filho no momento da pesquisa, trazendo mais uma vez a percepção de que a sociedade tem responsabilidade a assumir com a situação crítica do meio ambiente. Essa questão reforça o objetivo do conceito “desenvolvimento sustentável”: ‘é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades’ (BARBOSA, 2008, p.2).

- **Sexta pergunta:** buscou saber quanto da participação do indivíduo em cursos ou palestras sobre Educação Ambiental (EA), conforme Figura 3.

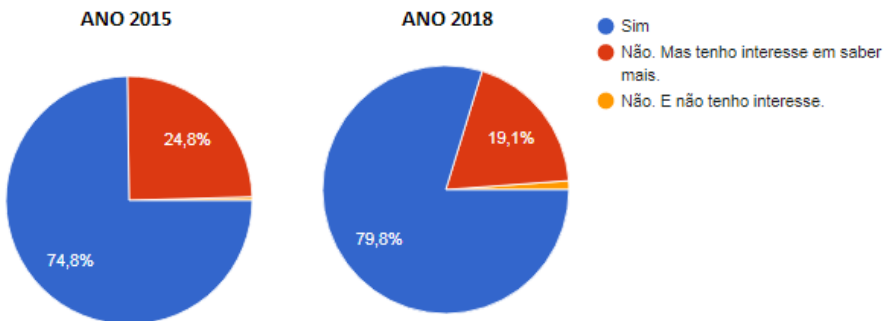


Figura 3 – Gráfico da distribuição sobre a participação em ação pedagógica relacionada à educação ambiental à educação ambiental.

Ao analisar a Figura 3 pode-se afirmar que a maioria dos indivíduos, acima de 70%, alegou saber algo a respeito sobre EA. Outro ponto foi o reconhecimento da importância da EA, uma vez que se encontra, respectivamente, o percentual de 24,8% em 2015, e o

percentual de 19,1% em 2018, de entrevistados, que afirmaram não ter tido contato com Educação Ambiental, mas esses mesmos se mostraram interessados em saber mais sobre o assunto. Isso de certo modo, sinaliza para que a disseminação dessa educação seja cada vez mais efetiva nas escolas e nas mídias sobre esse tema, principalmente devido às mudanças climáticas e seus efeitos, além dos desastres ambientais veiculados.

- **Sétima pergunta:** buscou neste quesito o conhecimento da quantificação de uso de óleo de cozinha usado por mês. Em face aos dados apresentados, a Figura 4 expressa estimativa da quantidade do consumo de óleo de cozinha, e é importante sinalizar que a pesquisa de 2015 traz a questão fechada, porém foi pertinente abrir a questão (resposta aberta) durante a pesquisa de 2018, para se ter oportunidade de saber outros tipos de uso de fonte vegetal ou outra perspectiva não abordada nas opções pré-definida.

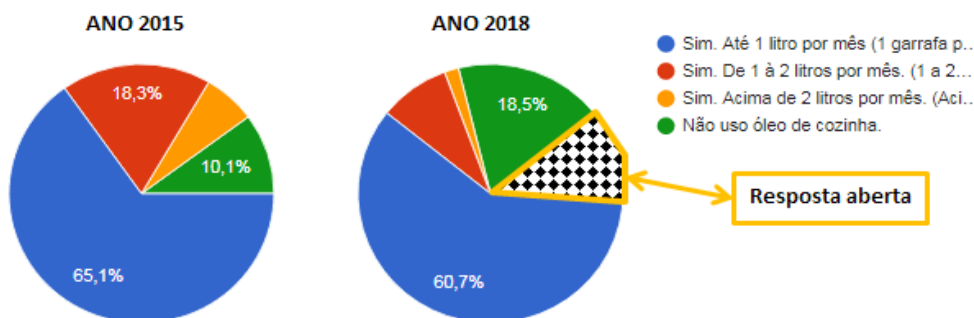


Figura 4 – Gráfico da distribuição do quantitativo de consumo de óleo de cozinha na preparação de alimentos, estimado em litro por mês.

Pode-se dizer que nos dois anos da pesquisa (Figura 4) predominam o uso do óleo vegetal para uso culinário, representado em 2015, o percentual foi de 89,8%; e em 2018, o percentual diminuiu em relação à pesquisa anterior, um pouco maior que 71%. Como também podemos analisar a mudança do comportamento alimentar quanto ao grupo de pessoas que não usam óleo vegetal, verificando que quase dobrou o percentual, assim, no ano de 2015 representava 10,1% que não usa óleo de cozinha, e em 2018 esse número passou a ser 18,5%. E para a questão aberta, observou que cinco entrevistados têm o azeite como fonte para uso no preparo em alimentos e um para óleo de côco.

Segundo a Ecóleo (2018), o Brasil produz nove bilhões de litros de óleos vegetais por ano, sendo 1/3 (três bilhões de litros) destinado aos óleos comestíveis. E conforme relata Embrapa (2018), o consumo *per capita* no Brasil é de 20 litros por ano e se admiti perda de 50% no processo de fritura. Isso significa que uma população com quase 4 milhões de habitantes, exemplo da Região Metropolitana do Recife, consumirá 80 milhões

de óleo comestível em um ano e estima-se volume residual de 40 milhões de litros. O óleo vegetal usado pode ter dois destinos: tornar-se um insumo para reaproveitamento em novos produtos ou o descarte ambientalmente inadequado com alto potencial de danos.

- **Oitava pergunta:** teve como perspectiva, representada pela Figura 5, o comportamento da população ao quanto modo de descarte do óleo vegetal residual.

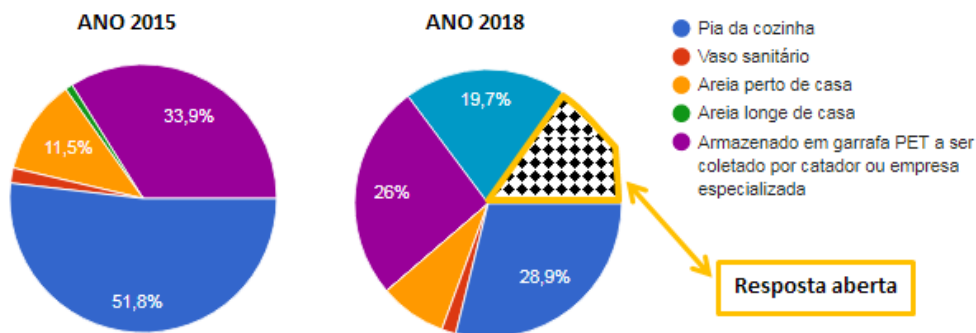


Figura 5 – Gráfico da distribuição da prática de descarte do OVR.

Analisado a Figura 5 quanto ao modo de descarte, se adequado ou não adequado, pode-se afirmar que a parcela de entrevistados que respondeu como prática adequada é muito pequena, compreendendo armazenamento do resíduo líquido em recipiente hermético, para o descarte do óleo de cozinha usado. Nota-se ainda que o percentual de entrevistados em 2018 é ainda menor quando comparado a pesquisa de 2015 para aqueles que descartas o resíduo corretamente. Segundo a engenheira química Reis (2007), muito embora o óleo residual represente um percentual irrisório dos resíduos sólidos descartados, ele tem alto poder de degradação ambiental, e completa “se jogado na rede de esgoto, o óleo de cozinha encarece o tratamento de resíduos em até 45%, e o que permanece nos rios provoca a impermeabilização dos leitos e terrenos adjacentes, o que contribui para que ocorram enchentes”.

Conforme dados da UFPE ([2016?]) relativo a alguns impactos negativos, que além de custeio do reparo ser elevado, tem-se “o entupimento das tubulações no sistema de esgoto, das enchentes e das proliferações de doenças, quando o óleo residual é descartado em pias”; e, “contaminação do solo, quando descartado no meio ambiente diretamente.

- **Nona pergunta:** nessa questão, apresentado na Figura 6, buscou-se saber a proximidade do entrevistado quanto ao seu conhecimento do termo e práticas da “Logística Reversa”.

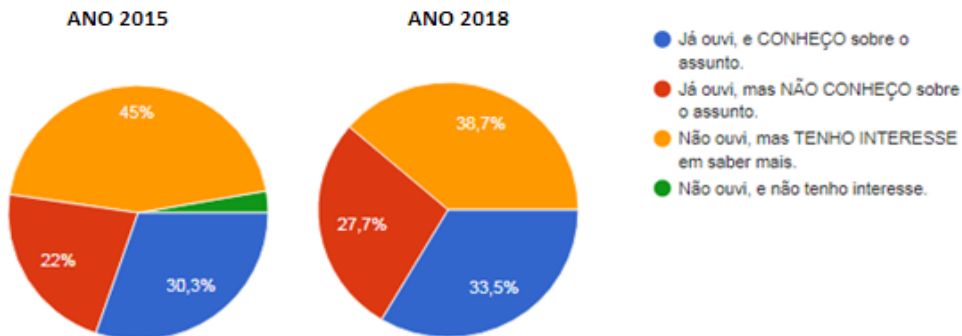


Figura 6 – Gráfico da distribuição do conhecimento do conceito de LR.

Os dados apresentados na Figura 6 uma grande parcela, em torno de 70%, dos entrevistados tem desconhecimento do conceito de “logística reversa”, e pode-se observar um quadro interessante que talvez justifique a alta quantidade de consumidores que descarta de forma inadequada, comparada com questão anterior, uma vez que não se tem o conhecimento dos benefícios da logística reversa. Com isso, carreando possível comprometimento ao ciclo inverso do produto pós-consumo uma vez que a falta de conhecimento pode diminuir o potencial de recolhimento do resíduo em escala para reciclagem. A atividade da logística reversa acarreta o retorno dos resíduos ao ciclo produtivo, agregando valor ao produto (GOTO; SOUZA, 2008). Essa atividade busca, também, reduzir a utilização de matéria-prima virgem através da reciclagem e reprocessamento para geração de novos produtos.

- **Décima pergunta:** representada pela Figura 7, questionado aos entrevistados se sabiam dos impactos negativos. Não se buscou uma definição formal, mas sim como o indivíduo percebia ou entendia o resultado de sua prática habitual de descarte.

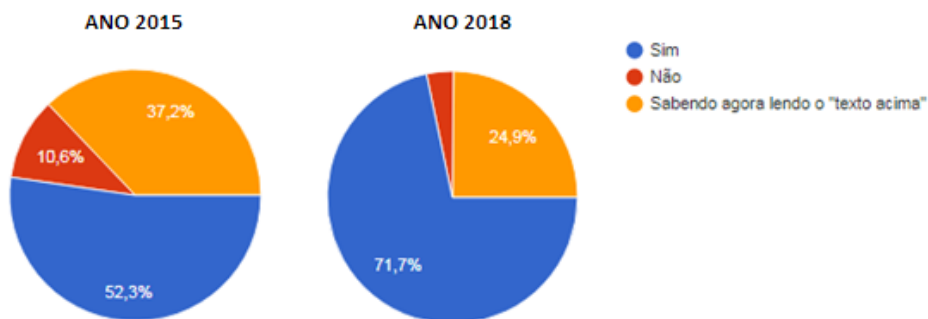


Figura 7 – Gráfico da distribuição do saber dos impactos negativos decorrentes de descarte incorreto do óleo de cozinha.

Conforme os dados, Figura 7, nota-se que a maioria é ciente do impacto negativo causado ao meio ambiente e sabe-se que o resíduo quando não tratado adequadamente, pode ser responsável por impactos graves. Infelizmente, existe uma parcela que não sabe das consequências geradas ao meio ambiente por padrões comportamentais inadequados. E outra parcela considerável, em torno de 30%, somente tomou conhecimento durante a entrevista. Tanto na pesquisa em 2015 e na de 2018, é relevante ressaltar que há maior percentual no desconhecimento sobre os efeitos dos impactos negativos, que são esses que desequilibram o meio ambiente. Nesse sentido, cabe destacar o papel da educação ambiental, pois assume cada vez mais uma função transformadora, na qual a responsabilização compartilhada dos indivíduos torna-se um objetivo essencial para promover o desenvolvimento sustentável.

- **Décima primeira pergunta:** representadas pela Figura 8, questionado aos entrevistados se sabiam dos impactos positivos. Não se buscou uma definição formal, mas sim como o indivíduo percebia ou entendia o resultado de sua prática habitual.

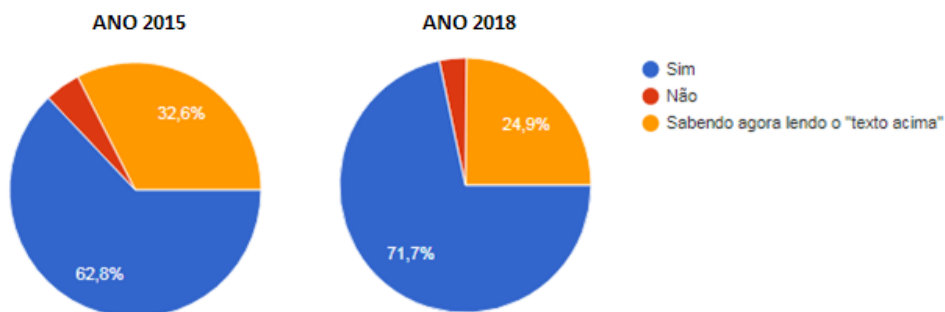


Figura 8 – Gráfico da distribuição quanto sabiam dos impactos positivos decorrentes de descarte incorreto do óleo de cozinha.

A análise da Figura 8, em relação aos impactos positivos gerados pelas boas práticas comportamentais, corresponde positivamente, a maioria disse que conhecem os impactos positivos advindos do descarte correto do resíduo vegetal. Outra parcela considerável, em torno de 30%, somente tomou conhecimento do impacto positivo durante a entrevista. Infelizmente, apesar do saber dos impactos positivos, as práticas de descarte inadequado não diminuem e os baixos percentuais apresentados nos estudos científicos ou programas de reciclagem do óleo de cozinha usado, apesar das leis e decretos pertinentes, apontam montante coletado de óleos vegetais usados para reciclagem apresenta-se apenas 1% (um por cento), equivalente a 6,5 milhões de litros de óleos usados coletados (ECÓLEO, 2018) ou percentuais de coleta não superior a 3%.



- **Décima segunda pergunta:** representada na Figura 9, têm-se a perspectiva do conhecimento do consumidor quanto a sua responsabilidade com o ciclo de vida dos produtos, no caso, resíduos de óleo de cozinha.

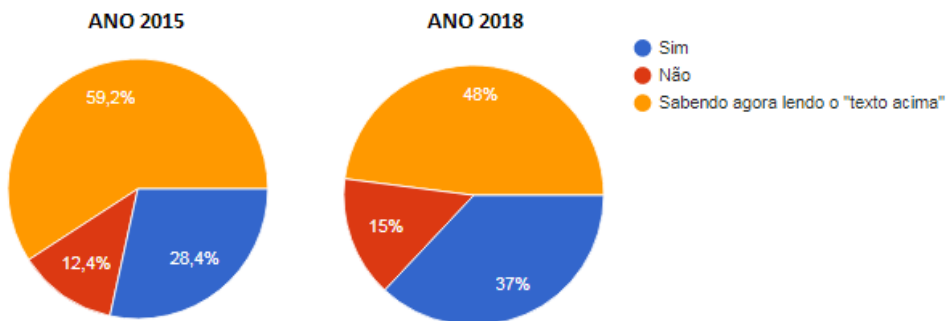


Figura 9 – Gráfico de distribuição do saber da responsabilidade quanto ao ciclo de vida do produto.

Observa-se na Figura 9, que menos de 40% dos entrevistados sabem que são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos (em específico, óleo vegetal residual) através do correto acondicionamento e destinação final adequada para coleta ou devolução. É importante reforçar que a vida do produto não acaba ao ser descartado, pois continua o seu processo podendo ser reciclado ou reaproveitado. Reforça-se tanto na PNRS, Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010a), quanto no Decreto Nº 7.404/10 (BRASIL, 2010b), sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa. A legislação impõe a todos os geradores de passivo ambiental, inclusive ao cidadão comum, a obrigação de colaborar com a gestão mais racional dos resíduos. O OVR coletado e reciclado, ganha revalorização aumentando seu ciclo de vida com reincorporação nas industriais para fabricação de novos produtos: sabão, glicerina, padronização para a composição de tintas, produção de farinha básica para ração animal, massa de vidraceiro, geração de energia elétrica, e que a maior parcela do óleo reciclado vai para a geração de biodiesel.

- **Décima terceira pergunta:** conforme Figura 10 verifica-se a percepção do entrevistado quanto ao conhecimento de locais disponíveis de ponto de entrega voluntário - PEV, próximo à sua residência ou trabalho, específico para óleo de cozinha.

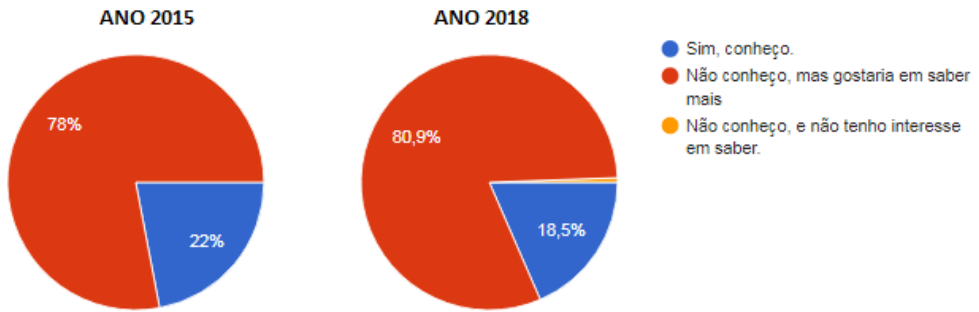


Figura 10 – Gráfico de distribuição do conhecimento da disposição de pontos de entrega voluntária para o descarte correto do óleo de cozinha.

De acordo a Figura 10 percebe-se alto índice do percentual, em torno de 80%, que os entrevistados afirmam desconhecimento da disposição de pontos de entrega voluntária – PEV, que são locais estratégicos onde o consumidor pode levar seus materiais recicláveis, sendo um complemento ao sistema de coleta seletiva, pois, os cidadãos podem levar seus recicláveis. Corroborar, hipoteticamente, ao alto índice do descarte inadequado ambientalmente, como apresentado na oitava pergunta (Figura 5), e que seja, talvez, justificado pela falta de conhecimento da locação dos PEVs, ou de outros postos de coleta perto da moradia; e, mais efetiva divulgação de campanhas de educação ambiental capaz de provocar maior envolvimento e sensibilização da sociedade.

- **Décima quarta pergunta:** buscou-se saber do entrevistado se após a pesquisa de percepção socioambiental o motivou a aderir a programas de coletas seletivas e/ou às práticas corretas para o descarte do óleo vegetal residual (Figura 11).

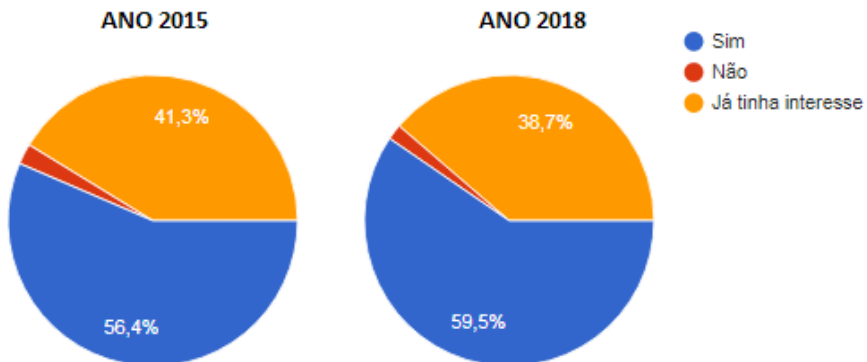


Figura 11 – Gráfico da distribuição dos entrevistados que despertou interesse em participar de programas de coleta residual do óleo de cozinha.

Analisado a Figura 11, percebe-se percentual acima de 95% dos entrevistados que demonstram interesse em participar de programas de coleta seletiva e práticas ambientalmente adequadas, e evitar assim descartes incorretos ou outro comportamento que venha comprometer o ecossistema.

## 4 | CONCLUSÃO

O presente estudo destacou a importância da Logística Reversa do óleo de cozinha residual como meio de diminuir os impactos ambientais, gerando oportunidade em potencial para contribuição econômica e social com mais um novo insumo reciclável e que reduz de forma significativa os danos ao ecossistema. Conforme Tamaio (2000), EA é condição necessária para modificar o cenário de crescente degradação socioambiental, mas ela ainda sozinha não é o bastante, e sim mais uma ferramenta de mediação necessária entre culturas, comportamentos diferenciados e interesses de grupos sociais para a construção das transformações a serem alcançadas. Por fim, pode-se observar como um dos resultados da pesquisa, o efeito positivo que a educação ambiental tem em sensibilizar e gerar melhor conscientização, onde a partir dos questionários essa interferência motivou ao esclarecimento das perguntas, com os textos complementares que objetivava em contextualizar e esclarecer sobre o tema.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira para sensibilização, coleta e reciclagem de resíduos de óleo comestível - ECÓLEO. **Reciclagem**. Disponível em: <http://ecoleo.org.br/projetos/6766-2/>. Acesso em jul. de 2018.

BARBOSA, Gisele Silva. **O Desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões. Rio de Janeiro, 4º ed. vol. I, n.04. jan/jun. 2008.

BRAGA et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL, Presidência da República. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. 2010a. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em 18 out. de 2018.

BRASIL, Presidência da República. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. 2010b. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)>. Acesso em 18 out. de 2018.

BRASIL, Governo do Brasil, **Óleo de cozinha pode ser descartado de forma consciente**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2014/08/oleo-de-cozinha-pode-ser-descartado-de-forma-consciente>. Acesso em: 27 de dez. de 2017.

BRASIL, Ministério das Cidades, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS**: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016. Brasília, 2018. 188p.

BRUSCHINI, M. C. A., **Trabalho e gênero no Brasil nos últimos dez anos**. Cadernos de Pesquisa, v. 37, n. 132, set./dez., p. 537-572, 2007.

EMBRAPA. **Biodiesel**: Inovação para sustentabilidade. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/855547/1/biodieselinovacaoparasustentabilidade.pdf>. Acesso em jul. de 2018.

GOTO, A. K.; SOUZA, M. T. S. **A Contribuição da Logística Reversa na Gestão de Resíduos Sólidos**: uma Análise dos Canais Reversos de Pneumáticos. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 35., Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

REIS, M. F. P. **Destinação de óleos de fritura**. Entrevista concedida em set. 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/oleofritura.html>. Acesso em: dez. 2015.

RIBEMBOIM, J. A. Enquete publicada em 2012 em blog particular “**Mais verde, menos muros**”. Disponível em: <http://jacquesribemboim.com/2012/03/18/enquete-sobre-qualidade-ambiental-do-recife/?blogsub=confirming#subscribe-blog>. Acesso em: dez. 2015.

TADEU, U. F. B. et al. **Logística Reversa e Sustentabilidade**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 192p.

TAMAIÓ, I. **A Mediação do professor na construção do conceito de natureza**. Campinas, 2000. Dissertação (Mestr.) FE/Unicamp

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE. **Manual Óleo de fritura**. Recife: DGA - Diretoria de Gestão Ambiental, [2016?]. 10p. Disponível em: <https://www.ufpe.br/sinfra/guias-e-manuais>. Acesso em out. 2018

VINHOLI J. A. J.; LEHN, C. R.; DUTRA, P. F. F. **Educação ambiental e preservação da biodiversidade**: relato de um estudo de caso com a fauna pantaneira. Revista Agroambiental, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 21 – 24 de abril, 2012.

## FABRICAÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL UTILIZANDO FIBRAS DE CURAUÁ (ANANASERECTIFOLIUS) E RESÍDUOS DE ARGILA CALCINADA COMO AGREGADO

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 05/01/2021*

### **Isnailson Feitosa Pinheiro**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM/CMC  
Manaus - Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/1128237877076025>

### **Hilderson da Silva Freitas**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM/CMC  
Manaus - Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/7088355331987719>

### **Samuel Cameli Fernandes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM/CMC  
Manaus - Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/6190494547323052>

### **Laerte Melo Barros**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM/CMC  
Manaus - Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/0299419739606476>

**RESUMO:** Diante do crescimento populacional, muitos países em desenvolvimento têm aderido à verticalização das construções, fazendo com que a os profissionais da construção civil se empenhem cada vez mais em busca de aperfeiçoar os processos construtivos. Dentre os concretos utilizados na construção civil destacam-se os com baixa massa específica, os concretos

leves estruturais. A manutenção da resistência mecânica com redução da massa específica do concreto, reduz o peso próprio da estrutura, das cargas nas fundações, reduzindo o aparecimento de patologias por recalques diferenciais, além da diminuição do custo final da obra. O concreto leve estrutural é uma forma de reduzir a massa específica das estruturas de concreto substituindo o agregado natural pelo agregado leve. Este trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades mecânicas de concretos produzidos a partir de agregado graúdo de resíduos de argila calcinada reforçados com fibras de curauá. Neste trabalho as fibras de curauá foram obtidas in natura de um plantio residencial, e foi desenvolvida uma metodologia para beneficiar e tratar as fibras a serem misturadas ao concreto em feixes de 25mm de comprimento com a intenção de suprir a diminuição da resistência à compressão do compósito. Como referência foram moldados corpos de prova cilíndricos de concreto com agregado graúdo de argila expandida sem adição de fibra, e outro lote com adição de fibras de curauá nas proporções 0,5% e 1,0% e agregado de argila calcinada. Foram avaliadas as resistências a compressão das misturas com 7, 14 e 28 dias de cura ao ar livre das duas misturas, e também a resistência a tração por meio do ensaio de tração por compressão diametral. Os resultados revelaram melhorias na resistência tanto a compressão como a tração nos concretos com adição de fibra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto leve; propriedades mecânicas; fibras de curauá; argila calcinada.

# MANUFACTURE OF STRUCTURAL LIGHT CONCRETE USING CURAUÁ FIBERS (ANANAS ERECTIFOLIUS) AND CALCINATED CLAY WASTE AS AGGREGATE

**ABSTRACT:** In the face of population growth, many developing countries have been adhering to the verticalization of constructions, making civil construction professionals more and more committed to seeking to improve construction processes. Among the concretes used in civil construction, those with low specific mass stand out, the light structural concretes. The maintenance of mechanical strength with a reduction in the specific gravity of the concrete, reduces the structure's own weight, of the loads on the foundations, reducing the appearance of pathologies due to differential settlements, in addition to decreasing the final cost of the work. Structural lightweight concrete is a way to reduce the specific mass of concrete structures by replacing the natural aggregate with light aggregate. This work aims to evaluate the mechanical properties of concrete produced from coarse aggregate of calcined clay residues reinforced with curauá fibers. In this work, the curauá fibers were obtained in natura from a residential plantation, and a methodology was developed to benefit and treat the fibers to be mixed with the concrete in bundles of 25mm in length with the intention of supplying the decrease in the compressive strength of the composite. As a reference, cylindrical concrete specimens were molded with coarse expanded clay aggregate without addition of fiber, and another batch with addition of curauá fibers in the proportions 0,5% and 1,0% and calcined clay aggregate. The compressive strengths of the mixtures with 7, 14 and 28 days of open-air curing of the two mixtures were evaluated, as well as the tensile strength through the tensile test by diametrical compression. The results revealed improvements in the resistance to both compression and traction in concretes with added fiber.

**KEYWORDS:** Light concrete; mechanical properties; curauá fibers; calcined clay.

## 1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável tem se destacado como um dos principais objetivos do presente século, despertando a necessidade de busca por métodos produtivos mais enxutos de modo a racionalizar a mão de obra e evitar desperdícios. Dentro deste conceito, o uso de materiais sustentáveis e o reaproveitamento dos resíduos tornam-se temas cada vez mais pertinentes entre as pesquisas do ramo da construção civil.

Segundo Magalhães (2009) a indústria da construção civil geralmente é associada ao emprego materiais que geram grandes impactos ambientais na sua produção, além da elevada produção de resíduos. Essa imagem negativa do setor tem impulsionado as pesquisas para o reaproveitamento destes resíduos, onde podemos citar o resíduo da argila calcinada como também o uso de materiais alternativos de baixo impacto ao meio ambiente como as fibras vegetais.

Dentre os materiais mais utilizados na construção civil, destacam-se os concretos leves estruturais, que se enquadram na categoria de concretos especiais, pois apresentam baixo peso específico e podem exercer função estrutural. Contudo, em Manaus o uso deste material torna-se inviável, uma vez que não existe oferta de agregados leves na proporção

que a as grandes obras demandam. Somente a alteração dos agregados convencionais por agregados leves já provocam uma grande diminuição do peso específico de uma estrutura, e por consequência reduz as cargas nas fundações, e o aparecimento de patologias por recalques diferenciais que são muito comuns na Cidade de Manaus em decorrência do solo de natureza mole característico da região (ROSSIGNOLO & AGNESINI, 2011).

O curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith) é uma bromélia amazônica cuja principal utilização é na produção de fibras naturais que são empregadas em diversos setores, com um destaque para o setor automobilístico o qual utiliza a fibra natural em substituição à fibra de vidro. Dentre as propriedades desta fibra que a torna o alvo deste estudo estão a resistência mecânica superior às demais fibras naturais e a sua leveza, que favorece a aplicação no concreto leve estrutural (ARAÚJO, 2003).

A argila calcinada por sua vez é um agregado leve artificial utilizado na construção civil que é obtido pela queima da argila vermelha em altas temperaturas num forno de calcinação. Além do baixo peso específico, a argila calcinada apresentar elevada resistência mecânica, e passa por um processo produtivo mais fácil que a argila expandida, uma vez que dispensa a utilização de um forno rotativo.

Os resíduos de argila calcinada foram os materiais perdidos na produção de blocos cerâmicos pela queima excessiva, “chamote”. Sabe-se que o aumento na produção de “chamotes” está diretamente relacionado ao processo de produção dos blocos, pois quanto menor for o controle de qualidade, maior será o percentual de resíduo gerado.

Seye (2003) ao realizar um estudo entre oito olarias dos municípios Iranduba e Manacapuru – AM, concluíram que a perda por queima excessiva dos blocos oscilava entre 3% e 5% da produção, que está dentro da média nacional. Sendo assim, considerando uma massa média de 2 Kg por tijolo queimado e perda 4% em média, são desperdiçados 9600 t/ano de material cerâmico no principal pólo oleiro do Amazonas. Estes resíduos são armazenados nos pátios das olarias, e são posteriormente lançados em estradas vicinais, para proporcionar melhor aderência, ou são depositados em local inadequado, gerando problemas ao meio ambiente.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um concreto de característica leve estrutural que seja adequado a realidade amazônica, utilizando materiais de baixo impacto ao meio ambiente, que sejam fácil produção e que existam em abundância na região, a fim de que se obtenha um produto aplicável na construção civil local.

## **2 | CONCRETO LEVE ESTRUTURAL**

O concreto é um material constituído essencialmente de um meio ligante nos qual estão envoltos partículas ou fragmentos de agregados. Nesta mistura a pasta de cimento tem a função de envolver os agregados, de modo a preencher os vazios e dar trabalhabilidade ao compósito (MEHTA E MONTEIRO, 2008).



Em seu estado sólido, a pasta de cimento deve transmitir os esforços uniformemente entre os agregados envolvidos, de forma que o atrito entre estes componentes mantenha a estrutura estável. (SCOBAR, 2016)

Como qualquer outro material, o concreto apresenta vantagens e limitações, apesar de o concreto convencional possuir boa resistência à compressão e a trabalhabilidade necessária para ser moldado em diversas formas, o mesmo é conhecido pelo elevado peso próprio, baixa resistência à tração e a fissuração (ALMEIDA, 2002).

O concreto leve estrutural, apresenta-se como um material de construção consagrado em todo o mundo, com aplicação em diversas áreas da construção civil. A ampla utilização desse material é particularmente atribuída aos benefícios promovidos pela redução da massa específica do concreto, tais como a economia com fundações devido à redução nos esforços na estrutura, a economia com fôrmas e cimbramento, e a diminuição dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas (CATÓIA, 2012).

Os concretos leves em geral são caracterizados pela redução expressiva da massa específica do compósito, isso é possível pela substituição dos agregados convencionais, mais pesados, por agregados leves, dessa forma este concreto pode assumir características estruturantes. Os concretos leves podem ainda ser obtidos pela incorporação de bolhas de ar à mistura, porém, esse concreto não é interessante como elemento estrutural uma vez que não protege a armadura do aço (ROSSIGNOLO & AGNESINI, 2011).

Segundo o American Concrete Institute (1990), o concreto leve estrutural é um concreto produzido com agregados leves devendo seu peso específico ser aproximadamente igual a dois terços do peso específico do concreto feito com agregado normal. Este concreto deve apresentar função estrutural em todos os sentidos, portanto deve corresponder ao que determina a NBR 8953 (2015), que classifica os concretos estruturais como aqueles que atingem a resistência a compressão superiores a 25 MPa aos 28 dias.

Como os agregados graúdos usualmente representam mais de 50% do volume dos concretos convencionais, a substituição desses agregados convencionais por agregados leves, produz uma brusca redução da massa específica final do compósito, ocasionando alterações significativas em algumas propriedades características importantes do concreto como resistência mecânica, módulo de deformação e absorção de água (ROSSIGNOLO & AGNESINI, 2011).

A argila expandida é uma das poucas opções de agregados leves para a produção de concreto, devido a sua produção estar concentrada em apenas uma fábrica, CINEXPAN, localizada no município de Várzea Paulista, tornando a sua aplicação modesta ante o seu potencial (SANTIS & ROSSIGNOLO, 2014).

A utilização de resíduos de argila calcinada “chamotes” em substituição à argila calcinada se justifica principalmente pelas semelhanças entre as temperaturas de queima dos dois produtos. Segundo Campos (2008) a temperatura de queima ideal para a produção de argila calcinada oscila entre 850°C e 950°C, pois em temperaturas inferiores percebeu-

se um aumento na porosidade do agregado.

As temperaturas máximas de queima de blocos de cerâmica vermelha ficam no patamar 850°C, 950°C e 1050°C. Quando a cerâmica atinge o patamar de 900-1000°C ocorre uma retração de forma brusca, que pode ser atribuída à recristalização de novas fases cerâmicas e concomitante início da vitrificação da massa argilosa. É nesse estágio que ocorre a queima excessiva de parte da produção, pois os blocos que recebem maior incidência de calor mantêm-se a essa temperatura por um tempo maior que os demais (PINHEIRO & HOLANDA, 2010).

### 3 I INCORPORAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS

Os materiais compósitos mais utilizados atualmente são aqueles reforçados com fibras sintéticas e naturais, no concreto, por exemplo, a adição de fibras em pequenas frações, principalmente as de origem sintética, nos compósitos cimentícios muitas vezes tem a finalidade de reduzir a fissuração devido à retração plástica. Entretanto, vêm se levantando estudos que viabilizam a substituição total ou parcial destas fibras sintéticas naturais, seja para prevenir patologias no concreto, seja para dar reforço ao compósito (BORGES, 2017).

O crescente interesse no uso de fibras naturais deve-se, entre outros fatores, pela crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente, e com o uso de materiais renováveis (DA SILVA, 2008).

Apesar das fibras naturais muitas vezes apresentarem um desempenho inferior em relação às fibras sintéticas, tem-se a necessidade de proteção ao meio ambiente diante das agressões que os processos industriais causam, minimizando a dependência de recursos não renováveis como o petróleo, promovendo dessa forma um desenvolvimento sustentável (LEVY NETO, 2006).

A fibra de curauá é proveniente do desfibramento das folhas da bromélia, processo que é chamado de mucilagem. A planta não tem espinho, o que facilita o manejo e o corte. A máquina para beneficiamento do curauá é a mesma utilizada no sisal, planta do nordeste brasileiro. O composto viscoso que sobra do processo de desfibramento, a mucilagem, permite a fabricação de papel. O soro do curauá contém uma toxina que pode ser utilizada para a produção de um anestésico (ALVES FILHO, 2004).

Para Savastano Jr. (1986), destaca que as fibras provenientes das folhas possuem a função especial na planta de conferir resistência e estabilidade à folha e fornecem ainda o suporte aos vasos de condução de água no interior da folha. Portanto, a aplicação destas fibras em reforço concreto ou em argamassas são perfeitamente viáveis, contando que se tenha atenção com relação a durabilidade da fibra no meio alcalino quando submetida às intempéries.

## 4 | MATERIAIS E MÉTODOS

A fibra de curauá foi obtida *in natura* em um plantio residencial no município de Autazes, no interior do Amazonas (Figura 1). Os estudos se iniciaram com a escolha do método mais eficiente de beneficiar as fibras de curauá. Vários métodos foram avaliados, sendo eles métodos mecânicos e manuais. Os métodos mais viáveis economicamente foram os manuais, sendo assim foi desenvolvida uma metodologia de modo a tornar a extração da fibra eficiente e com a qualidade exigida.

O processo de extração da fibra é chamado de mucilagem, e consiste basicamente na separação entre a celulose e a fibra interna das folhas. Após ser retirada a maior parte da mucilagem as fibras são lavadas e postas ao ar livre para secar, após seu estado seco as fibras são penteadas e cortadas em dimensões iguais previamente definidas em 20 milímetros (Figura 1).



Figura 1: (a) Planta curauá cultivada em Autazes;(b) Desfibramento; (c) Fibra cortada.

Os resíduos de argila calcinada foram obtidos em duas olarias do pólo oleiro do município de Iranduba, as Olarias Rio Negro e Olaria Eudes, ambas localizadas na rodovia AM-070. Os resíduos coletados foram transportados até as instalações do Instituto Federal do Amazonas onde foram britados até atingirem as dimensões de agregado graúdo (Figura 2).



(a)



(b)

Figura 2: (a) Quebra dos resíduos de argila calcinada;(b) Agregado de Resíduo de Argila Calcinada.

O agregado de argila expandida foi obtido em um comércio local de utensílios para jardinagem e paisagismo nas dimensões máxima de 22 milímetros e mínima de 15 milímetros. Todos os agregados foram caracterizados quanto peso específico através de ensaios conforme as determinações das NBR NM 53 e NBR 9776.

Houve uma preocupação inicial com a absorção de água dos resíduos de argila calcinada por ser um produto de argila vermelha. Ao utilizar refugos cerâmicos provenientes do Pólo oleiro de Iranduba verificou a absorção de água de em torno de 20%, porém com a queima excessiva essa absorção diminui drasticamente. Por isso, foi realizado o ensaio de absorção de água para a agregado de argila calcinada em conjunto com o ensaio de massa específica (Tabela 1).

Material	Volume de água dm <sup>3</sup>	Volume final dm <sup>3</sup>	Massa de agregado Kg	Massa específica Kg/dm <sup>3</sup>
Argila expandida	0,420	0,845	0,335	0,79
Argila calcinada	0,5	0,920	1,0	2,38
Areia lavada	0,2	0,390	0,5	2,63

Tabela 1: Massa específica dos agregados

Para a elaboração do traço a ser utilizado foi seguida a mesma metodologia que GRASSI (2016). Grassi, em seu estudo trabalhou com o mesmo traço em volume, porém utilizando agregados de diferentes tipos: argila expandida, brita e poliestireno expandido moído. Ao trabalhar com agregados com massa específica muito reduzida se torna inviável utilizar o mesmo traço em massa que o utilizado para agregados convencionais. A solução é fixar um traço em volume e após, convertê-lo para massa utilizando a massa específica de cada elemento (Tabela 2).

Traço unitário em volume		1:2,22:3,25	
Composições	REF	T1	T2
	Expandida	Calcinada 0,5%	Calcinada 1,0%
<b>Traço unitário em massa: cimento: areia: agregado: adição</b>	1:1,97:0,92	1:1,97:2,84	1:1,97:2,84
<b>Cimento (kg)</b>	1,00	1,00	1,00
<b>Areia (kg)</b>	2,06	2,06	2,06
<b>Argila Expandida (kg)</b>	0,92	-	-
<b>Argila Calcinada (kg)</b>	-	2,84	2,84
<b>Fibra de Curauá (sobre a massa de cimento)</b>	-	0,5%	1,0%
<b>Aditivo Plastificante (sobre a massa de cimento)</b>	0,8%	0,8%	0,8%
<b>Relação água/cimento</b>	0,55	0,55	0,55

Tabela 2: definição de traços

O agregado miúdo utilizado foi a areia proveniente de dragagem do leito do Rio Japurá, foi realizado o ensaio de caracterização da areia quanto a distribuição granulométrica descrito na NBR 7217, do qual foram extraídos o módulo de finura igual a 1,55.

Os corpos de prova de concreto foram moldados de acordo com o que determina a NBR 5738, o traço calculado demonstrou uma proporção de argamassa próxima do mínimo, o que favoreceu a redução de massa do concreto produzido. Após a moldagem os corpos de prova postos ao ar livre onde permaneceram sem tratamento de cura até as idades de ruptura.

Foram avaliadas as propriedades do concreto no estado fresco através do ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR NM 67) e massa específica no estado endurecido bem como suas propriedades mecânicas através da resistência a compressão axial (NBR 5739) e a tração por compressão diametral (NBR 7222) (Figura 3).



(a)



(b)

Figura 3: Ensaio de abatimento; (b) moldagem dos corpos de prova

## 5 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os traços de argila calcinada com adição de fibra demonstraram melhor desempenho mecânico do que os produzidos com argila expandida. Mesmo a argila expandida sendo um dos melhores agregado leves existentes, o traço de referência teve sua resistência prejudicada pela falta de tratamento de cura. Segundo Silva (2011), a ausência de tratamento de cura prejudica em até 50% a resistência mecânica do concreto. Ao adicionar fibras ao concreto, seja ela natural ou sintética, evitamos que o concreto sofra fissuração nas primeiras idades, preservando a resistência mecânica à compressão e por consequência tem-se o aumento na resistência à tração.

A massa específica dos concretos produzidos foi calculada em seu estado endurecido. Com a massa dos corpos de prova é possível encontrar a massa específica do concreto, visto que o volume pode ser facilmente determinado. Os corpos de prova de Argila calcinada com adição de fibra alcançaram o peso médio de 3,342 Kg, resultando em uma massa específica de 2,12 Kg/dm<sup>3</sup>. Já os corpos de prova de argila expandida obtiveram peso médio de 2,486 Kg e massa específica 1,58 Kg/dm<sup>3</sup> (Tabela 3).

Lote de Concreto	Estado fresco	Estado endurecido						
	Abatimento (mm)	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	Resistência a Compressão (MPa)			Resistência a Tração (MPa)		
			7 dias	14 dias	28 dias	7 dias	14 dias	28 dias
Argila Expandida	65	1,58	12,5	11,92	13,2	1,37	1,8	1,93
Argila Calcinada 0,5%	85	2,22	18,17	19,79	21,91	2,79	2,72	2,96
Argila Calcinada 1,0%	70	2,12	17,24	17,68	19,57	2,29	2,86	3,08

Tabela 3: Propriedades dos concretos produzidos

Os concretos produzidos com resíduo de argila calcinada e fibra de curauá demonstraram variação de consistência inversamente proporcional ao aumento ao aumento da adição de fibra. Em contrapartida, a massa específica sofreu reduções significativas por conta do aumento da adição de fibra.

A resistência a compressão dos concretos com fibra apresentou variação com o aumento da proporção de fibra. A resistência a compressão axial atingiu maiores valores com a proporção de 0,5% de fibra, o aumento da proporção de fibra causou diminuição da resistência (Figura 4).

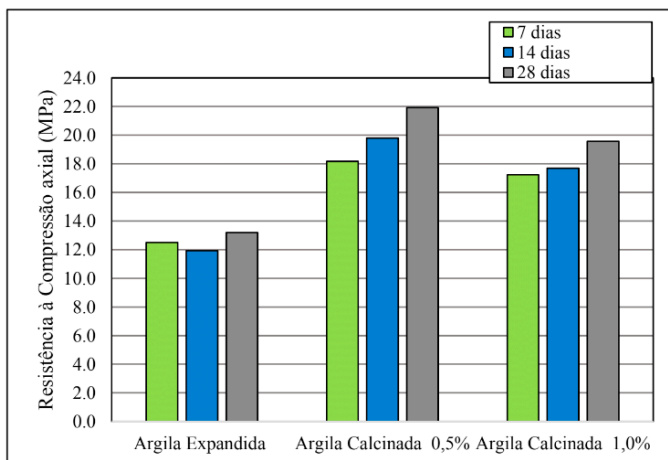


Figura: Resistência a compressão axial dos corpos de prova

Os comportamentos dos concretos no ensaio de tração por compressão diametral demonstraram a capacidade da fibra de curauá em reforçar o concreto quando submetido ao esforço de tração. Price (1991) afirma que a resistência a tração dos concretos de baixa resistência varia de 10% a 11% da resistência a compressão, já os concretos produzidos com fibra superaram 15% (Figura 5).

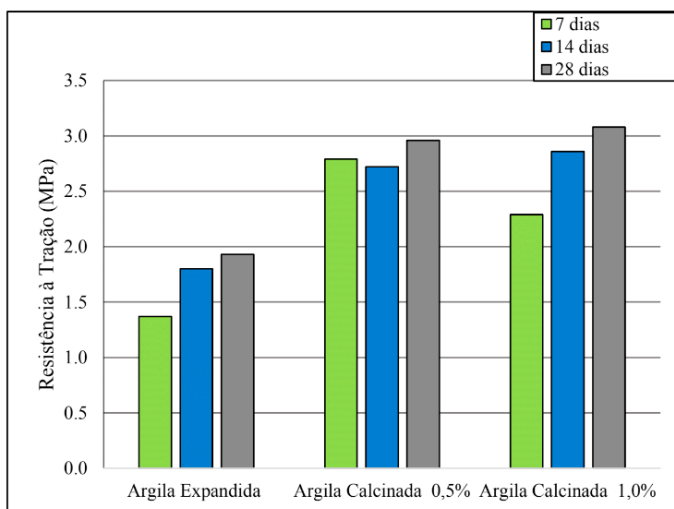


Figura: Resistência a tração dos corpos de prova



## 6 | CONCLUSÕES

Os resíduos de argila calcinada apresentaram características físicas apreciáveis para um agregado convencional, tendo absorvido 3,6% da própria massa em água no ensaio de determinação da absorção, porém inviável para a produção de concreto leve, uma vez que o peso próprio supera e limite aceitável para ser classificado como agregado leve.

O formato angular do agregado de argila calcinada proporcionou melhor aderência entre a argamassa e o agregado verificada pela ruptura dos agregados na mesma linha que a argamassa. Nos concretos produzidos com agregados leves a ruptura não ocorre devido à diferença de deformações entre pasta de cimento e agregado, mas devido ao colapso da argamassa, sendo os agregados atravessados pela linha de ruptura.

O desempenho mecânico dos concretos produzidos com argila calcinada e fibra de curauá apesar de superar o traço de referência não atingiu os níveis mínimos para ser classificado como estruturante, pois estes têm nível mínimo de resistência a compressão de 25 MPa aos 28 dias

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5738/15. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR NM 248:2003 - **Agregados - Determinação** da composição granulométrica, 2003.

ABNT NBR 7222:2011 - **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, 2011.

ABNT NBR 8953: 2015 - **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**, 2015.

NBR 9776/87 Agregados - **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman** - Método de ensaio, 1987.

NBR NM 53/03 Agregado graúdo - **Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, 2003

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Fundamentos do concreto armado**. 2002.

ALVES FILHO, MANUEL. Material extraído de planta amazônica substitui fibra de vidro com vantagens. *Jornal da Unicamp* (245), 4, 2004.

ARAÚJO, C. R. **Cinética de decomposição térmica de compósitos poliméricos com fibras de curauá**. Tese (Doutorado em tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

- BORGES, A. P. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais**. Universidade Federal de Uberlândia (Dissertação de Mestrado), 2017.
- CAMPOS, A. M. L. da S. **O efeito da temperatura de queima no agregado sintético de argila calcinada, aplicado em concreto asfáltico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- CATÓIA, T. **Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP. 2012.
- DA SILVA, R. I. **Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética**. Revista Matéria, 154-161, 2008.
- LEVY NETO, F. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2006
- MAGALHÃES, A. C. **Estudo de fibras vegetais , mucilagem de cactoe gesso em componentes construtivos**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.
- MEHTA, K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, IBRACON, 2008.
- PINHEIRO. R.; HOLANDA C. **Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha**. Cerâmica 56, (pp. 237-243), 2010.
- PRICE, W. H. **Factors influencing Concrete Strength**. J. Am. Concrete Institute. 1991.
- ROSSIGNOLO, J. A., & AGNESINI, M. V. **Concreto leve estrutural**. In: **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011.
- ROSSIGNOLO, J.A.; Agnesini, M.V.C.; Morais, J.A. **Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian ligh tweight aggregates**. **Cement & Concrete composites**, v.25, 2003.
- SANTIS, B. C., & ROSSIGNOLO, J. A. **Influência da agregados leves de argila calcinada nas propriedades mecânicas de concretos estruturais**. Revista Matéria artigo 11608, pp.399-406, 2014.
- SAVASTANO Jr., H. **Fibas vegetais para a construção civil: a fibra de coco**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.
- SCOBAR, RenanLuna. **Concreto Leve Estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
- SILVA, E. S; MIRANDA, P. S. T; SILVA, S. A, et al. **Influência da Cura na Resistência do Concreto à Compressão**. Anais 53º Congresso Brasileiro de Concreto, Novembro de 2011.

# CAPÍTULO 8

## INTERFERÊNCIA DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FORMULAÇÕES A BASE DE EGAF E FGD

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 04/01/2021*

### **Eduarda Pylro Magesk**

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, Curso Técnico em Edificações  
Vitória - ES  
<http://lattes.cnpq.br/9078702828272877>

### **Desilvia Machado Louzada**

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, Coordenadoria do Curso Técnico em Edificações  
Vitória - ES  
<http://lattes.cnpq.br/2486049677883325>

### **Alessandra Savazzini dos Reis**

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, Coordenadoria do Curso Técnico em Edificações  
Vitória - ES  
<http://lattes.cnpq.br/4640894239319046>

### **Viviana Possamai Della Sagrillo**

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica de Materiais  
Vitória - ES  
<http://lattes.cnpq.br/1930428200424034>

**RESUMO:** O cimento Portland (CP) está presente em praticamente todas as etapas da construção, desde a infraestrutura até a fase dos serviços de acabamentos. Devido a sua alta demanda, pesquisas vêm sendo feitas em busca do reaproveitamento de resíduos para a produção

de materiais cimentantes. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a interferência da cura térmica na resistência à compressão em formulações a base de dois resíduos industriais do Estado do Espírito Santo-Brasil: escória granulada de alto forno (EGAF), fornecida por uma empresa cimenteira com granulometria 0,05% de material retido na peneira de abertura de malha 200 mm; e gesso FGD (Flue Gas Desulfurization) cedido por uma siderúrgica. Foram moldados corpos de prova cúbicos de 2,4cm e relação água/material seco de 0,4. Sendo a pasta de referência com 100% de EGAF e 4 formulações com diferentes porcentagens de materiais e/ou tempo de cura térmica: F1 (90% EGAF, 10% FGD, 24 h), F2 (90% EGAF, 10% FGD, 72 h), F3 (80% EGAF, 20% FGD, 24 h) e F4 (80% EGAF, 20% FGD, 72 h). Os resultados demonstram que a cura térmica influencia positivamente, aumentando o valor da resistência à compressão da EGAF e que a adição do resíduo FGD à EGAF melhora a resistência da EGAF, uma vez que todas as formulações com adição de FGD apresentaram resistência superiores às formulações com 100% EGAF, independente do tempo de cura. Nas primeiras idades as formulações com 20% de FGD alcançaram resistência à compressão mais elevada, já em idades mais avançadas foram as formulações com 10% de FGD que apresentaram os maiores desempenhos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escória Granulada de Alto Forno. Gesso FGD. Cura Térmica. Resíduos Industriais.

## INTERFERENCE OF THERMAL CURING IN COMPRESSIVE STRENGTH IN GGBFS AND FGD GYPSUM BASED COMPOSITIONS

**ABSTRACT:** Portland cement (CP) is present in practically all stages of construction, from the infrastructure to the finishing phase. Due to its high demand, studies have been carried out in search of reusing waste for the production of cementitious materials. This study aims to evaluate the interference of thermal curing in compressive strength in compositions based on 2 residues from the State of Espírito Santo, Brazil: Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), supplied by a cement company with grading 0.05% of material retained in the 200 mm mesh sieve; and FGD gypsum (Flue Gas Desulfurization) provided by a steelmaker. Test specimens were cubic with a 2.4 cm edge and a water/dry material ratio of 0.4. Reference pastes were molded with 100% GGBFS and 4 formulations with different percentages of materials and/or thermal curing time: F1 (90% GGBFS, 10% FGD, 24 h); F2 (90% GGBFS, 10% FGD, 72 h); F3 (80% GGBFS, 20% FGD, 24 h); and F4 (80% GGBFS, 20% FGD, 72 h). The results show that the thermal curing positively influences the compressive strength of the GGBFS and that the addition of the FGD residue to the GGBFS improves the strength of the GGBFS, since all formulations with the addition of FGD showed higher strength than the formulations with 100% GGBFS, regardless of curing time. At early ages, formulations with 20% FGD achieved higher compressive strengths, while at more advanced ages, formulations with 10% FGD showed the highest performance.

**KEYWORDS:** Ground Granulated Blast Frunace Slag. FGD Gypsum. Thermal Curing. Industrial Wates.

### 1 | INTRODUÇÃO

O cimento Portland (CP) está presente em várias etapas da construção, sendo utilizado na infraestrutura, na qual é aplicado em concretos estruturais; nas etapas mais simples, como para a produção de argamassas colantes de placas cerâmicas, etc; ou nos serviços de acabamentos como os rejuntas cimentícios. Sendo, portanto, o CP, um material de alto consumo e relevante para a Construção Civil, justificando-se assim a busca da comunidade científica em possibilidades de produção de materiais alternativos ao CP, mais sustentáveis e econômicos para produção de materiais cimentantes, sendo o uso de resíduos industriais uma dessas possibilidades. (RAJESH, 2013; QURESHI e GHOSH, 2014; TORRES-CARRASCO et al., 2015).

A partir dessa demanda buscou-se avaliar o potencial de produção de material cimentante, exclusivamente a partir de resíduos industriais gerados no Estado do Espírito Santo - Brasil, sendo eles a escória granulada de alto forno (EGAF) e o gesso FGD (Flue Gas Desulfurization).

No Brasil, a NBR 16697:2018 possibilita a produção de CP com até 75% de EGAF na sua composição, razão pela qual o resíduo foi escolhido para a referente pesquisa. A EGAF é um subproduto da indústria siderúrgica que se forma pela fusão das impurezas do minério de ferro, adquirindo caráter cimentante, e que na presença de substâncias alcalinas forma

um composto com elevadas resistências e maior durabilidade em relação ao CP (RAJESH, 2013; QURESHI e GHOSH, 2014; TORRES-CARRASCO et al., 2015).

O gesso FGD é um resíduo proveniente do sistema de dessulfuração de gases de combustão das centrais termoelétricas do processamento do carvão mineral que de acordo com o inventário da empresa ArcelorMittal (2014-2015), é um dos principais resíduos da indústria, alcançando uma geração de 25.000 t/ano.

WU et al. (2009) ao investigarem o potencial de aplicação do gesso FGD, observaram que a adição de gesso ao cimento supersulfatado contribuiu para o aumento de sua resistência. Liu et al. (2016) estudaram a substituição do gesso natural por vários tipos de gesso e constataram que a resistência à compressão, à idades mais avançadas, do cimento belítico com gesso FGD é superior ao cimento com gesso natural. Estudos como os de Dong-Yi Lei et al. (2017) obtiveram resultados satisfatórios para materiais de construção com gesso FGD não tratado termicamente, usando cura a vapor e posteriormente cura saturada.

Da mesma forma, a resistência dos cimentos de escória é influenciada pelas condições térmicas da cura. O aumento da temperatura pode acelerar a velocidade das reações de hidratação, o que resulta em uma resistência mecânica superior. Estudo realizado por Bakharev et al. (1999) utilizou a cura térmica a 70°C, o tratamento térmico contribuiu para a resistência nas primeiras idades, mas houve declínio em idades mais avançadas. No estudo de Gonçalves (2014) a temperatura de cura a 40°C aumentou a resistência mecânica enquanto que a cura à 80°C não teve influência nas propriedades mecânicas. Para BO QU et al. (2016) a pré cura a 85°C por 20 h acelera a velocidade das reações de hidratação o que gera um cimento semelhante ao CP.

Bakharev et al. (1999) estudaram cura térmica à 70°C, Marques (2013) à 40°C e Gonçalves (2014) à 40°C e 80°C. Devido à diversidade das temperaturas de curas encontradas na revisão bibliográfica, optou-se por estudar cura à 60°C com duração de 24 h e 72 h, em formulações compostas por EGAF e com teores de gesso FDG de 0%, 10% e 20%, e analisar o desempenho da resistência à compressão das formulações em diferentes tempos de cura térmica.

## 2 | MATERIAIS

Para a produção do material cimentante proposto foram utilizados dois resíduos industriais: escória granulada de alto forno (EGAF) e gesso FGD.

A EGAF foi fornecida por uma empresa cimenteira localizada no estado do Espírito Santo-Brasil com granulometria 0,05% de material retido na peneira de abertura de malha 200 mm. O gesso FGD foi cedido por uma siderúrgica do estado do Espírito Santo-Brasil. Foi utilizada água do sistema de abastecimento local.

A composição química dos materiais utilizados está apresentada na Tabela 1, sendo

que o FGD apresenta perda ao fogo de 6,07 %.

Óxidos	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
EGAF	40,13	34,91	11,29	0,33	7,37	0,34	2,28	0,14	2,21
FGD	39,48	0,23	0,07	0,10	0,3	0,06	-	0,12	45,4

Tabela 1- FRx dos materiais (% em massa)

Fonte: Autores (2019).

### 3 I METODOLOGIA

Para avaliar a resistência à compressão foram produzidas uma pasta de referência com 100% de EGAF e 4 diferentes formulações com os 2 resíduos (Tabela 2). Foram moldados corpos de prova cúbicos de 2,4 cm, sendo a relação água/material seco (a/c) de 0,4. Para isso, os materiais de cada formulação foram previamente homogeneizados com o auxílio de um fouet. À mistura homogeneizada foi adicionada água. Depois de deixar o material decantar por 30s na água, a pasta foi homogeneizada por 1 min utilizando um mixer e após isso a pasta permaneceu em repouso por 30s. Em seguida, em um intervalo de 30s, se fez a raspagem da pasta que se acumulava na parede do recipiente. Depois deste procedimento a pasta foi novamente misturada no mixer por 1,5 minuto. E assim a mistura foi colocada em formas de silicone (Figura 1) e, para sair as bolhas de ar, foi promovida a vibração mecânica por 3 min em uma mesa vibratória com uma frequência de 360 vpm. Finalizada essa etapa, a superfície foi regularizada com espátula e as formas foram cobertas com uma película plástica. Após 24 h, os corpos de prova foram desmoldados (Figura 2) e colocados em cura térmica de 60°C, por 24 h e 72 h conforme apresentado na Tabela 2. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em uma prensa universal, marca EMIC e modelo DL1000, com capacidade de carga de 100 kN com velocidade de carga 10 kgf/s.

Resíduos (% massa)	10% FGD 24h	10% FGD 72h	20% FGD 24h	20% FGD 72h	EGAF 24h	EGAF 72h
EGAF	90	90	80	80	100	100
FGD	10	10	20	20	-	-
<b>Tempo de cura (h)</b>	24	72	24	72	24	72

Tabela 2 - Composição e especificidades das formulações

Fonte: Autores (2020).

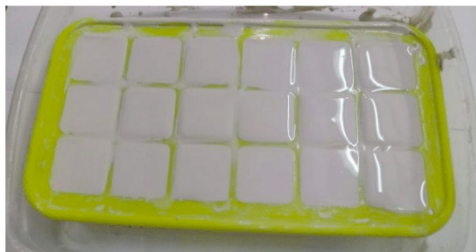


Figura 2 - Corpos de Prova

Fonte: Autores (2020).



Figura 1 - Molde de silicone

Fonte: Autores (2020).

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão das formulações estudadas. Observa-se que o tempo de cura térmica influencia diretamente na resistência à compressão da EGAF, visto que a pasta com 100%EGAF com cura térmica de 72 h desenvolveu resistência superior à pasta de 100%EGAF com 24 h em todas as idades, o que pode caracterizar ativação da escória.

A adição do resíduo FGD à EGAF melhora a resistência da escória, uma vez que todas as formulações com adição de FGD apresentaram resistência à compressão superiores às formulações 100%EGAF, independente do tempo de cura adotado.

Realizando uma análise geral das pastas, constata-se que enquanto nas primeiras idades as formulações com 20% de FGD obtinham as maiores resistências à compressão, em idades mais avançadas foram as formulações com 10% de FGD que apresentaram os maiores desempenhos. Destaca-se que a pasta com 20% de FGD com 72 h de cura térmica, ao contrário das demais, apresentou uma queda de resistência à compressão ao longo das idades.



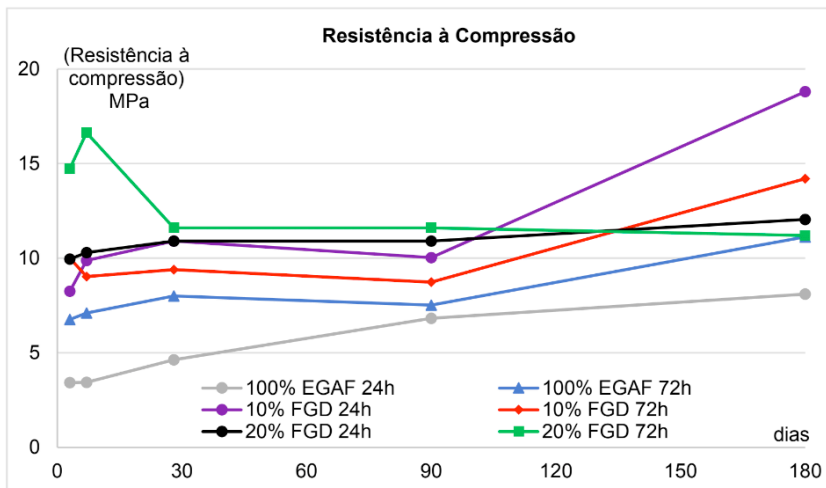


Figura 3 - Resistência à compressão

Fonte: Autores (2020).

## 5 | CONCLUSÃO

As pastas de EGAF com adição de FGD, nas condições de cura estudadas, desenvolveram resistências superiores às pastas 100% EGAF, entretanto, faz-se necessário estudos de novas formulações e curas, além de análises de DRX e microscopia para averiguar os compostos formados, que servirão de base para compreender se o FGD atua como ativador da EGAF ou se atua como material de empacotamento das partículas.

## REFERÊNCIAS

Arcelor-Mittal. **Inventário de Resíduos SOL Coqueria Tubarão S/A**. Cond. N°09 LO n° 276/2013. Biênio 2014/2015. Disponível para consulta no Instituto Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

BAKHAREV, T. et al, Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete, **Cement and Concrete Research**.29 (1999)1619-1625.

BO QU et al, Characterization of pre-industrial hybrid cement and effect of pre-curing temperature, **Cement and Concrete Composites**. 73 (2016) 281-288.

Dong-Yi Lei, Li-Ping Guo , Wei Sun, Jia-ping Liu, Chang-wen Miao. Study on properties of untreated FGD gypsum-based high-strength. **Construction and Building Materials**, United Kingdom, october, 2017.

GONÇALVES, O. C.R. **Valorização de resíduos da Indústria de celulose por geopolimerização**. 2014. 155p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro. Universidade de Aveiro, Portugal.

LIU, B.; WANG, S.; CHEN, Y.; GONG, C.; LU, L. Effect of waste gypsum on the setting and early mechanical properties of belite-C2.75B1.25A3S cement. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Hungary, mar, 2016.

MARQUES, J.S., **Geopolimerização de cinzas e dregs da indústria da pasta de papel**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro. Universidade de Aveiro, Portugal.

QURESHI M.D., GHOSH S. Alkali-Activated Blast furnace Slag as a Green Construction Material. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**. (2014) 24-28.

RAJESH, D.V.S.P. et al. Performance of alkali activated slag with various alkali activators. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 2, p. 378-386, 2013.

TORRES-CARRASCO, M. et al. Durability of Alkali-Activated Slag Concretes Prepared Using Waste Glass as Alternative Activator. **ACI Materials Journal**, v.112, p. 791-800, nov. 2015.

WU, H.; LU, L.; CHEN, C.; LIU, S.; WANG, H.; CHENG, X. Influence of gypsum on composition and performance of hardened paste of belite-barium. **Advances in Cement Research**, 2009, 21, No. 4, October, 169–174. China.

## PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **Rebeca Fernandes Balsalobre**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Toledo  
Toledo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/6562073350421365>

### **Marcos Rafael Radaelli**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Toledo  
Toledo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/8349384196518764>

### **Fernando Nunes Cavalheiro**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Campus Toledo  
Toledo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/4377061135646010>

### **Gustavo Savaris**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Toledo  
Toledo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/8016883581345169>

**RESUMO:** Esse trabalho teve como objetivo produzir painéis cimento-madeira utilizando resíduos de madeira de *Eucalypto urograndis*, provenientes de uma indústria moveleira instalada na região oeste do Paraná, e avaliar as propriedades físicas e mecânicas destes painéis, tendo como variáveis as proporções de materiais e a relação água/cimento. Os painéis foram

produzidos com a mistura de madeira, cimento e água, utilizando como acelerador de pega do cimento o cloreto de sódio, moldados em formas e prensados durante as primeiras 24 horas, sendo então desformados e mantidos em temperatura ambiente durante o processo de cura. Após esse período os painéis foram serrados em corpos de prova para determinação das propriedades físicas e mecânicas: inchamento em espessura, massa específica, teor de umidade, resistências à flexão estática e à compressão. Os resultados obtidos apresentaram redução de espessura com o aumento da quantidade de água na mistura, devido à incompressibilidade da água na fase de moldagem dos painéis, porém a quantidade de água não influenciou no inchamento dos painéis. A resistência à compressão e o módulo de ruptura dos painéis não apresentaram variação significativa nos resultados com o aumento da relação água/cimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reaproveitamento de Resíduos. Madeira-cimento. Painéis.

### WOOD-CEMENT BOARDS MADE FROM EUCALYPTUS RESIDUES

**ABSTRACT:** This study was carried out to produce wood-cement boards with *Eucalyptus urograndis* wood residues, from a furniture industry located at western Paraná State, and evaluate physical and mechanical properties of these boards, produced with variable materials contents and water/cement ratio. The panels were produced with a mixture of wood, cement, water, using calcium chloride as cement setting accelerator, then molded into a form, pressed for 24 hours, and then were kept ambient conditions

during the curing process. After this period, boards were sawn in specimens to determine the physical and mechanical properties: swelling in thickness, specific mass, moisture content, static bending and axial compression strength. The results obtained showed a reduction in thickness with the increase in the amount of water in the composition, due to the incompressibility of water in the molding phase of the boards, however the amount of water did not influence the swelling of the boards. The compressive strength and the module of rupture of the boards did not present significative variation in the results with the increase of the water/cement ratio.

**KEYWORDS:** Reuse of residues. Cement-Wood. Boards.

## 1 | INTRODUÇÃO

O uso da madeira na construção civil no Brasil vem aumentando gradativamente nas últimas décadas, visto que a arquitetura promoveu esse cenário com o uso da madeira em diversos estágios da construção. Em consequência disso, a quantidade de resíduos de madeira, como pó e maravalha, produzidos anualmente em serrarias e em indústrias madeireiras e moveleiras aumentaram. Tais resíduos são muitas vezes descartados de forma inadequada na natureza, afetando diretamente o meio ambiente, ou armazenados sem nenhuma destinação e sem valor agregado. Contudo, parte dos resíduos de madeira apresentam uso energético com a briquetagem, que substitui o uso do carvão e da lenha, para produção de energia térmica ou elétrica, por gaseificação, além da carbonização e a combustão da madeira (TUOTO, 2009).

A reutilização desses resíduos tem suas vantagens sustentáveis, pauta tal que está em alta por todo o mundo. Ao estabelecer novos usos para esses resíduos e agregar valores a eles, empresários e produtores passam a se interessar e valorizar esses subprodutos que estão sempre aos seus alcances e que, por vezes, são considerados um problema. Além disso, produtos que utilizam os resíduos de madeira costumam apresentar excelentes características de resistência mecânica e alta durabilidade, além de ser um material fácil de ser encontrado e trabalhado (LATORRACA, 2003). Por isso, é uma matéria prima com ótimo custo-benefício, tanto para quem produz o resíduo tanto para quem vai utilizá-lo.

Entre a vasta utilização dos resíduos de madeira, estão os painéis de cimento-madeira. Esses painéis são constituídos de cimento, partículas e fibras de madeira, água e alguns aditivos, mas também podem incluir outros elementos na mistura, como a areia (MACÊDO et al., 2011). Sua produção se dá inicialmente com a mistura desses materiais, a moldagem deles no tamanho desejado, a prensagem e o tempo de cura, devido ao uso do cimento na sua composição. Dentre as características vantajosas deste material estão a alta resistência aos esforços mecânicos, à umidade, ao ataque de agentes biodegradadores e ao fogo, além de apresentar propriedades isolantes térmica e acústica (MOSLEMI, 1974).

Eles são muito utilizados na Europa, na Ásia e na América do Norte, estando consolidados há muitas décadas no meio construtivo e sendo produzidos em escala

industrial (LATORRACA, 2003). Entretanto, no Brasil, a construção civil é bem estabelecida com o uso de blocos e tijolos, materiais acessíveis e fáceis de encontrar, dessa forma, acaba diminuindo o interesse da população por outros materiais. Isso também se deve pela dificuldade de encontrar esses painéis, sendo assim, são desconhecidos pela maior parte da população que não tem acesso as informações sobre eles.

Os painéis de cimento-madeira vêm sendo estudados no Brasil nos últimos anos (LATORRACA, 2003; MATOSKI e IWAKIRI, 2007; DE SÁ et al., 2012; CASTRO et al., 2015; POMARICO, 2013; IWAKIRI et al., 2017), analisando principalmente suas propriedades físicas e mecânicas em função de diversas relações cimento/madeira e com as mais diversas espécies de madeiras encontradas no território nacional.

Dessa forma, esse trabalho buscou definir dosagens de materiais para produção de painéis cimento-madeira, produzidos com maravalhas de *Eucalypto urograndis* de uma indústria madeireira da região oeste do Paraná, avaliando suas propriedades físicas e mecânicas variando-se a relação água-cimento da mistura.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa foi escolhido o aglomerante de origem hidráulica Cimento Portland Composto com Fíler (CP II-F). O aditivo utilizado como acelerador de endurecimento foi o Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), pois segundo Latorraca (2000) e Iwakiri et al. (2017), ele apresenta maior eficácia como acelerador do endurecimento e da pega do cimento em relação a outros materiais. A água tratada utilizada foi fornecida pela companhia de saneamento do Paraná (SANEPAR) do município de Toledo-PR.

Os resíduos de madeira utilizados nessa pesquisa foram da espécie *Eucalyptus urograndis*, coletados em uma serraria, que beneficia madeira para indústrias de móveis, instalada no município de Altônia-PR. Essa espécie de madeira é híbrida das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, sendo muito encontrada na região noroeste do Paraná e no estado do Mato Grosso do Sul.

Inicialmente o resíduo foi seco em estufa a 105°C por 24 horas e em seguida peneirado para retirar as partículas maiores que 4,76 mm. Para caracterização foi realizado o ensaio de determinação da composição granulométrica, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), obtendo a curva granulométrica apresentada na Figura 1, e o ensaio de massa específica, de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003), obtendo como resultado 1,19 g/cm<sup>3</sup>.

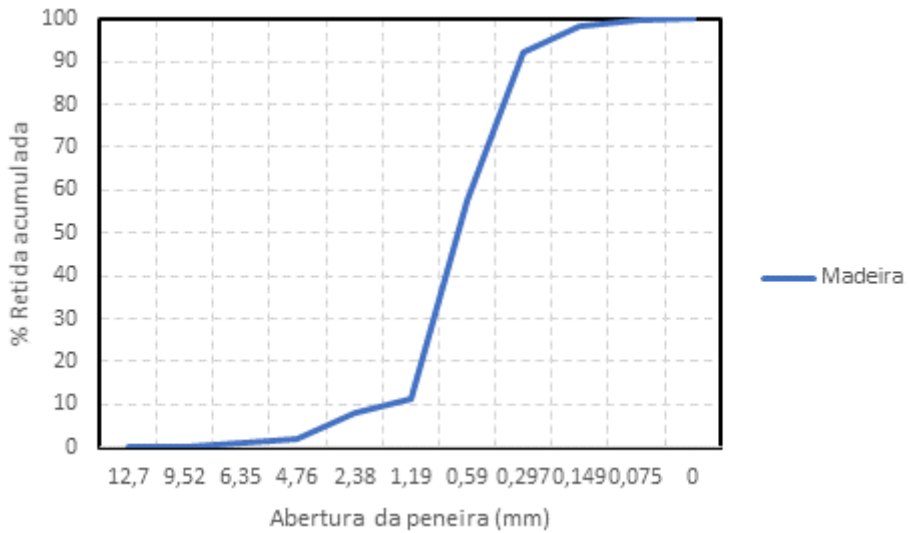


Figura 1 - Curva granulométrica do resíduo de madeira

Fonte: Autoria própria (2020).

A escolha da proporção de materiais para produção dos painéis foi feita com base na literatura. Segundo Iwakiri et al. (2017), a relação madeira:cimento pode variar entre 1:2,5 e 1:3, com relação água/cimento entre 0,4 e 0,6. Para este estudo optou-se por utilizar a relação madeira:cimento igual a 1:3 com o fator água:cimento variando em 0,5, 0,7 e 0,9 e a quantidade de aditivo  $\text{CaCl}_2$  fixada em 3% da massa de cimento. Na Tabela 1, são apresentadas as proporções dos materiais (em massa) utilizadas para produção dos painéis.

Painel	Madeira	Cimento	Água	Aditivo
P1	1	3	1,5	0,09
P2	1	3	2,1	0,09
P3	1	3	2,7	0,09

Tabela 1: Proporção de materiais para produção dos painéis (kg).

Fonte: Autoria própria (2020).

Após pesagem dos materiais foi realizada a mistura de forma manual, devido ao pequeno volume produzido, misturando inicialmente os resíduos de madeira com o cimento para homogeneização e, em seguida, acrescentando a água com o  $\text{CaCl}_2$  diluído.

Para cada proporção de materiais foram moldados dois painéis iguais de cada traço

(denominados “a” ou “b”), a fim de obter-se o número de corpos de prova necessários, utilizando uma caixa formadora com dimensões 35x35x5cm, posicionada sobre uma chapa de alumínio com dimensões de 40x40 cm (FIGURA 2). A caixa formadora foi preenchida com a massa de madeira-cimento e pré-compactada manualmente



Figura 2. Processo de moldagem do painel

Fonte: Autoria própria (2020).

Nas laterais dos painéis foram colocadas barras de aço de seção retangular (1,5x1,5 cm), atuando como delimitadores da espessura final do painel, sendo posicionada uma chapa de alumínio sobre este e realizada a prensagem em prensa hidráulica sob pressão de 1 MPa. Após a prensagem os painéis foram grampeados com sarrafos e barras de aço, permanecendo sob pressão e a temperatura ambiente (23°C) por 24 horas, quando então foram desmoldados e mantidos ao ar por 28 dias para complementação do processo de cura.

Encerrado o período de cura os painéis foram serrados para retirar corpos de prova para o ensaio de flexão elástica, compressão, absorção de água e inchamento em espessura, massa específica e teor de umidade, conforme norma D1037 (ASTM, 1999).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as três proporções de materiais utilizadas foram obtidos painéis sem desagregação de partículas, conforme apresentado na Figura 3, variando no aspecto estético e uniformidade da superfície, tendo o aumento da quantidade de água resultado em superfícies mais porosas (painéis 2 e 3). Após a cura os painéis 1, 2 e 3 apresentaram teor de umidade de 12,01%, 14,77% e 16,09%, respectivamente, e para massa específica,

determinada após secagem dos corpos de prova por 24 horas em estufa a 105°C, obtiveram-se os valores de 0,836 g/dm<sup>3</sup>, 0,849 g/dm<sup>3</sup> e 0,84 g/dm<sup>3</sup>, respectivamente.



Figura 3. Painéis após o processo de cura: a) P1; b) P2; c) P3.

Fonte: Autoria própria (2020).

### Inchamento em espessura

De cada painel foram serradas duas amostras, com 150 mm x 150 mm, para o ensaio de inchamento, totalizando 4 amostras por composição de materiais. As espessuras das amostras foram medidas em 5 pontos: nos 4 cantos, a uma distância de 15 mm das bordas, e no centro, calculando-se então o valor da espessura média dos painéis, como apresentado na Tabela 2. Este procedimento foi realizado para os painéis com umidade natural, logo após a cura, e após a saturação por submersão em água durante 48 horas. O aumento da quantidade de água na mistura resultou em redução da espessura final do painel, devido à maior retração do material durante a secagem. Entretanto a variação de espessura com a saturação do painel foi pequena (inferior a 3%) para todas as composições.

Amostra	Natural					Média (mm)	Saturado					Média (mm)
	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm		1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	
P1A	14,9	14,8	15,2	15,3	15,0	15,0	15,0	14,9	15,3	15,6	15,5	15,3
P1B	15,5	15,4	15,6	15,5	15,4	15,5	15,9	15,8	16,0	15,8	15,7	15,8
P1C	14,0	14,9	14,0	14,4	14,9	14,4	14,5	15,1	15,4	14,7	15,1	15,0
P1D	15,3	15,6	15,3	15,0	15,4	15,3	15,4	15,7	15,3	15,2	15,5	15,4
P2A	13,5	13,6	14,9	14,6	13,8	14,1	14,9	15,5	13,5	14,7	14,0	14,5
P2B	14,5	14,1	13,3	13,2	13,8	13,8	13,5	14,6	14,6	13,5	13,8	14,0
P2C	12,9	12,2	12,7	12,8	13,0	12,7	12,9	12,5	13,3	13,4	13,0	13,0
P2D	13,4	13,3	12,3	13,0	12,9	13,0	13,3	13,5	13,2	12,5	13,3	13,2



P3A	14,8	14,8	13,0	13,0	13,5	13,8	13,2	14,3	14,7	13,2	14,9	14,1
P3B	10,5	12,8	12,5	11,6	12,5	12,0	12,5	12,0	11,5	13,0	13,0	12,4
P3C	11,9	10,7	10,8	11,9	11,9	11,4	10,9	11,9	12,0	11,0	11,5	11,5
P3D	11,5	11,0	10,8	11,2	11,0	11,1	11,0	11,3	11,6	10,9	11,4	11,2

Tabela 2. Medições de espessura dos painéis nas condições natural e saturado.

Fonte: Autoria própria (2020).

Utilizando o teste t foram comparadas as médias, constando-se variação significativa na espessura entre as composições, porém entre os estados natural e saturado as médias são estatisticamente iguais, como pode ser observado na Tabela 3, onde letras iguais indicam médias iguais.

Painel	Natural (mm)		Saturado (mm)		Variação $e_{sat} / e_{nat}$ (%)
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
P1	15,07 <sup>a</sup>	0,48	15,37 <sup>a</sup>	0,40	1,99
P2	13,39 <sup>b</sup>	0,73	13,68 <sup>b</sup>	0,81	2,13
P3	12,09 <sup>c</sup>	1,27	12,29 <sup>c</sup>	1,26	1,70

Tabela 3. Espessura média e desvio padrão dos painéis com umidade natural e após saturação.

## Módulo de ruptura

Os valores do módulo de ruptura dos painéis foram obtidos no ensaio de flexão estática, com três amostras serradas de cada painel, medindo 47,5 mm x 250 mm, sendo apresentados na Tabela 4.

Painel	Amostra	Módulo de ruptura (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1A	1	0,647	1,183	0,34
	2	1,115		
	3	1,195		
1B	1	1,65	1,183	0,34
	2	1,400		
	3	1,091		

	1	0,975		
2A	2	1,340		
	3	1,060		
			1,317	0,32
2B	1	1,453		
	2	1,857		
	3	1,221		
3A	1	0,748		
	2	1,545		
	3	0,956		
3B	1	0,885	1,153	0,41
	2	1,631		
	3	3,738*		

Tabela 4. Módulo de ruptura

Fonte: Autoria própria (2020).

Após uma análise estatística o resultado da amostra 3 do painel 3B foi considerado atípico e descartado. Com os demais resultados obtidos foi realizada uma análise de variância, obtendo-se o valor-F calculado, igual a 0,35, superior ao valor-F crítico, de 3,73707, e portanto os valores do módulo de ruptura dos painéis podem ser considerados estatisticamente iguais.

### Resistência à compressão

A resistência à compressão paralela à superfície foi determinada utilizando três corpos de prova de cada painel, medindo 15 mm x 100 mm, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

Painel	Amostra	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1A	1	2,378		
	2	1,838		
	3	2,352	2,403	0,31
1B	1	2,605		
	2	2,732		
	3	2,510		

	1	1,734		
2A	2	0,893		
	3	1,602		
	1	3,597	2,219	0,99
2B	2	2,953		
	3	2,533		
	1	2,097		
3A	2	1,394		
	3	1,767		
	1	2,020	2,138	0,77
3B	2	3,626		
	3	1,922		

Tabela 5. Resistência à compressão.

Fonte: Autoria própria (2020).

Realizando-se uma análise de variância com os resultados agrupados por composição o valor-F calculado resultou em 0,19, sendo superior ao valor-F crítico, de 3,3823, e desta forma a resistência à compressão dos painéis pode ser considerada estatisticamente igual.

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliada a produção de painéis madeira:cimento utilizando resíduos de uma serraria instalada na região oeste do Paraná para três diferentes relações água-cimento. Com base nos resultados obtidos as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

Com os resíduos de *Eucalyptus urograndis* podem ser produzidos painéis madeira:cimento, dentro da faixa granulométrica empregada neste trabalho, na proporção de 1:3, com relações água/cimento entre 0,5 e 0,9, sendo necessária a utilização de cloreto de cálcio como agente acelerador de pega do cimento.

Os painéis produzidos não apresentaram desagregação das partículas após a secagem, tendo o aumento da quantidade de água resultado em superfícies mais porosas, entretanto não foram observadas variações na estabilidade dimensional.

Os painéis produzidos apresentaram resistência à compressão e módulo de ruptura em torno de 2,2 e 1,2 MPa, respectivamente, não havendo variação significativa nos resultados com o aumento da relação água/cimento.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica.** Rio de Janeiro, 2003.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D 1037 – 99 – Standar Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.** West Conshohocken, 1999.

CASTRO, V. G.; BRAZ, R. L.; AZAMBUJA, R. R.; LOYOLA, P. L.; IWAKIR, S.; MATOS, J. L. M. **Painéis cimento-madeira de Eucalyptus saligna com diferentes aditivos químicos e métodos de formação.** FLORESTA, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 349-360, 2015.

DE SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; ALBINO, V. C. S.; CORRÊA, A. A.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. **Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento-madeira.** REVISTA ÁRVORE, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 549-557, 2012.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI1, R.; WEBER, A.M.; JUNIOR, E.A.B.; PEREIRA, G.F.; BUENO, J.A.; CECHIN, L.; RAIA, R.Z. **Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de Hevea brasiliensis.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 47, n. 3, p. 289 - 296, jul. / set. 2017.

LATORRACA, J.V.F. **Eucalyptus spp. Na Produção De Painéis De Cimento-Madeira.** TESE APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS FLORESTAIS. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, ano 2000.

LATORRACA, J.V.F. **Painéis de cimento-madeira: características e aplicações.** REVISTA DA MADEIRA, 2003, n. 71, abr. 2003.

MACÊDO, A.N.; LIMA, A.M.; FONSECA, F.O.; LAVÔR, B.V.A.; Revista Matéria, v. 16, n. 2, pp. 658 – 667, 2011

MATOSKI, A; IWAKIRI, S. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 37, n. 2, mai./ago. 2007.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard.** Illinois: Southern Illinois University, 1974. 244p.

POMARICO, F.A. **Potencial de utilização da madeira de clones de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira.** In: POMARICO, FERNANDA ALVARENGA. POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE CLONES DE EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA. Orientador: Dr. Lourival Marin Mendes. 2007. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

TUOTO, M. **Levantamento sobre geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado.** Ministério do meio ambiente. Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Secretaria de Biodiversidade e Florestas Projeto PNUD BRA 00/20. Curitiba-PR, 2009.

## REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/03/2021

**Lidianne do Nascimento Farias**

Universidade Estadual de Feira de Santana  
Feira de Santana, Bahia  
<https://orcid.org/0000-0003-0719-8892>

**RESUMO:** A recuperação de resíduos é uma das principais estratégias econômicas e ambientais, visto que o seu acúmulo indevido pode causar grandes impactos ao meio ambiente. Este trabalho mostra que o cenário com os resíduos provenientes da madeira não é diferente, nesse sentido, visa potencializar estudos que apresentaram os resíduos provenientes do processamento da madeira como alternativa para fabricação de novos produtos, em destaque para a sua utilização na produção de painéis particulados, conforme os seus padrões de produção. Observou-se que alinhado ao setor da construção civil, que é um grande consumidor de recursos naturais, painéis de madeira produzidos com resíduos têm sido uma excelente alternativa de reaproveitamento e vêm ganhando espaço de utilização. Com base nas pesquisas identificadas, é possível concluir que os painéis fabricados podem atender as normativas exigidas, em vista do potencial técnico para serem aplicados em obras e edificações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos de madeira; Painéis de partículas; Painéis OSB; Painéis aglomerados.

### REUSE OF SOLID WOOD WASTE IN THE PRODUCTION OF PANELS APPLIED IN CIVIL CONSTRUCTION

**ABSTRACT:** The recovery of waste is one of the main reduction of efficiency and environmental, since its improper accumulation can cause great impacts to the environment. This work shows that the scenario with residues from wood is no different, in this sense, it aims to enhance studies that dissipate residues from wood processing as for the manufacture of new products, especially for their use in the production of particulate panels, according to your production standards. It was observed that aligned with the civil construction sector, which is a major consumer of natural resources, wood panels purchased with waste have been an excellent alternative for reuse and have been gaining space for use. Based on the research identified, it is possible to conclude that panels with wood residues can meet the required standards, in view of the technical potential for communications in works and buildings.

**KEYWORDS:** Wood waste; Particle boards; OSB panels; Agglomerated panels.

### 1 | INTRODUÇÃO

A situação dos resíduos sólidos gerados pelos mais diferenciados setores industriais deve ser caracterizada pelo interesse em relação à reciclagem, recuperação e reaproveitamento. Em todo o mundo, o grande avanço no descarte de resíduos sólidos seja proveniente da indústria, construção civil ou agrícolas, aumenta as preocupações em relação à poluição

ambiental (BAHRAMI *et al.*, 2016).

Em relação à indústria madeireira, provenientes das formas do processamento da madeira, resíduos são produzidos em diferentes tipos e quantidades (TOP; ADANUR; OZ, 2018). Há um grande impacto causado ao meio ambiente quando não há um programa adequado de gestão de resíduos nessas indústrias. Esses resíduos são, na maioria das vezes, descartados inadequadamente ou queimados (ALMEIDA, 2013).

Conforme Negrão *et al.* (2014) e Cetiner e Shea (2018), um indicador para a utilização de resíduos de madeira é agregar valor às empresas, pois reduz o uso de energia e liberação de dióxido de carbono, promovendo vantagem econômica e ambiental, ao invés de simplesmente descartá-los. Dessa forma, entre as formas de reaproveitamento, a utilização de resíduos de processamento da madeira visa alternativas interessantes para a fabricação de painéis particulados, que podem ser aplicados na construção civil em vedações como divisórias, em esquadrias como portas e janelas, além de pisos.

Algumas pesquisas se baseiam no reaproveitamento de resíduos de madeira na fabricação e avaliação de painéis particulados, estudos como: LIMA (2012), MACEDO *et al.* (2016), CETINER e SHEA (2018), NEGRÃO *et al.*, (2014), PIERRE; BALLARIN; PALMA (2014), HELLMEISTER (2017), entre outros. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi verificar a situação atual sobre o reaproveitamento de resíduos da atividade madeireira, identificando a possibilidade da inserção desses resíduos na fabricação de painéis aplicados na construção civil.

## 2 | A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MADEIRA

A construção civil é um grande consumidor de recursos naturais, além disso, o setor gera grande quantidade de resíduos que contribuem para a elevada taxa de resíduos sólidos urbanos (ÂNGULO; FIGUEIREDO, 2011). Adicionalmente, a utilização da madeira no meio urbano, por meio da construção civil, representa um volume expressivo de resíduos de madeira dos pequenos aos grandes centros urbanos.

Segundo a Associação da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2016), o Brasil possui a segunda maior extensão florestal tropical do mundo com 12% da reserva mundial e em torno de 58% do seu território coberto por florestas, ficando atrás apenas da Rússia. São cerca de 485,8 milhões de hectares de florestas nativas (89,1% de área de produção) e cerca de 7,8 milhões de florestas plantadas (10,9% de área de produção).

As florestas plantadas no Brasil (7,8mi) são compostas de eucalipto – *Eucalyptus spp.* (72%) e pinus – *Pinus spp.* (20%), as demais espécies se dividem entre os 8% restantes. Sua produção é destinada à indústria de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, produtos de madeira sólida e madeira processada, além da borracha (ABIMCI, 2016; CNA, 2016). Como uma consequência dessa grande produção, o setor madeireiro é considerado

altamente gerador de resíduos, isso inclui os resíduos de madeira que são encontrados pelo meio urbano ou desperdiçados pela utilização na construção civil.

A Figura 1 mostra os tipos de resíduos gerados a partir do processamento mecânico da madeira e cada percentual encontrado de acordo com o estudo de Monteiro; Lima e Trugilho (2012).

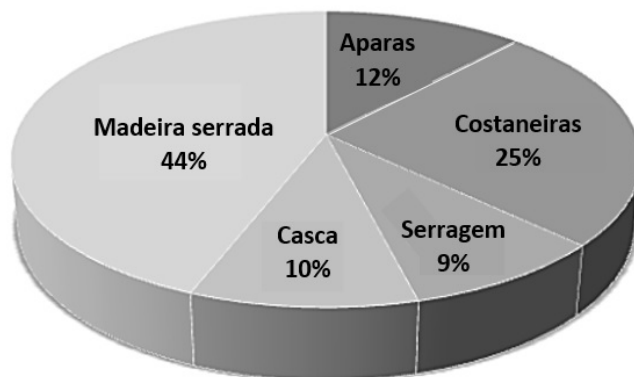


Figura 1 Percentuais de resíduos sólidos obtidos a partir do processamento da madeira

Fonte: Adaptado de Monteiro; Lima e Trugilho (2012)

Conforme a FAO (2020), a produção de resíduos de madeira no ano de 2019 no Brasil ficou em torno de 19 milhões de metros cúbicos. A frente da Rússia, que possui atualmente a maior reserva florestal e produziu em 2019 em torno de 9 milhões de m<sup>3</sup> o mesmo tipo de resíduo, e dos Estados Unidos com 15 milhões de m<sup>3</sup> nesse mesmo ano. Levando em consideração as atuais preocupações ambientais do país, os valores mostrados acima demonstram índices incabíveis.

Dessa forma, o reaproveitamento de resíduos de madeira vem como contribuição para a racionalização da exploração florestal e traz como recompensa o adequado gerenciamento de resíduos sólidos industriais. A fim de explorar a viabilidade técnica e destinação econômica dos resíduos de madeira, estudos começaram a utilizar os resíduos das indústrias madeireiras para a fabricação de painéis à base de madeira, produção de tijolo maciço cerâmico, na produção de painéis madeira-cimento, além de ser utilizado na produção de combustíveis (ALMEIDA, 2013; RONQUIM *et al.*, 2014).

No entanto, embora o resíduo de madeira seja uma fonte renovável, além de sustentável, na produção de combustíveis para geração de energia, o processo de incineração gera grandes quantidades de cinzas desses resíduos, que se não manejadas adequadamente, podem resultar em graves danos ambientais. Autores como Castrillón

e Gil (2020) e Ramos; Matos e Coutinho (2013) buscaram alternativas de utilização para o resíduo de madeira em forma de cinzas em compostos cimentícios. Ramos; Matos e Coutinho (2013) utilizaram as cinzas de madeira de eucalipto (CME) em argamassas como substituto parcial do cimento e identificaram boa atividade pozolânica. Há indicações para que o uso de cinzas residuais de madeira possa contribuir em um concreto mais verde.

Dantas Filho (2004) utilizou o resíduo de madeira (*Pinnus caribaea*) em compostos cimentícios, mas desta vez, em forma de pó, e o avaliou como substituto parcial do agregado miúdo na confecção de blocos de concreto. Identificando que o resíduo proporcionou boas condições térmicas a vedação. Nesses cenários apresentados, verificam-se as potencialidades de resíduos de madeira para além da sua utilização em painéis.

## 2.1 Resíduos de madeira empregados em painéis

A prática de utilização de resíduos industriais madeireiros na indústria de painéis reconstituídos é bastante comum no exterior, sobretudo na Europa. Como matérias-primas para a produção dos painéis aglomerados são empregados resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade inferior, não industrializáveis de outra forma, madeiras provenientes de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia (PIERRE; BALLARIN; PALMA, 2014, p. 1).

No Brasil, segundo ABIMCI (2016) e Pierre, Ballarin e Palma (2014), as madeiras de florestas plantadas, maioria compostas das espécies *Eucalyptus* e *Pinus* como já mencionadas, também se destinam à produção dos painéis aglomerados, atualmente, como principal fonte de matéria-prima.

A aplicação dos painéis de madeira fabricados estão usualmente associados aos segmentos da construção civil e moveleiro. Eles são utilizados de acordo com suas propriedades físicas e mecânicas. As características técnicas para o seu uso e aplicação envolvem as propriedades de resistência mecânica, estabilidade dimensional, entre outras, tem-se a avaliação da uniformidade da superfície e resistência à fixação de parafusos (ABIMCI, 2016).

A grande vantagem da utilização dos painéis provenientes das partículas de madeira está associada ao custo final, pois sua produção será proveniente das toras e resíduos de madeira que seriam descartados. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2014), o Brasil é um dos principais produtores de painéis de madeira (industriais). Os materiais mais fabricados são: MDF (*Medium Density Fiberboard*), HDF (*High Density Fiberboard*), MDP (*Medium Density Particleboard*) e chapas de fibra (*Hardboard*).

No entanto, a prática da utilização de resíduos de madeira para a produção de painéis ainda não tem sido implantada em grande escala no país, mesmo que as primeiras indústrias instauradas tenham tido esse propósito. Dessa forma, a utilização de resíduos



de madeira em fabricação de painéis tem sido foco de pesquisas.

Lima (2012) produziu painéis de madeira aglomerada a partir dos resíduos de serragem provenientes de três espécies de madeiras da Amazônia (conhecidas como Cumarurana, Cumaru e Amapá-doce) e utilizou como aglutinante, uma resina poliuretana à base de óleo de mamona. O autor avaliou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos e confirmou a viabilidade de fabricação de painéis com o uso dos resíduos entre todas as espécies de madeira estudadas.

Negrão *et al.* (2014) avaliaram o potencial de painéis aglomerados confeccionados com resíduos provenientes da mistura de quatro diferentes espécies tropicais, mas objetivando verificar a influência de três tipos de resinas como aglutinantes. Confirmando melhor potencial de aplicação como adesivo a resina à base de mamona.

Almeida (2013) apresenta a confecção de painéis EGP, ou melhor, os chamados painéis de madeira colada lateralmente, para serem utilizados como vedação vertical em edificações ou na fabricação de móveis. Utilizou-se seis espécies tropicais (*Pterogyne nitens*, *Patagonula sp.*, *Tabebuia spp.*, *Hymenaea spp.*, *Astronium lecointei* e *Couratari spp.*). Segundo a autora, os resultados obtidos na pesquisa indicam um bom potencial para a produção desses painéis em escala industrial.

Na construção civil, os painéis OSB (*Oriented Strand Board*) já são muito utilizados em produção de paredes, divisórias estruturais, pisos, vigas e forro. Hellmeister (2017) produziu painéis OSB com resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*), aglomerados com resinas uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e poliuretana à base de óleo mamona, e os caracterizou por meio de ensaios termo-físico-mecânicos e microestruturais. Os resultados mostraram o satisfatório atendimento aos requisitos estabelecidos para painéis OSB de Classe 1 de uso interno e não-estrutural.

Macedo *et al.* (2016) determinaram propriedades físico-mecânicas de painéis OSB fabricados com *strands* de madeiras provenientes da espécie *Pinus sp.*, utilizando adesivo à base de óleo de mamona. Os painéis produzidos foram classificados em OSB Classe 4 devido as propriedades físicas obtidas e OSB 1 devido ao módulo de elasticidade e ruptura na flexão.

### 3 | PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS DE RESÍDUOS DE MADEIRA

Os painéis de partículas são produzidos a partir de resíduos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos. Esses painéis criam forma ao serem prensados juntamente com a aplicação de algum tipo de resina e aditivos. As resinas têm a função de aglomerar as partículas. Desse modo, esse processo deve incluir calor, pressão e catalisadores (RACHTANAPUM *et al.*, 2012).

Segundo Hellmeister (2017), a indústria de painéis de madeira, em sua maioria, utiliza como aglutinante em suas produções a resina uréia-formaldeído (UF) para produção

de painéis não estruturais e ambientes internos, e resinas fenol-formaldeído (FF) em ambientes externos devido uma melhor capacidade de adesão à madeira em relação à umidade.

Um fator que impacta na produção dos painéis de madeira é a influência do teor de umidade da própria madeira. De acordo com Iwakiri (2005), esse teor de umidade está associado diretamente com o ritmo de adsorção do adesivo líquido pela madeira, ou seja, pela qualidade que é formada a ligação adesiva. O autor confere o teor de umidade da madeira à taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação da resina ou outro tipo de aglutinante utilizado.

O processo de beneficiamento dos resíduos de madeira e fabricação de painéis aglomerados se dá por processos simples. Negrão *et al.* (2014) apresentaram em sua metodologia os seguintes passos: i) as toras de madeiras reaproveitadas foram dimensionadas em partículas com comprimentos de até 0,5 cm, através do processamento em um moinho de facas (Figura 2a). ii) após serem processadas, as partículas foram secas em estufa à temperatura de 60°C, para que pudessem atingir um teor de umidade de aproximadamente 5%. Com o teor de umidade desejado, iniciou-se o processo para preparação do colchão de partículas (Figura 2b). iii) adicionou-se as resinas e realizou-se a prensagem. O procedimento realizado propiciou uma aproximação entre as partículas e a consequente formação dos painéis (Figura 2c).

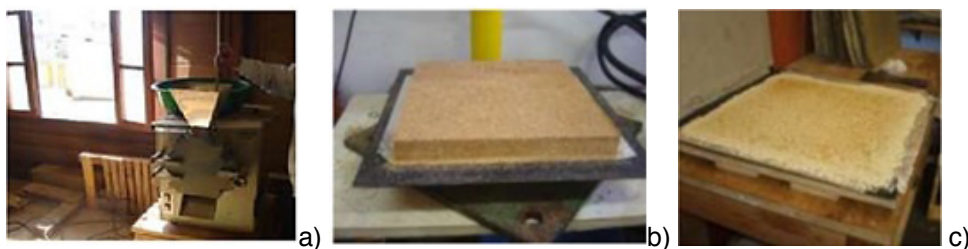


Figura 2 Produção do painel a) Processamento de resíduos de madeira, b) Colchão de partículas, c) Painel aglomerado

Fonte: Negrão *et al.* (2014)

Na produção de painéis OSB, a partir de resíduos sólidos de madeira, Hellmeister (2017) utilizou resíduos de madeira Balsa processados em um moinho de disco para produção das lascas de madeira (*strands*) (Figura 3a). Após o processamento, as partículas de madeira Balsa foram secas em estufa a 60°C, durante 48 horas, de forma a atingir o teor de 12% de umidade. Para formação do painel, foi formado um colchão de partículas, com aplicação das resinas, em três camadas de partículas (Figura 3b) e realizada a prensagem em prensa termo-hidráulica com uma variação de temperatura entre 90-160 °C (Figura 3c).



Figura 3 Produção do painel OSB a) Strands, b) Colchão de partículas, c) Painel OSB

Fonte: Hellmeister (2017)

Em um outro tipo de estudo, Cetiner e Shea (2018) forneceram um maior entendimento sobre a aplicação de resíduos de madeira em painéis com base no seu desempenho térmico. Os autores utilizaram resíduos em partículas de 1-4mm (Figura 4a). Os resíduos foram colocados em molduras de madeira e coberto com uma folha OSB e selado (Figura 4a) para medições de condutividade térmica do medidor de fluxo de calor (Figura 4b). O estudo identificou que vedações com resíduos de madeira podem ser eficazes em aplicações como material isolante na construção civil, esses materiais devem ser empregados para redução de energia.

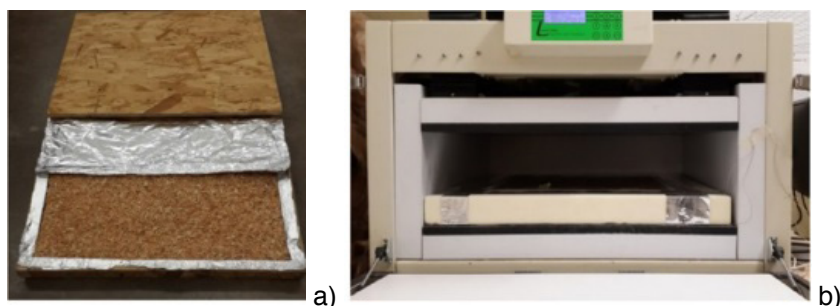


Figura 4 Desempenho térmico de painéis a) Resíduos de madeira em molduras OSB, b) Medição de condutividade térmica do painel.

Fonte: Cetiner e Shea (2018)

Para dar continuidade a análise do aproveitamento de resíduos de madeira na fabricação de painéis, também é preciso levar em conta as suas avaliações microestruturais e as avaliações físico-mecânicas após produção. A avaliação microestrutural dos resíduos de madeira incluem a análise por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Difração de Raios-x (DRX) e pela Termogravimetria (TG).

As propriedades físico-mecânicas geralmente avaliadas são: densidade aparente,

absorção de água, inchamento em espessura, módulo de elasticidade na flexão (MOE), módulo de resistência na flexão (MOR), adesão interna (AI) e resistência à tração perpendicular (RTP). As propriedades analisadas devem estar em conformidade com as seguintes normas:

Normas técnicas	Órgão responsável/ Ano de publicação
ABNT NBR 14810	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006)
ASTM D-1037	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2020)
CS236-66	COMMERCIAL STANDARD (1968)
ANSI A208.1	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (2009)
EN 312	EUROPEAN STANDARD (2010)
DIN 52362	NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ (1982)

Tabela 1. Normas de avaliação de painéis de madeira

Entre os autores citados ao longo deste trabalho (LIMA (2012), MACEDO *et al.* (2016), CETINER e SHEA (2018), NEGRÃO *et al.* (2014), PIERRE; BALLARIN; PALMA (2014), HELLMEISTER (2017) e ALMEIDA (2013)) foi consenso a obtenção de desempenhos físico-mecânicos satisfatórios em suas produções, que atendem aos requisitos mínimos entre as normas estabelecidas (Tabela 1), bem como é indicada a utilização dos resíduos provenientes entre as diversas espécies de madeiras avaliadas na produção de painéis, seja painéis de madeira aglomerada, painéis OSB e/ou painéis EGP.

Na viabilidade técnica de produção de painéis a partir de sobras de materiais, que na maioria das vezes seriam descartados, são identificadas vantagens econômicas, técnicas e sociais/ambientais. Com um menor custo de produção, os painéis provenientes de resíduos possuem propriedades suficientes para diversas utilidades, além de minimizarem impactos ambientais. Fatores que fazem com que o produto ganhe espaço no mercado para utilização como material de construção, vedações e mobiliário.

## 4 | CONCLUSÃO

Os resíduos de madeira provenientes do processamento primário e secundário da madeira são adequados para a confecção de painéis, visto que painéis aglomerados e OSB produzidos com resíduos, que se não manejados adequadamente seriam descartados e causariam poluição ambiental, podem atender satisfatoriamente normativas estabelecidas

e, ocasionalmente, as exigências de mercado.

Entre os estudos mencionados, não foram encontrados impactos negativos nas características físico-mecânicas dos painéis, para que fossem mencionados nesta revisão de literatura. Dessa forma, se confirma a potencialidade do resíduo de madeira para produção de painéis aglomerados, painéis OSB e/ou painéis EGP, demonstrando a possível empregabilidade ao setor da construção civil, possibilitando atender à sua demanda em vista de vantagens técnicas, econômicas, ambientais e sociais.

## REFERÊNCIAS

ABIMCI – Associação da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo Setorial 2016 – Ano base 2015**. Curitiba, 2016.

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **ABIPA 2014**. Disponível em: <http://www.abipa.org.br>. Acesso em: 08 de agosto de 2018.

ALMEIDA, V.C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

ÂNGULO, S. C; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto: ciência e tecnologia**. IBRACON, 2011.

BAHRAMI, A. *et al*. Development of metal-matrix composites from industrial/agricultural waste materials and their derivatives, critical reviews. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 46, p. 2, 2016.

CASTRILLÓN, J. J.; GIL, H. Mechanical properties of mortars modified with wood waste ash. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**. 2020.

CETINER, I; SHEA, A. D. Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings. **Energy & Buildings**, v. 168, p. 374-384, 2018.

DANTAS FILHO, F. P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

FAO – **Forestry Production and Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

HELLMEISTER, V. **Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais. Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2017. 144p.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. 2005. 254p.

LIMA, M. D. F. **Utilização de Resíduos das Espécies *Dipterix polyphylla* (Cumaruana), *Dipterix odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na Produção de Painéis de Madeira Aglomerada Com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2012.

MACEDO, L.B. *et al.* Painéis OSB de madeira *Pinus* sp. com adição de partículas de polipropileno biorientado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 112, p. 887-894, 2016.

MONTEIRO, T.C.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F. Energia Armazenada nos Resíduos do Desdobro de Toras de *Eucalyptus Grandis*. **Ciência da Madeira**, v.3, n.1, p.33-42, 2012.

NEGRÃO, W. H.; SILVA, S. A. M. DA; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 103-112, 2014.

PIERRE, F. C.; BALLARIN, A. W.; PALMA, L. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 321-328, abr./jun. 2014.

RACHTANAPUN, P.; SATTAYARAK, T.; KETSAMAK, N. Correlation of density and properties of particleboard from coffee waste with urea–formaldehyde. **Journal of Composite Materials**, v. 46, n. 15, p. 1839–1850, 2012.

RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion. **Construction and Building Materials**, v. 49. p. 343–351, 2013.

RONQUIM, R. M. *et al.* Physical and mechanical properties of wood-cement composite with lignocellulosic grading waste variation. **International Journal of Composite Materials**, Rosemead, v. 4, p. 2, p. 69-72, 2014.

TOP, Y.; ADANUR, H.; OZ, M. Type, quantity, and re-use of residues in the forest products industry in Trabzon, Turkey. **Bio Resources**, v. 13, n. 1, p. 1745-1760, 2018.

# CAPÍTULO 11

## ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CARBONO

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 04/01/2021

**Luiz Fernando Pereira**

Centro Universitário de Viçosa  
Teixeiras-MG

<http://lattes.cnpq.br/9420060069762731>

**RESUMO:** Com o alto crescimento na engenharia civil, vem aumentando cada vez mais a procura por novos concretos especiais. Concretos esses que podem fazer a diferença na hora da aplicação de carga. O presente trabalho buscou estudar um novo concreto contendo fibras de carbono, analisando as principais propriedades mecânicas, utilizando fibras com 1% e 0,5% em relação ao volume de cimento e comprimento aproximado de 35 mm. Dentre as principais vantagens desse concreto está seu alto módulo de elasticidade (que é comparado ao aço), alta resistência e alta rigidez. Nesta pesquisa foi possível analisar os efeitos das fibras de carbono nas resistências à compressão simples e compressão diametral, além de verificar a sua massa específica e taxa de absorção. Observou-se que as adições de 0,5 e 1% de fibra promoveram um aumento pouco considerável na resistência mecânica do concreto. Além disso, essas fibras apresentaram um alto custo, elevando o custo do concreto significativamente. Com isso, conclui-se que o uso das fibras no concreto não é viável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concretos especiais, fibra de carbono, custo.

### ANALYSIS OF MECHANICAL RESISTANCE OF STRUCTURAL CONCRETE WITH ADDITION OF CARBON FIBERS

**ABSTRACT:** With the high growth in civil engineering, the demand for new special concretes is increasing. Concretos that can make the difference at the time of loading. The present work sought the innovation of a new concrete containing carbon fibers, analyzing the main mechanical properties, using fibers with 1% and 0.5% in relation to the cement volume and approximate length of 35 mm. Among the main advantages of this concrete is its high elasticity (which is compared to steel), high strength and high rigidity. In this research it was possible to analyze the effects of the carbon fibers on the resistances to simple compression and diametrical compression, besides verifying their specific mass and rate of absorption. It was observed that the additions of 0.5 and 1% fiber promoted a slight increase in the mechanical strength of the concrete. In addition, these fibers presented a high cost, raising the cost of the concrete significantly. With this, it is concluded that the use of the fibers in the concrete is not viable.

**KEYWORDS:** Special concrete, carbon fiber, cost.

### INTRODUÇÃO

O concreto é o material construtivo mais usual e conhecido mundialmente, podendo ser encontrado em quase todos os tipos de obras, desde as mais simples às mais complexas e



exuberantes. Este é tão largamente empregado devido à sua mobilidade e modelagem no estado fresco. E quando endurecido, tem a sua resistência comparada às rochas. (PEDROSO, 2009).

Segundo Figueiredo (2000), devido ao seu crescimento, utilização e diversidade, pode-se encontrar compósitos em diversas aplicações na engenharia civil, como telhas, painéis de vedação vertical e estruturas de concreto como túneis e pavimentos, onde a aplicação de concreto reforçado com fibras vem aumentando gradativamente. Compósitos como o próprio nome já indica, são materiais compostos em duas fases: a matriz e as fibras. O cimento atuando como a matriz, e as fibras como um reforço da matriz em função das propriedades destas.

Diversas estruturas, como de concreto armado já foram reforçadas com êxito, englobando pontes, por meio de introdução da técnica de colagem externa de chapas metálicas. A grande conquista dessa obtenção de reforço estrutural de concreto armado induziu diversos pesquisadores na década de 90, onde se destaca Urs Méier, do EMPA de Zurique, por aplicar opções alternativas ao aço, através de recursos mais leves e duráveis. O progresso de novas tecnologias para esse recurso tornou-se possível substituir chapas de aço por chapas mais leves, duráveis, resistentes e fáceis de manusear em obras de reabilitação estrutural, levando a aplicação em obras de construção civil de um material chamado FRD (Fiber Reinforced Polimer), em português; polímero reforçado com fibras (PRF), (FERRARI; PADARATZ; LORIGGIO, 2002 apud RIPPER, 1998).

A introdução de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) é uma das diversas alternativas que busca reforçar estruturas de concreto armado. Essa técnica vem ganhando aceitação pelas suas vantagens relacionadas à resistência/peso, proteção à corrosão e facilidade no manuseio. Diversos países vêm conduzindo aplicações bem sucedidas, como EUA, Japão, países da Europa e América Latina. Grandes estruturas no Brasil já foram reforçadas com PRFC. Porém ainda há dúvidas para melhorar este conhecimento, atribuindo potencialização nesta tecnologia (FERRARI, 2007).

No presente trabalho, serão estudadas as propriedades mecânicas de um concreto estrutural melhorado com fibra de carbono, seguindo propostas de trabalhos futuros apresentadas por Canazart e Souza (2017).

## **MATERIAL E MÉTODO**

A pesquisa realizada se trata de uma pesquisa qualitativa laboratorial, onde foi possível analisar a resistência mecânica de concreto estrutural com a adição de fibra de carbono.

O cimento utilizado foi o CPlI - E 32 da Chalcin - Ultra Forte. A areia natural quartzosa foi proveniente do Rio Piranga, extraída do município de Guaraciaba-MG que apresenta massa específica igual a 2,664 g/cm<sup>3</sup>. A brita 1 utilizada foi procedente da Pedreira Ervália,



localizada em Eralvia-MG e possui taxa de absorção igual a 0,42%, dimensões máximas de 19 mm e módulo de finura igual a 6,78. Já o aditivo utilizado foi o plastificante multifuncional de pega normal, Muraplast FK 830 da MC-BAUCHEME devido a sua grande utilização nas concreteiras da região.

A fibra de carbono foi fornecida pelo Laboratório de engenharia Civil da UNIVIÇOSA. Ela foi adquirida em forma de manta, e para possibilitar a sua aplicação, foi desfiada e cortada manualmente em pedaços de 35 mm de comprimento.

## **Ensaio e Produção do concreto**

Nesta pesquisa, foram realizados dois ensaios com diferentes porcentagens de fibra de carbono, sendo utilizado 0%, 0,5% e 1% de fibras comparadas ao peso do cimento. Os corpos de provas foram identificados de acordo com a numeração disponível em laboratório, definida pela ordem de moldagem.

Para os traços contendo 0%, 0,5% e 1% de fibras, foram moldados 12 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Desses 12 corpos-de-prova, 8 foram rompidos por compressão axial de acordo com a norma ABNT NBR 5739/94 (Figura 5), com idade entre 3, 7, 28, e 63 dias, sendo rompido dois corpos-de-prova para cada idade. Dois foram rompidos aos 28 dias de idade por tração na compressão diametral de acordo com a norma ABNT NBR 7222/94 (Figura 4) e 2 foram utilizados para a determinação de massa específica e absorção de água aos 28 dias segundo a norma da ABNT NBR 9776/88.

O traço básico utilizado foi o de 1: 2,96: 2,04: 0,47: + 0,7% (cimento, areia, brita, água e aditivo) devido o concreto de referência ter sido feito com esse traço. A quantidade de água foi ajustada para obedecer ao slump test de 9 + ou – 1 cm. Para os corpos-de-prova com adição de fibras foram utilizados traços contendo 0,5 e 1% de fibras em relação ao peso específico do cimento, que foram misturados mecanicamente na betoneira após o concreto pronto. Além dos concretos com adição de fibras, foi feito um concreto de referência apenas com os componentes tradicionais e aditivo químico.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A tabela 1 a seguir, apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão axial para os corpos-de-prova contendo 0%, 0,5% e 1% de fibras de carbono. A partir desses dados, o gráfico 1 foi preparado para expor o aumento da resistência à compressão axial com o tempo de acordo com a suas respectivas idades, utilizando os valores médios para corpos-de-prova com idade iguais.

Fibras (%)	Idades (dias)	Tensão (MPa)	Valores médios para cada idade (MPa)
0%	3	16,8 15,9	16,4
	7	23,7 26,5	25,1
	28	35,7 34,8	35,2
	63	43,0	43,0
50,0%	3	16,2 16,1	16,2
	7	25,8 25,6	25,7
	28	41,8 40,9	41,3
	63	42,6 42,1	42,3
100%	3	17,9 17,7	17,8
	7	25,1 26,9	26,0
	28	44,2 42,1	43,1
	63	44,2 44,6	44,4

Tabela 1 – Corpos-de-prova contendo 0%, 0,5% e 1% de fibras: compressão axial

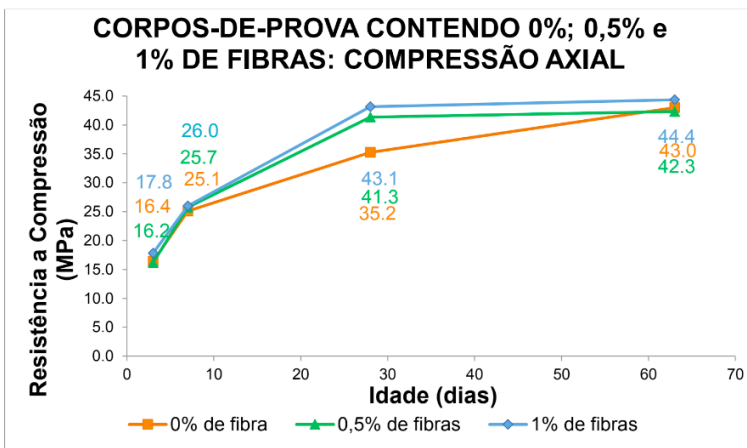


Gráfico 1 – Aumento da Resistência por Compressão Axial com o tempo (nas diferentes idades).

Contudo, os resultados dos concretos com fibras obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial, obtiveram resultados satisfatórios aos 28 dias de idade comparando ao concreto de referência. Sendo um acréscimo de 17,32% ao concreto contendo 0,5% de fibras e 22,40% para aquele contendo 1%. Entretanto, o concreto contendo 0,5% de fibras não alcançou resultados tão satisfatórios quanto àquele com 1% de fibras.

A tabela 2 a seguir, apresenta os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral para os corpos-de-prova contendo 0%, 0,5% e 1% de fibras de carbono. A partir desses dados, o gráfico 2 foi preparado para expor o aumento da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idades.

Fibras (%)	Idade (dias)	Tensão (MPa)	Valores médios para cada ensaio (MPa)
0	28	4,1	4,0
		3,8	
0,5		3,9	4,1
		4,2	
1		4,5	4,3
		4,2	

Tabela 2 – Corpos-de-prova contendo 0%, 0,5 e 1% de fibras: tração por compressão diametral

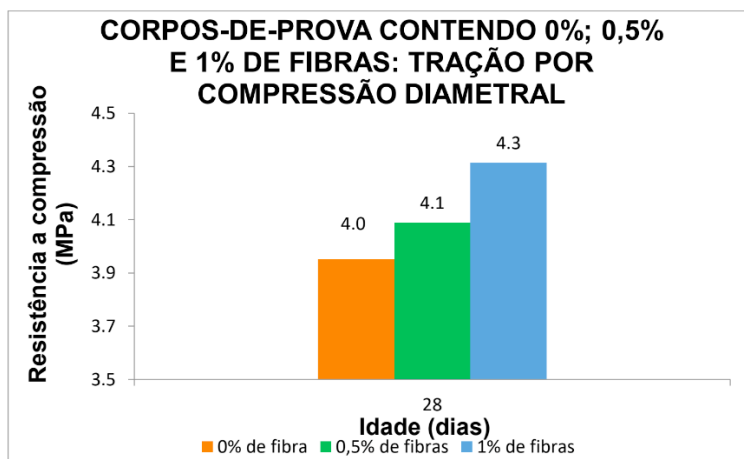


Gráfico 2 - Aumento da Resistência à tração por Compressão Diametral.

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral também alcançaram resultados satisfatórios para os concretos com fibras aos 28 dias de idade, comparado ao concreto de referência, sendo um acréscimo de 3,47% para o concreto contendo 0,5% de fibras e 9,18% para aquele com 1% de fibras.

As massas específicas e a taxa da absorção dos corpos-de-prova contendo 0, 0,5 e 1% de fibras estão especificados na tabela 3 a seguir, sendo esses valores médios.

Fibras (%)	Massa específica SSS do concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Absorção do concreto (%)
0	2,42	3,12
0,5	2,43	3,25
1	2,43	3,08

Tabela 3 - Massa específica saturada superfície seca e absorção: corpos-de-prova referência - NBR NM 53

Entretanto os resultados de massa específica e absorção de água não obtiveram progresso, pois os resultados praticamente se igualam.

## CONCLUSÕES

Com a obtenção dos resultados em relação a resistência mecânica aos 28 dias embora satisfatórios, não é viável à produção de concretos contendo 1% e 0,5% de fibras de carbono em relação ao alto custo da manta de carbono.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2003.

CAZANART, C. M.; SOUZA, M. C. **Análise da Resistência Mecânica de Concretos Especiais Utilizando Fibras Minerais e Poliméricas**. 2017. 38 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil)- Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa: Faviçosa/Univiçosa, Viçosa.

FERRARI, V. J.; PADARATZ, I. j.; LORIGGIO, D. D. **Reforço à flexão em viga de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismo de incrementos de ancoragem**. In: xxx JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. UnB; CD-ROM.

FERRARI, V. J. **Reforço à flexão de vigas de concreto armado com manta de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) Aderido a substrato de transição constituído por compósito cimentício de alto desempenho**. 2007. 310 p. Tese (Doutorado em Engenharias de Estruturas)- Escola de Engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo, São Paulo.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. 2000. 69 p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Concreto & Construções. IBRACON, n. 53, p. 14–19. 2009 ISS 1809-7197

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA TRATADA COM IGNIFUGANTES EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

Data de aceite: 01/04/2021

**Gustavo Souza Silva**

Universidade Anhembi Morumbi

**Ismael Francisco Dias Junior**

Universidade Anhembi Morumbi

**Mayra Kethlyn da Silva Nascimento**

Universidade Anhembi Morumbi

**Victor dos Santos Carneiro**

Universidade Anhembi Morumbi

**Maria Fernanda Quintana Ytza**

Universidade Anhembi Morumbi

**RESUMO:** A madeira, um dos principais materiais utilizados na construção civil, possui inúmeras vantagens que justificam seu emprego no setor. No Brasil, sua utilização se dá tanto para fins nobres (esquadrias e revestimentos), quanto para fins não nobres (canteiros de obras e fôrmas). No entanto, há incertezas quanto ao seu comportamento mecânico mediante a ação do fogo. Devido a essa problema recorrente, existe uma constante busca de tratamentos que possam reduzir o impacto causado pelo incêndio na estrutura, como o tratamento com tintas ignífugas. Deste modo, através de uma correlação de artigos acadêmicos, foram analisados diferentes ensaios de incêndio de baixo risco com corpos de prova de madeira das espécies *Pinus pinaster* e Cedrinho, a fim de verificar a influência do tratamento ignífugo na madeira, onde constatou-se que o mesmo não é

eficaz quando trata-se de resistência mecânica, porém os resultados obtidos mostram que as seções da madeira tratada sofrem um desgaste um pouco mais retardado em comparação a madeira não tratada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cedrinho; *Pinus pinaster*; Resistência; Incêndio; Ignífugo.

### ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF IGNIFUGANT TREATED WOOD IN FIRE SITUATIONS

**ABSTRACT:** Wood, one of the main materials used in civil construction, has numerous advantages that justify its use in the sector. In Brazil, it is used both for noble purposes (wooding frame and cladding) and for non-noble purposes (construction sites and forms). However, there is unpredictability regarding its mechanical behavior through the action of fire. Due to this recurring problem, there is a constant search for treatments that can reduce the harm caused by the fire on the structure, such as treatment with fire retardant paints. Along these lines, through a correlation of academic articles, a series of low risk' fires were conducted with wooden specimens of the *Pinus pinaster* and Cedrinho species, to verify the influence of the fire treatment on wood, where it was found that the treatment it is not effective when it comes to mechanical resistance, however, the results show that the section in the wood which the treatment was applied suffer slightly less damage compared to untreated wood.

**KEYWORDS:** Cedrinho; *Pinus pinaster*; Resistance; Fire.

## 1 | INTRODUÇÃO

Apesar dos inúmeros avanços tecnológicos obtidos nas últimas décadas, a madeira, um dos primeiros materiais utilizados na construção civil, permanece sendo amplamente utilizado neste meio apesar das inúmeras alternativas a ela, seja em esquadrias, ferramentas, estruturas, mobiliários, revestimentos ou como fôrma para estruturas (COPAT, 2014).

Em países com clima frio, onde as casas e edifícios baixos necessitam de uma rápida construção e ainda assim uma grande eficiência energética, a madeira costuma ser empregada como material predominante, oferecendo segurança e conforto térmico aos ocupantes, muito pelo fato de possuir um coeficiente de condutividade térmica baixo (REVISTA DA MADEIRA, 2008).

Segundo Meirelles (2007) a madeira é um ótimo material de construção quanto aos aspectos de conforto, plasticidade no projeto, rapidez de montagem e durabilidade, que podem ser explorados nas diferentes aplicações das construções habitacionais.

A madeira também possui características que contribuem para a sustentabilidade ambiental, como a possibilidade de reutilização do material, por ser retirado de reservas renováveis e na economia de recursos hídricos, considerando que não há a utilização de água em seu processo industrial. Além das características sustentáveis, a madeira apresenta um ótimo desempenho em isolamento termoacústico e um bom desempenho mecânico.

No entanto, no Brasil, país onde está localizada a maior floresta tropical do mundo (LEITÃO FILHO, p. 41, 1987), cujo clima predominante se caracteriza por verões quentes e chuvosos e invernos secos e frios, o uso da madeira como peça estrutural ainda causa muita desconfiança, devido ao fato do material ser suscetível à ataques de insetos e, principalmente, por ser inflamável e de alta combustão.

Com isso, aliado à falta de dados concretos, estudos detalhados de entidades específicas e informações referentes à tratamentos eficazes para a madeira, existem incertezas em relação ao comportamento do material sob ação do fogo, contribuindo com a decisão de muitos projetistas do setor construtivo de declinar da opção de projetar e utilizar a madeira como estrutura.

Considerando as preocupações em relação à elementos de madeira em contato com o fogo, este artigo possui como principal objetivo analisar a eficiência do tratamento com tinta ignífuga em peças de madeira das espécies *Pinus pinaster* e Cedrinho, avaliando dados de diferentes materiais bibliográficos, coletando informações e comparando-as acerca do comportamento e a resistência do material após exposição ao fogo com e sem tratamento ignífugante.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A construção civil é um dos setores onde há mais evidências de impactos ambientais no planeta, tanto pela extração, fabricação e utilização de recursos naturais, quanto pela geração de resíduos. O cimento, por exemplo, é prejudicial ao meio ambiente desde a extração do calcário até a queima de combustível nos fornos, resultando em uma alta emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (MAURY; BLUMENSCHHEIN, 2012, p. 78). Com base nisso, países desenvolvidos como Canadá, EUA e países da Europa estão investindo em construções com recursos renováveis, como forma da diminuição destes impactos ao meio ambiente.

Na América do Norte e Europa, países onde o clima é predominantemente frio, é muito comum nos depararmos com estruturas feitas totalmente de madeira, material rústico e de fácil acesso na natureza, podendo ser reutilizado e o principal: renovável e de baixo consumo energético (IPT, 2009). No entanto, no Brasil, país de clima quente e tropical, há muitas incertezas e inseguranças quanto ao uso da madeira em estruturas, muito pelo fato de ser um material sólido inflamável, com mais facilidade de incêndio quando comparada ao concreto.

No Brasil, há muitas espécies de madeiras utilizadas na construção, seja para construção de telhados, decks para piscinas, portas e janelas, formas para concreto, mas no que se refere à estrutura, podemos citar três principais espécies: Eucalipto, Pinho-do-Paraná e Cedrinho.

A verdade é que, a madeira, quando dimensionada e tratada de forma correta, pode trazer a mesma confiabilidade mecânica do concreto e, ainda, resistir melhor à incêndios.

Quando um elemento de madeira é exposto ao fogo, ocorre a carbonização de suas faces externas, diminuindo a seção da peça e, conseqüentemente, reduzindo a resistência mecânica (compressão e flexão), todavia, a área carbonizada é somente externa, sua seção interior ao redor do centro de gravidade, permanece intacto, fazendo com que em muitos casos a estrutura permaneça de pé (MARTINS, 2016).

Permeabilidade, condutibilidade térmica, espécie da madeira e, principalmente, teor de umidade e densidade da espécie, são fatores que influenciam diretamente no comportamento da peça de madeira quando exposta ao fogo. Além disso, tratamento com ignifugantes e isolamento térmico com gesso, podem fazer com que a absorção de calor pela madeira seja mais lenta, contribuindo para que haja evacuação de edifícios em casos de incêndio.

## 3 | METODOLOGIA

Após pesquisas realizadas sobre o tema, notou-se que não há um procedimento normatizado para ensaios de simulações de incêndio em madeira. Devido à importância deste conhecimento para a análise, os dados e experimentos utilizados como base na

elaboração deste artigo foram baseados em artigos nacionais, com métodos definidos por Copat (2014) e Oliveira (2012), e em artigos internacionais com dados e ensaios realizados por Laranjeira (2012) e Anastácio (2010).

Os resultados e discussões se dão através das análises e comparações elaboradas a partir dos dados obtidos nos ensaios realizados por estes autores, onde as informações são correlacionadas para que seja possível aproximar-se de uma conclusão em relação à eficácia do tratamento com ignifugantes em madeiras expostas ao incêndio.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando se trata de elementos de madeira, existem algumas preocupações referentes à estrutura da peça, como por exemplo:

- Preservação do material;
- Resistência ao incêndio;
- Acabamento superficial da peça;

Este artigo tem como objetivo analisar a eficácia de tratamentos voltados à redução dos impactos causados pela ação do incêndio na madeira.

No que se refere à tratamento contra incêndio, existem diversas técnicas e produtos utilizados a fim de garantir maior segurança e estabilidade da estrutura, como por exemplo a aplicação de produtos intumescentes e não intumescentes.

Segundo Anastácio (2010), um produto intumescente pode ser definido como um material reativo, ou seja, constitui-se como um material de proteção passiva contra o fogo que reage com o calor e atua só em caso de se produzir um incêndio. Sob a ação do calor de um incêndio reage, inchando e criando uma barreira de espuma isolante do fogo, com espessura de até 40 vezes a sua espessura original aplicada, impedindo assim que a madeira atinja a temperatura de ignição, promovendo a inibição da ação do fogo sobre o material protegido e garantindo assim a segurança contra incêndio procurada.

Quando se trata de produtos não intumescentes, conhecidos como ignifugantes, a proteção se dá pelo fato de que os gases liberados pela madeira em contato com o fogo, se tornam não inflamáveis devido à ação do material aplicado, baixando a temperatura do local e retardando o processo de ignição da madeira.

Sua aplicação é indicada para ambientes internos e ocorre na fase de acabamento da construção, onde é realizada através de pincéis, pulverizadores ou por equipamentos mecânicos, garantindo que atinja a espessura necessária (normalmente entre 200-300g/m<sup>2</sup>) para que o tratamento se torne eficaz.

De acordo com Anastácio (2010), a espessura resultante do rendimento acima indicado pode assegurar-nos uma estabilidade de temperatura do substrato à volta de 130° C, quando o sistema estiver submetido a aproximadamente 1000°C, durante um tempo de



90 minutos.

A proteção da madeira com ignifugantes, tende a se degradar ao longo do tempo, salvo informação contrária por parte do fabricante.

A madeira ignifugada, normalmente, é mais sensível à umidade e pode descolorar, também pode ser mais corrosiva e as suas propriedades mecânicas podem ser inferiores às da madeira sem tratar.

Afim de analisar a variação destas propriedades mecânicas da madeira comparando dados de peças com e sem tratamento com ignifugante, Copat (2014) utilizou – devido à inexistência de ensaios normatizados para análise de madeira em situações de incêndio – o método elaborado por Oliveira (2012), onde foram utilizados corpos de prova da espécie Cedrinho em uma simulação de incêndio de baixo risco. O experimento consistia em:

- a) Posicionamento do recipiente de aço de 50 x 40 x 5 cm de altura sobre o piso;
- b) Empilhamento da carga de incêndio sobre o recipiente de aço;
- c) Colocação da grelha com os corpos de prova a 75 cm do piso;
- d) Posicionamento dos termopares na cobertura, corpos de prova e carga de incêndio;
- e) Disposição de 1 litro de combustível de ignição no recipiente metálico, e posterior ignição;
- f) No instante da ignição, inicia-se a cronometragem para obter o tempo de ensaio requerido;
- g) Ao atingir o tempo necessário para o ensaio (2,5; 5,0; 7,0; 10,0; 12,5; 15,0; 17,5 e 20 minutos), extingue-se o incêndio;
- h) Repetição dos ensaios listados, com diferentes corpos de prova, nova carga de incêndio e diferentes tempos de exposição;
- i) Rompimento dos corpos de prova;
- j) Análise dos resultados dos ensaios de flexão e compressão paralela às fibras, calculando-se em seguida as resistências características;

Após a realização dos procedimentos, foram registradas as cargas fornecidas pela prensa e convertidas em resistência característica com base na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a, p.48), para que, dessa forma, fosse possível comparar os dados dos ensaios de flexão e compressão paralelamente às fibras da madeira com e sem tratamento, onde foram obtidos os seguintes valores expostos nas Figuras 2 e 3, respectivamente:

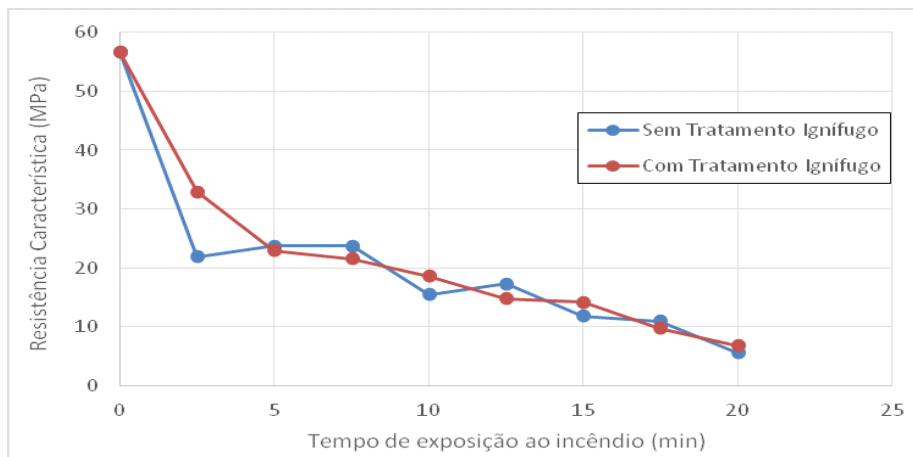


Figura 2 – Comparação da resistência à flexão das amostras com e sem tratamento ignífugo

Fonte: Copat (2014, p. 64)

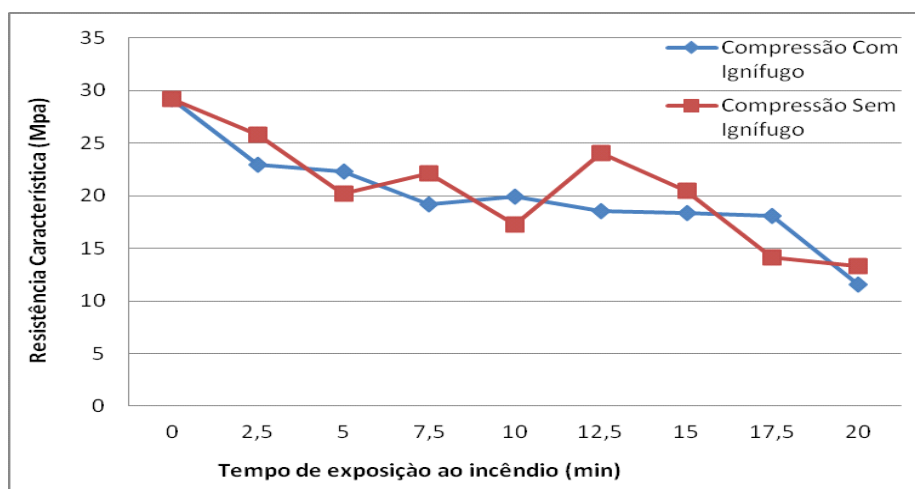


Figura 3 – Comparação das resistências à compressão das amostras com e sem tratamento ignífugo

Fonte: Copat (2014, p. 61)

Analisando os dois gráficos, notou-se que não há um padrão de comportamento para as amostras, considerando que, em alguns momentos, as amostras da madeira tratada obtiveram resultados superiores às amostras não tratadas, porém, em outros momentos, a situação foi inversa.

É importante destacar que, no ensaio à flexão, ambas as madeiras apresentaram padrões próximos e constantes quanto à perda de resistência mecânica em função do

tempo de exposição ao fogo. Já no ensaio de compressão, constatou-se que o tratamento com tinta ignífuga contribuiu para uma menor variabilidade dos resultados.

Copat (2014) esperava, como hipótese de sua pesquisa, que as amostras tratadas com tinta ignífuga apresentassem resistência característica 30% maior que as amostras não tratadas, porém, essa teoria só se confirmou no minuto 2,5 do ensaio de flexão, obtendo superioridade em cerca de 33%.

Os resultados obtidos por Copat, corroboram com a análise feita por Anastácio (2010), onde o mesmo afirma que o tratamento com tinta ignífuga não garante uma melhor resistência mecânica para a madeira exposta ao fogo.

Uma vez que evidenciada a suposta ineficácia da tinta ignífuga em relação ao ganho de resistência mecânica da madeira, optamos por verificar o comportamento da madeira tratada em relação à propagação de fogo e fumaça, com base na dissertação de Laranjeira (2012), da Universidade Técnica de Lisboa.

Para que fosse possível realizar essa análise, o autor elaborou ensaios com provetes de madeira da espécie *Pinus pinaster* sem tratamento (Amostra A) e comparou os valores com amostras tratadas com dois produtos não-intumescentes: um impregnante (Amostra B) e um verniz (Amostra C), obtendo os seguintes resultados:

Sistema de pintura	Propagação de chama (mm)				Tempo de ligação (s)	Tempo de extinção da chama (s)
	600 s	1200 s	1800 s	Máximo		
<b>A</b>	480	0	0	490	123	881
<b>B</b>	100	0	0	140	123	863
<b>C</b>	310	0	0	350	122	912

Tabela 1: Parâmetros de reação ao fogo avaliados no ensaio do painel radiante

Fonte: Adaptado de Laranjeira (2012, p. 67)

Sistema de pintura	Produção total de fumo (%.min)
<b>A</b>	57,93
<b>B</b>	25,46
<b>C</b>	52,48

Tabela 2: Parâmetros de avaliação do fumo no ensaio do painel radiante

Fonte: Adaptado de Laranjeira (2012, p. 68)

Sistema de pintura	Seção original (cm <sup>2</sup> )	Seção residual (cm <sup>2</sup> )					
		A (0 cm)	B (10 cm)	C (20 cm)	D (30 cm)	E (40 cm)	F (50 cm)
<b>A</b>	45,8	2,4	2,9	22,9	32,7	38,6	40,2
<b>B</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>C</b>	51,8	25,8	27,6	35,5	45,8	51,7	49,9

Tabela 3: Seções dos provetes da campanha, antes e após o ensaio do painel radiante

Fonte: Adaptado de Laranjeira (2012, p. 68)

Após analisar os resultados obtidos nos ensaios, notou-se que as amostras tratadas com impregnantes ignífugos (amostra B), obtiveram resultados superiores em comparação aos demais, onde foi possível constatar uma melhoria significativa deste tratamento em relação a propagação de fogo, fumaça e estabilidade de sua seção.

## 5 | CONCLUSÕES

De maneira geral, podemos concluir que a utilização da madeira na construção civil é satisfatória, levando em consideração suas diversas possibilidades de uso. Suas características intrínsecas ofuscam a maioria de suas deficiências, porém sua inflamabilidade ainda causa muita desconfiança.

O estudo vigente permitiu verificar a variação do comportamento da madeira dos tipos *Pinus pinaster* e Cedrinho mediante à exposição ao incêndio, quando as mesmas estão ou não submetidas ao tratamento ignífugo. A análise foi efetuada com base em dados obtidos em trabalhos acadêmicos de outros autores, que nos proporcionaram valores e resultados que podem ser comparados a fim de comprovar a eficiência do tratamento.

Através dos resultados e considerações encontrados nos materiais analisados, constatou-se que os tratamentos com tintas ignífugas, mesmo quando aplicado da maneira correta e com equipamentos específicos, não trazem uma melhora na resistência mecânica da madeira, visto que em todos os tempos de ensaio analisados, a madeira tratada apresentou resultados superiores apenas em um instante. No entanto, quando falamos de resistência ao fogo (tempo de combustão, propagação da chama e propagação da fumaça), as peças tratadas apresentam uma vantagem em relação às peças não tratadas, porém, percebe-se que existem tratamentos mais úteis que outros. Neste caso, o impregnante ignífugo (Amostra B) apresentou resultados melhores que o verniz (Amostra C).

Contudo, devemos reforçar que os artigos usados como referência possuem inúmeras limitações, como o fato de ter sido utilizado apenas as madeiras das espécies

*Pinus pinaster* e Cedrinho, deixando em aberto a possibilidade de outras espécies apresentarem resultados divergentes a estes. Além disso, a inexistência de um ensaio normatizado com tratamentos ignífugos dentro da NBR 7190 e da NBR 14432, dificulta a análise dos resultados.

Conclui-se, desta forma, que apesar de o tratamento com ignífugante não se mostrar vantajoso para garantir uma maior resistência mecânica da madeira, sua utilização retarda o desgaste de suas seções pelo fato de proporcionar uma menor propagação de fogo e fumaça, permitindo assim que, em edificações com estruturas ou grandes concentrações de madeira, a segurança da mesma e dos residentes não seja comprometida de imediato, uma vez que o tempo de evacuação se torna maior.

## REFERÊNCIAS

ANASTÁCIO, R. S. A. **Especificação de Proteção Fogo para Estruturas de Madeira**. Universidade do Porto, Portugal. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: projeto de estruturas de madeira**. ABNT, Rio de Janeiro. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações**. ABNT, Rio de Janeiro. 2001.

BARREIRA, L.; FONSECA, E. **Cálculo da espessura carbonizada em estruturas de madeira quando submetidas à ação do fogo**. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. Portugal. 2008.

CARRASCO, E. V. M. et al. **Análise Numérica da Transferência de Calor em Madeiras Brasileiras em Situação de Incêndio**. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.

COPAT, G. P. **Madeira Tratada com Ignífugos: análise da resistência mecânica após exposição ao fogo**. 72f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

FIGUEROA, Manuel. J. Manriquez; MORAES, Poliana Dias de. **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas**. UFRGS, Porto Alegre. 2009.

GALDINO, Danilo Soares. **Análise das Propriedades da madeira de estrutura de telhado após a ocorrência de um incêndio**. UNESP, Itapeva. 2012.

GOUVEIA, P. J. V. **Resistência ao fogo de estruturas em madeira com e sem proteção**. : Instituto Técnico de Bragança, Bragança, Portugal. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

LARANJEIRA, J. P. S. **Reação ao Fogo da Madeira Antiga Protegida com Revestimentos Retardadores de Combustão**. Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 2012.

LEITÃO FILHO, H. F. **Considerações Sobre a Florística de Florestas Tropicais e Sub-Tropicais do Brasil**. UNICAMP - Instituto de Biologia, Campinas. 1987.

MANFRINATO, Maria E. **Estudo sobre o uso da madeira para fins estruturais e arquitetônicos**. 2015. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) UTFPR. Campo Mourão, 2015.

MARTINS, G. C. A. **Análise Numérica e Experimental de Vigas de Madeira Laminada Colada em Situação de Incêndio**. USP, São Carlos. 2016.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHHEIN, R. N. **Produção de Cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

MORAES MADY, F. T. **A condutividade térmica da madeira**. *REMADE - Revista da Madeira*, n. 112. 2008. Disponível em: <<https://diz.ae/zFliD>> Acesso em: 27 mar. 2020.

OLIVEIRA, K. **Resistência Mecânica da Madeira**: estudo da variação mediante ação do fogo, 2012. 59f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.

OZAKI, S. K.; IMAMURA, I.; SOUZA, M. F. **Efeitos do Tratamento da Madeira com Álcool Furfurílico combinado com Compostos de Boro**. USP, São Carlos. 1999.

## ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO LEVE COM RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Lucas Antônio Morais Oliveira

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6548658249216316>  
<https://orcid.org/0000-0003-0248-4814>

### Ingride Escaño

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/7465230447425964>

### Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8508902134177173>  
<https://orcid.org/0000-0001-6359-7674>

**RESUMO:** Um estudo experimental foi realizado na investigação de dosagens de concreto com agregados leves na produção de concretos leves com resistência adequadas para aplicações estruturais. Foram estudados o desempenho dos concretos produzidos no estado fresco com avaliação do índice de consistência através do *slump test* e análise do estado endurecido, com a avaliação da resistência à compressão de corpos

de prova cilíndricos, em diferentes idades. Um concreto convencional de agregado graúdo de natureza basáltica foi tomado como referencial comparativo, com mesmo consumo de cimento. No estudo, o uso de cimento de alta resistência inicial (CPV-ARI) teve um efeito mais significativo nos concretos convencionais. As análises trazem resultados satisfatórios, obtendo-se para o concreto leve *slump test* da ordem de 70 mm, com a utilização de aditivo polifuncional e a resistência mecânica à compressão média da ordem de 30 MPa. Dessa forma, o concreto produzido nesse estudo de dosagem permitiu obtenção de concretos leves de resistências adequadas a fins estruturais e uma redução significativa da ordem de 30% do peso próprio das peças de concreto estrutural comparativamente às de concreto de peso normal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dosagem de concreto, Agregado leve, Argila expandida, Concreto estrutural, Resistência mecânica à compressão.

### LIGHTWEIGHT CONCRETE MIX DESIGN FOR STRUCTURAL PURPOSES

**ABSTRACT:** An experimental study was carried out to investigate of concrete mix design process made with Brazilian lightweight aggregates in order to produce structural lightweight concretes. The performance of the concrete mix batches was analysed in the fresh and hardening condition. The first, it was made with slump test; the second, it was evaluated oh the compressive strength of cylindrical specimens, at different ages. A normal concrete with coarse basaltic aggregate was used as a comparative reference, using the same consumption of cement weight. In the test results,

the use of “high early strength cement” (CPV-ARI, in Brazil) had a more significant effect on normal concrete. The results of lightweight concrete are adequate, with the achievement of slump test of around 70 mm, using additive superplasticizer dosage. The evaluation of the compressive strength of concrete had resulted in the order of 30 MPa. Therefore, the lightweight concrete produced in this dosage process allowed the obtaining of adequate strengths for structural purposes and a significant decrease of the around 30% of self-weight of structural concrete elements compared to that normal concrete.

**KEYWORDS:** Concrete mix design, Lightweight aggregate, Expanded clay, Structural concrete, Compressive strength test.

## 1 | INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo devido a sua versatilidade, resistência à ação da água e ao fogo, facilidade de disponibilidade, resistência adequada à compressão, custo e compatibilidade mecânica com aços, formando o concreto estrutural. Composto basicamente por cimento, agregados e água, podendo ainda ser utilizados adições e aditivos. O concreto convencional possui elevada massa específica, em virtude principalmente pelo agregado gráudo natural, usualmente de origem basáltica, granítica ou calcária.

Nesse sentido, o concreto leve estrutural tem sido uma solução aceita na indústria da construção civil como solução alternativa ao concreto convencional. Ele oferece redução do peso do concreto que representa comumente uma parcela expressiva do peso total das edificações e pontes. Ele se caracteriza por possuir massa específica abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup>, massa específica relativamente reduzida quando comparado aos concretos convencionais, da ordem de 2400 kg/m<sup>3</sup>. Como requisito aos fins estruturais deve ainda possuir resistência à compressão de uma ordem de grandeza maior que 20 MPa.

A sua leveza é atingida pela incorporação de ar à mistura ou pela substituição dos agregados convencionais por agregados leves, que são a maior parcela do volume de concreto. Pela sua maior porosidade, os concretos leves usualmente tem menores resistência mecânicas quando comparados com os concretos convencionais, de peso normal. Os estudos mostram que a resistência do concreto leve é, de modo geral, inferior ao concreto convencional, além disso, o módulo de elasticidade apresenta diminuição quando comparado ao convencional.

No entanto, com os avanços tecnológicos, já se tem obtido concretos leves de mais alta resistência. Citam-se os trabalhos de Wilson e Malhotra (1988), Angelin (2014), Wu et al. (2015), Assunção (2016) e Cenrny, Kocianova e Drochytka (2017) que demonstram desenvolvimento e aplicação de concretos leves cuja resistência à compressão foi superior a 30 MPa, além de contornar os desafios relacionados à segregação e absorção de água pelos agregados.

Somado a isso, em virtude da diminuição da massa específica, este material permite



um decréscimo dos carregamentos devidos ao peso da estrutura, possibilitando economia com fôrmas e escoramentos, redução de custos com as fundações, além da diminuição dos custos de transporte e montagem de peças pré-moldadas (ROSSIGNOLO, 2009), utilizando-o na indústria de pré-fabricados, uma tendência do mercado. Além disso, em virtude da estrutura dos agregados leves, o concreto apresenta uma menor condutividade térmica. Dessa forma, o uso em fachadas e coberturas de edificações reduz a absorção de calor proveniente da luz solar, proporcionando maior conforto térmico e acústico.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e comparar traços de concreto leve produzidos com agregados leves do tipo argila expandida aos de concreto convencional de brita do tipo basalto, visando obter resistências adequadas aos fins estruturais, através da otimização da dosagem do concreto.

## 2 | REVISÃO DA LITERATURA

No entanto, tem-se visto que nacionalmente o uso do concreto leve ainda é muito voltado a usos não estruturais, como enchimentos, vedações. A possibilidade do estudo do concreto leve para fins estruturais vem colaborar com adequada otimização estrutural e sustentabilidade, merecendo destaque a divulgação para a sua disseminação a usos mais nobres desse material.

Há registros do uso do material no México desde 1100 a.C., bem como em Roma, por volta do ano de 120 d.C., com intuito de diminuir as cargas nas estruturas, utilizando aglomerante a base da cal e rochas de baixas densidades (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Há muitos registros do uso de concreto leve (ROSSIGNOLO, 2009) com aplicações em edifícios, pontes, coberturas, estádios e plataformas petrolíferas.

A produção de concretos leves estruturais é obtida pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves naturais ou beneficiados. Dentre os tipos de agregados leves mais encontrados na literatura estão: vermiculita, perlita, pedrapomes e lava porosa, argila, folhelho e ardósia expandidos volante sinterizada (NEVILLE, 2015).

Dado a disponibilidade no mercado nacional, a proposta de estudo abrange o agregado do tipo argila expandida em substituição total aos agregados graúdos. A argila expandida é obtida por aquecimento de argilas com características piro-expansivas em fornos rotativos em temperaturas em torno de 1100-1200°C. Nesse processo, uma parte do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outras parte, se decompõe quimicamente com liberação de gases que são então incorporados e envoltos nessa massa líquida sinterizada, expandindo-se em até sete vezes o seu volume inicial. Por meio desse processo, o agregado apresenta formato arredondado, com o centro esponjoso e uma camada vitrificada e impermeável ao redor, como destaca Rossignolo (2009).

Em virtude de sua baixa permeabilidade superficial, este material permite atingir

boa trabalhabilidade com baixas relações água/cimento. Porém, seu formato esférico favorece a segregação (Rossignolo, 2003). Estudos nesses aspectos visam ainda melhorar o emprego sem risco de segregação do material e facilitar sua produção.

As seguintes conclusões podem ser tiradas de um compilado sobre as principais informações sobre os cuidados na produção do concreto leve produzido com argila expandida, presentes na literatura:

- O concreto leve apresenta menor abatimento para uma mesma trabalhabilidade, visto a menor deformação devido à gravidade; um teor de argamassa da ordem mínima de 60% é indicado na garantia da trabalhabilidade;
- A cura do concreto pode ser feita da mesma maneira que concretos convencionais; a absorção interna favorece a cura interna, no entanto, Rossignolo (2009) cita que se a absorção for superior a 10% seja utilizada pré-saturação para garantir trabalhabilidade e água suficiente a hidratação.
- Moravia et al (2004) ao realizar micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura investigou a morfologia da argila expandida; trouxe os resultados das superfícies interna e externa, ampliadas em 300 e 1200 vezes, conforme Figura 1. Na superfície externa observa-se uma textura mais lisa e a superfície interna com porosidade elevada, decorrente do processo de fabricação e responsável pela elevada absorção de água;
- A resistência mecânica do agregado leve é menor, justificando a menor resistência diante concretos normais de mesmo consumo de cimento; é comum a ruptura do agregado no concreto leve, em vez da zona de transição;
- Uma série de trabalhos no Brasil investigaram concretos leves com argila expandida, como os trabalhos de Rossignolo e Oliveira (2006), Rossignolo (2009a, 2009b), Assunção (2016) e Santis (2012, 2018). Na literatura internacional vale citar os trabalhos recentes de Ardakani e Yazdani (2014), Rashad (2018), Lee et al. (2019), Ahmad e Chen (2019).

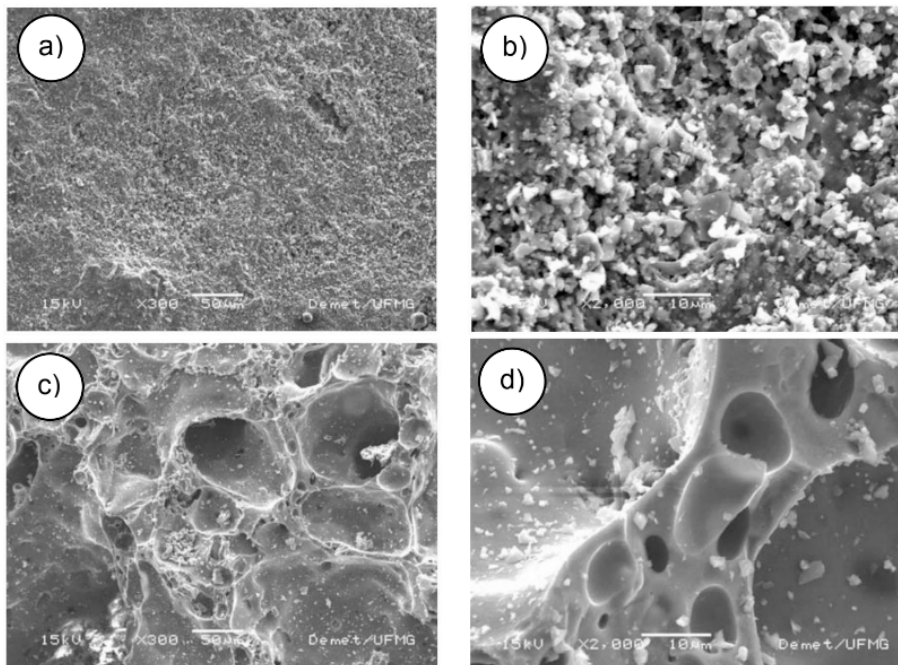


Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura da argila expandida (Moravia *et al.* 2004):  
*Superfície externa - ampliada em 300X (a) e em 1200 X (b);*  
*Superfície interna - ampliada em 300X (c) e em 1200 X (d).*

Diversas pesquisas têm sido feitas sobre dosagens, uso de diferentes agregados leves, comportamento mecânicos e térmicos e de durabilidade dos concretos leves. Esses trabalhos estudaram o uso de agregados leves para a produção de concretos leves estruturais, com argila expandida, cinzas volantes, uso da cenosferas, uso de metacaulim, além da influência do teor de ar incorporado e produção de concretos autoadensáveis. Os estudos analisaram o desempenho mecânico e a influência da microestrutura.

Dessa maneira, o estudo colabora na investigação de traços de concreto com utilização de agregados leves, utilizando adições minerais e aditivos químicos, conjuntamente ao método de dosagem experimental para a obtenção de concretos com o menor consumo de cimento e garantia de comportamento mecânico adequado. Portanto, ressalta-se o equilíbrio entre a baixa densidade e as características mecânicas como tarefa imprescindível para a aplicações vantajosas deste material às estruturas.

### 3 | MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Os estudos basearam na produção de três traços de concreto leve e de concreto convencional, a partir de um traço base, seguindo de otimização, utilizando análise experimental. Avaliaram-se o concreto fresco por meio do abatimento do tronco de cone

e os testes das propriedades mecânicas, com foco na resistência à compressão com vista à traços com dosagens mais eficientes. A otimização foi feita visando à aumento de resistência para mesmo consumo de cimento, diminuição da relação água/cimento e, concomitantemente a diminuição da massa específica do concreto de agregado leve.

Os materiais componentes dos concretos foram previamente pesados e separados, misturados na betoneira e moldados. Além disso, nos concretos produzidos com argila expandida, primeiramente foi adicionado o agregado graúdo na betoneira com parte da água, a fim de saturar a argila e, dessa forma, minimizar os efeitos da segregação e absorção de água do concreto pelo agregado. Foram moldados corpos de prova cilíndricos, curados sob condição úmida. Ensaio de resistência à compressão foram realizados aos 7, 14 e 28 dias, acompanhando o crescimento da resistência no tempo. A Figura 2 ilustra esquematicamente alguns passos experimentais.

Para cada traço produzido um lote de 3 exemplares foi moldado. Esse estudo de dosagem de concreto leve, utilizou a argila expandida como substituta total ao agregado graúdo e sílica ativa como adição de 10% massa do cimento. A areia foi composta de 40% e 60% para fina e grossa, respectivamente. O traço 2 difere do traço 3, no uso do cimento CPV-ARI. A Tabela 1 e 2 traz os traços testados do concreto leve e concreto convencional, respectivamente avaliados.

Traço:	Cimento (kg)	Sílica (kg)	Areia fina (kg)	Areia Grossa (kg)	Argila 1506 (kg)	Argila 0500 (kg)	Água (L)	Aditivo Polifunc. (ml)
<b>Traço 1</b>	365 <sup>1</sup>	40	460	460	280	70	210	1200
<b>Traço 2</b>	400 <sup>1</sup>	40	340	510	256	64	215	600
<b>Traço 3</b>	400 <sup>2</sup>	40	340	510	256	64	180	400

Tabela 1 – Dosagem do concreto leve – produção de 1m³.

Traço:	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia Grossa (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	Aditivo Polifunc. (ml)
<b>Traço 1</b>	365 <sup>1</sup>	0	968	1032	187	1200
<b>Traço 2</b>	400 <sup>1</sup>	327	490	1080	180	600
<b>Traço 3</b>	400 <sup>2</sup>	327	490	1080	187	600

Tabela 2 – Dosagem do concreto convencional (normal) – produção de 1m³

Obs.: Tipo de cimento: (1) Cimento CPII-E-32; (2) Cimento CPV-ARI.

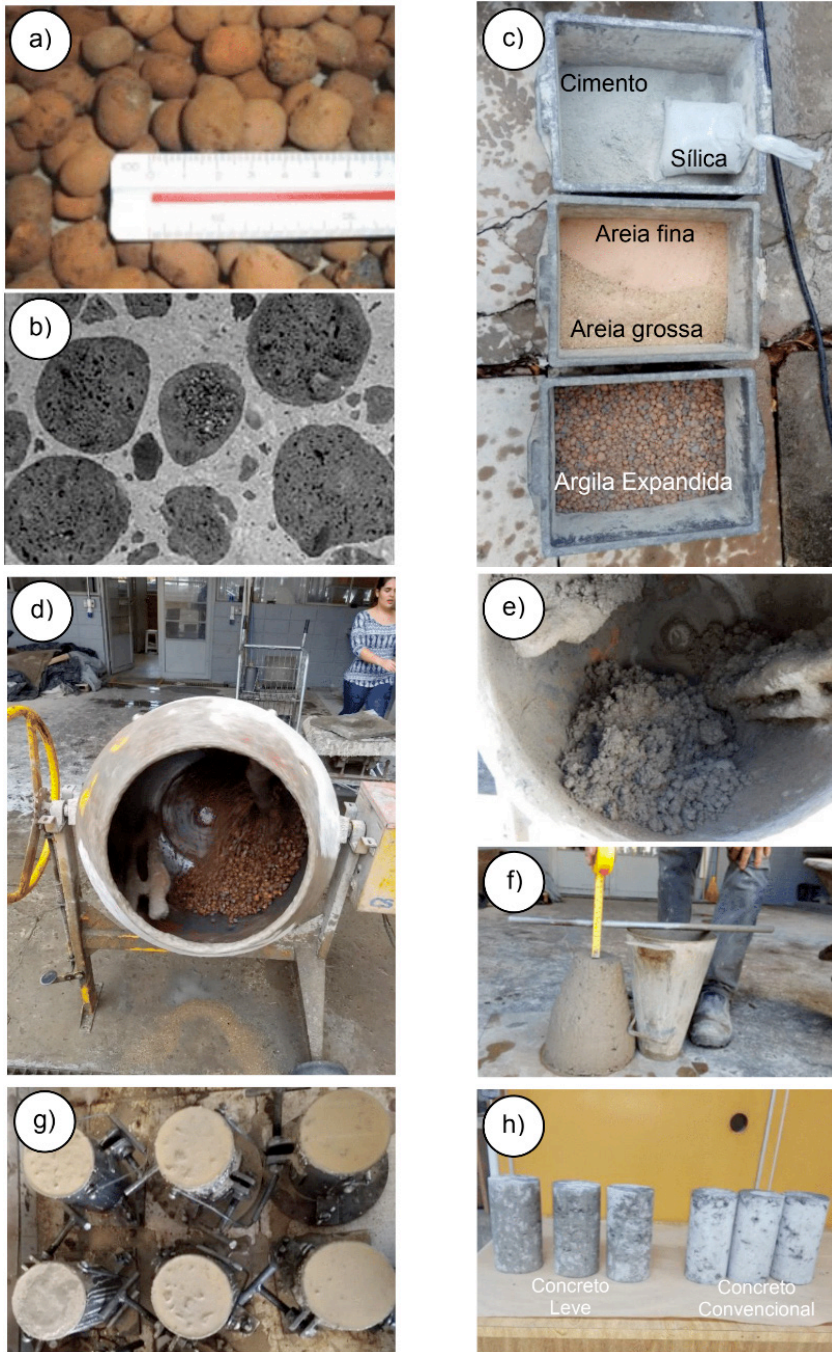


Figura 2 - Produção e dosagem de concreto leve: a) Argila expandida; b) Estrutura interna do concreto leve com argila expandida; c) Materiais da composição do traço; d) pré-umidificação da argila na betoneira; e) mistura do concreto leve; f) consistência do concreto através do *slump test*; g) moldagem dos corpos de prova; g) corpos de prova desmoldados preparados para o ensaio de resistência à compressão.



## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O concreto no estado fresco e no estado endurecido foram analisados. A Tabela 3 apresenta os resultados do índice de consistência na avaliação da trabalhabilidade através do *slump test*. A resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos mensurou o desempenho mecânico no estado endurecido de cada traço. As Tabelas 4 e 5 mostram os resultados da dosagem e melhoria dos traços na resistência à compressão e massa específica dos concretos leve e convencional, respectivamente.

Consistência ( <i>slump test</i> )	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Concreto Leve	210	75	55
Concreto Convencional	140	130	60

Tabela 3 – Índice de consistência (*Slump test*), em milímetros.

Idade (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)
7	1757	21,57	1760	26,41	1765	27,60
14	1720	19,19	1747	28,56	1793 <sup>(1)</sup>	31,19 <sup>(1)</sup>
28	1740	24,79				

Tabela 4 - Resistência à Compressão - Concreto Leve.

Idade (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)
7	2540	21,57	2520	26,59	2487	41,34
14	2544	20,38	2514	34,10	2490 <sup>(1)</sup>	48,84 <sup>(1)</sup>
28	2553	22,08				

Tabela 5 - Resistência à Compressão - Concreto Convencional.

Obs.: (1) Idade de avaliação de 320 dias - programa experimental interrompido pela pandemia.

O traço 1 de concreto leve e convencional apresentaram indícios de segregação dos agregados, dado principalmente o consumo elevado do aditivo polifuncional, tornando o argamassamento do concreto leve propício à exsudação. Como solução aos traços sucessivos, realizou-se o aumento do consumo de cimento e do teor de argamassa,

somado ao controle do uso dos aditivos e de combinação binária dos agregados miúdos (areias naturais).

Os concretos apresentaram coesão e consistências adequadas para as dosagens dos concretos nos traços 2 e 3. Observa-se para os dois primeiros traços, uma diferença significativa entre os resultados do *slump test* para o concreto leve o convencional, justificada sobremaneira pela menor densidade do agregado leve, associada ao consumo do aditivo polifuncional que acarretou maior plasticidade à massa de concreto convencional de agregado natural basáltico. No traço 3, com o uso do CPV-ARI essa diferença não ocorreu.

No traço 2 do concreto convencional, dado o maior consumo de cimento e melhor proporção do argamassamento, diante o traço 1, trouxe adequada consistência à massa do concreto. O traço 3 de ambos os concretos apresentam resultados de consistência similares. Não foram observados os fenômenos de exsudação e segregação dos agregados leves em estudo, principalmente nos traço 2 e 3, otimizados com base nos resultados do traço 1 de partida.

Sobre o desempenho no estado endurecido dos corpos de prova com a avaliação da resistência à compressão, o traço 1 de ambos concretos apresentaram resultados similares. Observa-se que no segundo traço (traço 2), aos 7 dias, a resistência à compressão foi praticamente a mesma para ambos. Para esse mesmo traço, não se observaram diferenças entre a evolução das resistências para os 14 e 28 dias. Na idade de 28 dias, o concreto convencional apresentou um desempenho superior, da ordem de 20% sobre o concreto leve do traço analisado.

Para o traço 3 elaborado, com o destaque da mudança no tipo de cimento usado em comparação ao traço 2, usando CPV-ARI em vez de CII-E-32, os resultados são realçados. Observa-se para o concreto leve um pequeno aumento para a idade de 7 dias, e um aumento um pouco maior relativamente ao traço 2, da ordem de 10%, na idade avaliada de 28 para 320 dias, respectivamente. Para o traço de concreto convencional, observa-se um aumento expressivo da resistência à compressão. Na idade de 7 dias, apresentou aumento da ordem de 55% na resistência à compressão. Para a comparação com a idade de 28 (traço 2) com a idade de 320 dias (traço 3 – concreto convencional), obtem-se um aumento de desempenho à compressão em torno de 43%.

No traço 3, o concreto leve teve resistência à compressão ligeiramente aumentada da idade de 7 para 320 dias, da ordem de 13%. Para o concreto convencional a evolução da resistência teve acréscimo de 18%. A avaliação comparativa entre os traços 3 dos concreto leve e convencional para as idade de 7 e 320 dias mostram expressivas diferenças, em relação ao traço 2. Sublinha-se o ganho expressivo de resistência do concreto convencional com a alteração do cimento de alta resistência inicial para o traço 3.

Enquanto no traço 2 os dois concretos (leve e convencional) apresentam desempenho relativamente semelhantes; no traço 3, o concreto de agregado graúdo leve

teve sua resistência à compressão menor de 50% e 56%, para as idades avaliadas de 7 e 320 dias, nessa ordem, em comparação como concreto convencional. Dessa forma, o cimento de alta resistência inicial (CPV-ARI) teve maior impacto e alteração sobre o desempenho do concreto convencional.

Sobre o aspecto da ruptura dos corpos de provas após o ensaio de compressão, ocorreram de maneira diferente, conforme mostra a Figura 3. No concreto convencional a ruptura ocorre na matriz, enquanto no concreto leve é possível observar a linha de fratura atravessar o agregado graúdo de argila expandida.

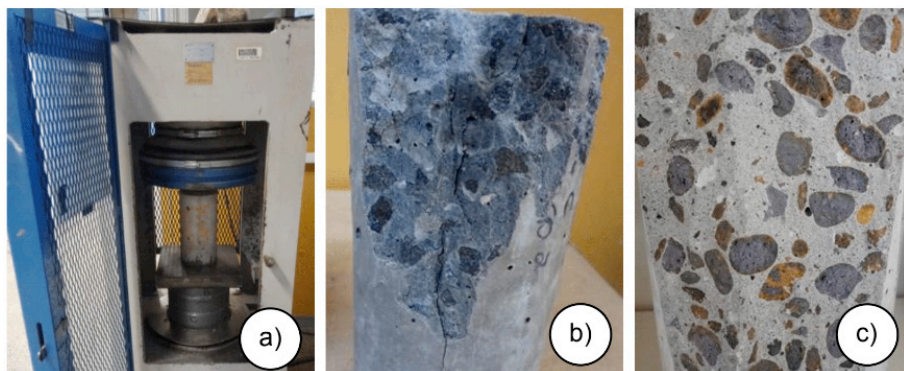


Figura 3 – a) Corpo de prova no ensaio à compressão; fratura dos corpos de prova pós-ensaios: b) concreto convencional; e, c) concreto leve.

No concreto convencional, a ruptura ocorre devido à diferença entre as deformações dos agregados e da pasta de cimento, dado que o agregado (brita basáltica) possui um módulo de deformação maior que o da argamassa e ser mais resistente. Dessa forma, a ruptura se inicia na zona de transição, resultando em uma linha de fratura ao redor do agregado (Fig. 3 b), sendo a argamassa e a zona de transição pasta-agregado o ponto limitante no valor de resistência à compressão.

A resistência mecânica dos concretos com agregados leves, é mais eficiente na argamassa devido à similaridade entre os valores do módulo de deformação do agregado e da argamassa e da melhor qualidade da zona de transição pasta-agregado, conforme indica Rossignolo (2003). Dessa forma, a ruptura no concreto leve ocorre devido ao colapso da argamassa, e a linha fratura atravessa os agregados (Fig. 3c). Desse efeito, permite-se correlacionar o desempenho observado do efeito pouco expressivo do cimento CPV-ARI, do traço 3 em relação ao traço 2, dado que mesmo com o aumento de resistência da argamassa, esta não contribui proporcionalmente ao aumento da resistência do concreto leve, como destaca Rossignolo (2009).

O ponto principal de destaque foi que o concreto leve apresentou uma redução



da ordem de 30% na massa específica, em relação ao concreto convencional. De fato, a argila expandida apresenta massa unitária de  $600 \text{ kg/m}^3$  comparado com massa unitárias de britas da ordem de  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Desse modo, o concreto produzido através desse estudo de dosagem permite obtenção de concretos leves de resistências adequadas a fins estruturais e permitem uma redução significativa do peso próprio das peças de concreto estrutural.

## 5 I CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios experimentais desenvolvidos conjuntamente com a revisão técnico-bibliográfica permitem discutir sobre os principais pontos relevantes sobre os cuidados e dosagens do concreto leve para fins estruturais, que podem ser destacados:

- O uso do agregado leve, argila expandida, apresenta alta porosidade em relação aos agregados convencionais, o que acarreta maior absorção de água. Quando não considerada pode ser prejudicial ao concreto, comprometendo a trabalhabilidade e cura; como solução, orienta-se a saturação do agregado, com uma pré-umidificação ou correção do teor de água utilizada na dosagem do concreto;
- O agregado leve tem uma boa aderência com a pasta de cimento, devido à textura áspera da superfície. Essa interface, pode ser melhorada com o tempo, com a hidratação dos compostos decorrente do fornecimento da água absorvida pelo agregado no instante da mistura; na redução da espessura da zona de transição pasta-agregado, melhora-se o desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos leves;
- A superfície interna da argila expandida apresenta uma textura mais rugosa que a superfície externa, apresentando poros não interligados, fato este importante no quesito da não penetração de agentes agressivos;
- A realização da combinação granulometria adequada de diferentes tamanhos de agregados leves corresponderá à granulometria mais adequada na otimização do traço do concreto;
- Adições minerais como sílica ativa e o aumento da porcentagem de argamassa (cimento + área + água) auxiliam no equilíbrio da dosagem, evitando exsudação e segregação do concreto leve; a sílica devido à sua atividade pozolânica, proporciona um arranjo microestrutural mais denso com redução da espessura da zona de transição;
- O uso do cimento CPV-ARI mostrou maior influência no aumento de resistência do concreto convencional do que no leve. Tal justificativa foi associada principalmente ao fato de que o aumento de resistência da argamassa não está associada diretamente à resistência do concreto leve, dado que a fratura deste

ocorre com fratura do agregado;

- Os resultados dos ensaios realizados em escala laboratorial, indicam que os concretos podem ser replicados às empresas do setor da construção civil e, como ponto de partida para engenheiros e construtores na obtenção de concretos leves estruturais de melhor qualidade;
- O agregado é o ponto fraco da dosagem. Enquanto no concreto convencional a matriz acaba por ser a mais fraca, no concreto leve, observou-se ruptura do agregado. Logo, a busca por agregados leves mais resistentes é também indicada para próximos trabalhos.
- Em termos de pesquisas aplicando concreto leve, há um número ainda significativo, com resistências à compressão médias da ordem comum de 20-30 MPa. Em contrapartida, há trabalhos com resistência mais elevadas usando argila expandida, como Rossignolo et al. (2003) e Valente (2007), este com aplicação em vigas mistas de aço e concreto leve.

Por fim, o estudo subsidia projetistas na alternativa do uso desse concreto a nível nacional, com adequadas vantagens destacadas por Rossignolo (2009) e confirmado por Nadh e Muthumani (2017). Os resultados mostraram redução significativa do peso próprio e adequada resistência à compressão para fins estruturais.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq) (N° 158096/2020-7), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (N° 2019/03513-5). Agradecimentos à Cinexpan pelo fornecimento de argila expandida, à Holcim Cimentos e à GCP *Applied Technologies* pelo fornecimento de aditivo polifuncional.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, M. R.; CHEN, B. Experimental research of the performance of lightweight concrete containing foam and expanded clay aggregate. **Composites Part B**. v. 171, p. 46-60, 2019.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. 2014.126p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2014.

ARDAKANI, A.; YAZDANI, M. The relation between particle density and static elastic modulus of lightweight expanded clay aggregates. **Applied Clay Science**. 93-94: 28-34, 2014.

ASSUNÇÃO, J. W. **Concreto Leve Autoadensável – Avaliação da influência da argila expandida no processo de dosagem e nas propriedades do concreto**. 2016. 256p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2016.

CERNY, V.; KOCIANOVA, M.; DROCHYTKA, R. Possibilities of lightweight high strength concrete production from fly ash aggregate. **Procedia Engineering**. v. 195, p. 9-16, 2017.

LEE, K.; YANG, K.; MUN, J; KWON, S. Mechanical properties of concrete made from different expanded lightweight aggregates. **ACI Materials Journal**. v. 116 (2), p. 9-19, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**, 2ª Ed. IBRACON, 2014.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S; VASCONCELOS, W. L.; GUMIERI, A. G. Caracterização microestrutural de argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. In: Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society, Curitiba, 2004.

NADH, V. S.; MUTHUMANI, K. Critical Review on Structural Lightweight Concrete. **International Journal of Civil Engineering and Technology**. v.8, n.2, p 252-263, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5 ed. Bookman: 2015.

RASHAD, A. M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – an overview. **Construction Buildings and Materials**. v. 170, p. 757-775, 2018.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural: Produção, Propriedades, Microestrutura e Aplicações**. São Paulo: PINI, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, 2009b.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. 2005. 211p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Internidades – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A.; OLIVEIRA, I. L. Concreto leve estrutural com Metacaulim. **Minerva (Pesquisa e Tecnologia)**. v.3 (2), p. 17-187, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C.; MORAIS, J. A. Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. **Cement and Concrete Composites**. v. 25, p. 77-82, 2003.

SANTIS, B. C. **Agregado leve de argila calcinada para uso em concreto estrutural: viabilidade de cerâmica vermelha do Estado de São Paulo**. 2012. 132p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2012.

SANTIS, B. C. **Concretos leves com agregados inovadores de argila vermelha calcinada e subprodutos agroindustriais**. 2016. 110p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

VALENTE, M. I. B. **Estudo Experimental de Sistemas de Conexão para Pontes Mistas de Aço e Betão Leve**. 2007. 427p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho. Portugal, 2007.

WILSON, H. S.; MALHOTRA, V. M. Development of high strength lightweight concrete for structural applications. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**. v. 10, n.2, p. 79-90, 1988.

WU, Y.; WANG, J. Y.; MONTEIRO, P. J. M.; ZHANG, M. H. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings. **Construction and Buildings Materials**. v. 87, p. 100-112, 2015.

## INVESTIGAÇÃO DE REQUISITOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

*Data de aceite: 01/04/2021*

### **Rayza Beatriz Rosa Araújo**

Instituto Federal de Educação, Ciências e  
Tecnologia da Paraíba – IFPB  
João Pessoa – Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/1119543706071928>

### **Walter Ladislau de Barros Ribeiro**

Instituto Federal de Educação, Ciências e  
Tecnologia da Paraíba – IFPB  
João Pessoa – Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/6434184874789966>

**RESUMO:** A construção civil está sempre em constante mudança, novos métodos, ferramentas e sistemas construtivos são criados e, dentre inúmeros avanços diários neste âmbito, a alvenaria estrutural surge como um novo método construtivo. Apesar de ter sido utilizada nas civilizações antigas, hoje, a alvenaria estrutural passou por mudanças que não estão sendo acompanhadas por construtores. Com isto, é imprescindível investigar os requisitos mínimos para execução desta alvenaria, haja vista que alguns erros recorrentes estão ocorrendo. Se faz necessário conhecer estes requisitos, pois sem eles a execução pode perder sua qualidade e, além de afetar o andamento da obra, afetará a qualidade de vida dos futuros compradores do empreendimento, trazendo-lhes consequências por falta de preparo e/ou responsabilidade por parte dos construtores. Desta forma, este trabalho procurou fazer inicialmente uma investigação bibliográfica nos livros e normas acerca do

assunto, com os requisitos mais relevantes e, posteriormente, foi feito um levantamento de campo em 10 obras no município de João Pessoa-PB para responder a hipótese que o norteia: se essas obras estão cometendo erros e, caso haja, se é por falta de conhecimento dos requisitos necessários para executar, por má postura ou ambos. Também procurou-se saber se as normas tratam deste assunto de forma específica ou genérica e as consequências relacionadas a estes erros. Para tanto, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, exploratória, descritiva, explicativa e quanti-qualitativa, pois, foi possível obter os resultados necessários para responder a hipótese acima levantada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alvenaria Estrutural. Requisitos. Execução. Erros.

### INVESTIGATION OF REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL MASONRY

**ABSTRACT:** Civil construction is constantly changing, new construction methods, tools and systems are created and, among countless daily advances in this area, structural masonry emerges as a new construction method. Despite being used in ancient civilizations, nowadays, structural masonry has undergone changes that are not being accompanied by builders. With this, it is essential to investigate the minimum requirements for the execution of this form of masonry, given that some recurring errors keep occurring. It is necessary to know these requirements, because without them the execution can lose its quality and, in addition to affecting the progress of the work, it will affect the

quality of life of the future buyers of the enterprise, bringing consequences due to the lack of preparation and / or responsibility of the builders. Therefore, this work initially sought to do a bibliographic investigation in books and standards on the subject, with the most relevant requirements and, subsequently, a field survey was carried out in 10 working sites in the city of João Pessoa-PB to answer the hypothesis that guides: if these construction sites are making mistakes and, supposing that they are, whether it is due to lack of knowledge of the necessary requirements to perform, bad behavior or both. We also tried to find out if the technical standards deal with this subject in a specific or generic way and the consequences related to these errors. For this, it is a bibliographic, exploratory, descriptive, explanatory and quantitative-qualitative research, since it was possible to obtain the necessary results to answer the aforementioned hypothesis.

**KEYWORDS:** Structural Masonry. Requirements. Execution. Errors.

## 1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é uma indústria que vem sofrendo diversas mudanças com o passar do tempo, bem como tendo avanços tecnológicos significativos. Novos métodos construtivos foram surgindo, tecnologias implantadas e materiais desenvolvidos com o objetivo de proporcionar maior durabilidade e custo-benefício. Um exemplo deste avanço da construção civil é a alvenaria estrutural, um dos métodos construtivos que está sendo largamente utilizado no Brasil e, por isso, vem recebendo bastante atenção. Dentre suas vantagens, destacam-se a redução do tempo de execução, economia decorrente da racionalização e diminuição na utilização de concreto armado.

Assim como os demais métodos construtivos, a alvenaria estrutural também é executada mediante as normas vigentes. Como resultado, muitas obras passam por alguns problemas no seu método construtivo, sendo reparadas de forma empírica na própria obra. Logo, percebe-se o quanto é necessário se inteirar acerca dos requisitos mínimos para iniciar qualquer obra com alvenaria estrutural. Sendo os erros mais recorrentes devido à falta deste conhecimento, a utilização de mão-de-obra não especializada, materiais sem qualidade e/ou usados erroneamente, e falta de profissional habilitado no acompanhamento da obra.

Portanto, faz-se necessário aprofundar-se e investigar quais são os requisitos mínimos necessários para iniciar uma obra de alvenaria estrutural, a fim de eliminar ou minimizar os problemas que ocorrem por falta de conhecimento desta tecnologia.

Para tanto, será realizado uma sucinta análise das normas que regem a execução da alvenaria estrutural e dos conceitos e concepções de especialistas sobre o assunto, além de investigar os requisitos e métodos construtivos imprescindíveis para sua utilização, comparando-os com o que realmente ocorre, fazendo levantamento *in loco* nas próprias obras do entorno de João Pessoa-PB, bem como elencar os métodos, os materiais desta tecnologia. Ademais, procurar respostas para os erros que vêm ocorrendo, se é por

desconhecimento, má postura ou ambos.

## 2 | ALVENARIA ESTRUTURAL

Chamamos de alvenaria o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso (TAUIL e NESE, 2010). A qual tem como função vedar espaços, resistir às cargas atuantes como seu peso próprio, além de proteger contra o fogo, intempéries, servir de abrigo, isolar acusticamente e promover a manutenção do conforto térmico dos ambientes.

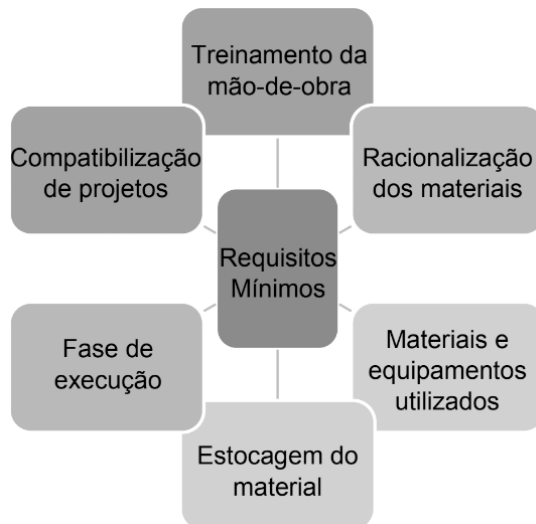
A alvenaria estrutural é um dos tipos de alvenaria que trabalha de forma um tanto quanto diferente da alvenaria de vedação. Enquanto esta tem como função delimitar ambientes, vedando-os, fazendo parte da chamada construção convencional, trabalhando com vigas e pilares, aquela não utiliza vigas e pilares, decorrentes do fato de que as paredes, as quais são chamadas de portantes, já cumprem a função estrutural da edificação, sendo, portanto, condicionada a remoção de qualquer parede.

Assim como qualquer outro sistema construtivo, a alvenaria estrutural também precisa seguir alguns requisitos para cumprir adequadamente as funções para a qual é projetada, dimensionada e executada.

Da mesma forma que se dimensionam estruturas de concreto armado, a alvenaria estrutural também deve ser dimensionada empregando modelos matemáticos que simulem o comportamento físico e a segurança das estruturas, a fim de prever seu grau de falência. Além do mais, assim como nas estruturas de concreto armado, os materiais, os processos e métodos construtivos e a metodologia de controle tecnológico devem ser estabelecidos a rigor. Entretanto, estes requisitos não estão sendo cumpridos como ressalta Sabbatini (2002, p. 6):

Ocorre que, infelizmente, no Brasil, estes preceitos não têm sido utilizados corretamente e milhares de edifícios têm sido construídos nos últimos 20 anos, utilizando a parede de alvenaria como único elemento estrutural, com níveis de segurança absurdamente perigosos. Os recentes desmoronamentos de prédios na Região de Recife, são apenas um reflexo de uma situação calamitosa.

Visando, então, investigar quais os requisitos mínimos para execução em alvenaria estrutural, a seguir têm-se os tópicos imprescindíveis que devem ser atendidos, tanto na fase de projeto, quanto na fase de execução da obra. Porém, vale ressaltar que estes requisitos são apenas alguns de vários outros para execução desta tecnologia, os quais foram estabelecidos com base nas pesquisas realizadas sobre o assunto.



Fluxograma 01: Requisitos mínimos para construção em alvenaria estrutural

Fonte: Autoria própria

## 3 | OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo Geral

Investigar os requisitos mínimos antes de iniciar uma construção utilizando alvenaria estrutural e realizar uma abordagem sobre o sistema de alvenaria estrutural envolvendo uma investigação de requisitos em obras na cidade de João Pessoa/PB.

### 3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma breve revisão bibliográfica do sistema construtivo em alvenaria estrutural;
- Apresentar os requisitos exigidos nas normas para execução deste sistema construtivo;
- Elencar os materiais e métodos empregados para execução de obras em alvenaria estrutural;
- Fazer um levantamento de campo em 10 obras no município de João Pessoa-PB;
- Pesquisar as possíveis não-conformidades da utilização incorreta de materiais e métodos.



## 4 | METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho consiste em fazer uma investigação de como as normas e especialistas tratam os procedimentos que devem ser adotados para iniciar uma construção utilizando alvenaria estrutural. Logo, esta pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, por fazer o levantamento e seleção das informações mais pertinentes acerca da pesquisa em teses, livros e trabalhos científicos.

Para obter uma melhor avaliação se os requisitos que especialistas afirmam ser imprescindíveis estão sendo empregados, será feito um levantamento de campo, adotando método baseado em questionário com 20 perguntas, a serem respondidas de forma clara e sucinta, apenas com “sim” ou “não”, as quais foram pensadas e elaboradas baseadas em linguagem de fácil entendimento para poder abranger todas as esferas da construção, pois partiu-se do pressuposto que podem haver obras sem a presença de um responsável habilitado. Com isso, serão escolhidas 10 obras no entorno de João Pessoa-PB que estejam construindo com alvenaria estrutural e, vale a ressalva que todas serão analisadas na fase anterior ao reboco.

Além do mais, esta pesquisa classifica-se como exploratória por buscar os requisitos mínimos e torná-los mais explícitos; descritiva por descrever as características desses requisitos mínimos que precisam ter empregados nas obras as quais foram feitas o levantamento de campo; e também consiste em ser uma pesquisa explicativa por identificar os fatores que contribuem para não-utilização ou utilização inadequada da alvenaria estrutural. Quanto à abordagem esta pesquisa classifica-se como quanti-qualitativa por coletar dados quantitativos por meio do questionário aplicado nas 10 obras, e com esta coleta será elaborada a análise dos dados com base na importância e consequências da não-utilização dos métodos imprescindíveis para construção em alvenaria estrutural.

## 5 | RESULTADOS

Para maiores comprovações dos erros que há entre várias obras que utilizam alvenaria estrutural, e que esses erros podem acarretar em patologias futuras na edificação, podendo assim comprometer sua utilização (conforto, estética...) bem como sua vida útil (durabilidade), além da segurança dos possíveis moradores que também fica comprometida, haja vista que a população a cada dia aumenta e, conseqüentemente, a busca por moradia também, tem-se a seguir os gráficos e imagens relacionado as 10 obras visitadas, comparando entre seus erros e acertos.



Gráfico 01: Atendimento aos requisitos propostos

Fonte: Autoria própria

Sendo assim, pode-se perceber o erro e o acerto mais recorrente nas obras visitadas: a quebra dos blocos para fazê-los de compensadores e meio bloco e o grauteamento dos blocos (por mais que seja falho em algumas obras).



Figura 01: Acertos e erros nas obras

Fonte: Autoria própria

De maneira mais fracionada, tem-se a seguir os principais requisitos analisados nas 10 obras visitadas no município de João Pessoa-PB.

O primeiro requisito analisado foi o grauteamento e felizmente em todas as obras foi atendido este requisito, apesar da maioria não utilizar os traços referentes ao graute e sim o mesmo que fazem a concretagem da laje.



Gráfico 02: Grauteamento

Fonte: Autoria própria



Figura 02: Pontos de graute

Fonte: Autoria própria

Com relação ao recorte de janelas para inspeção do lançamento do graute em toda a extensão do furo, quase todas as obras cumpriram com este papel, porém, outras nem se quer sabiam que deveriam limpar e, conseqüentemente, fazer este recorte.

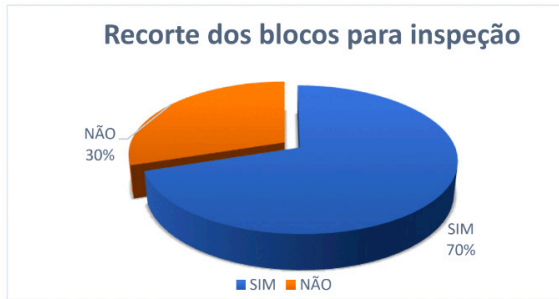


Gráfico 03: Recorte dos blocos para inspeção

Fonte: Autorial própria



Figura 03: Sem janelas de inspeção

Fonte: Autorial própria

Sem dúvidas, o maior erro da maioria das obras é rasgar a parede portante para fazer a passagem de eletrodutos. Infelizmente, em todas as obras que havia este erro, todos eram cientes que esta prática é inadequada em se tratando da alvenaria estrutural, mas, ela variava de obra para obra. Havia aquelas que rasgava um bloco e outros não, depois de assentada a parede, enquanto que outras rasgavam toda a extensão do caminho percorrido pelo eletroduto.

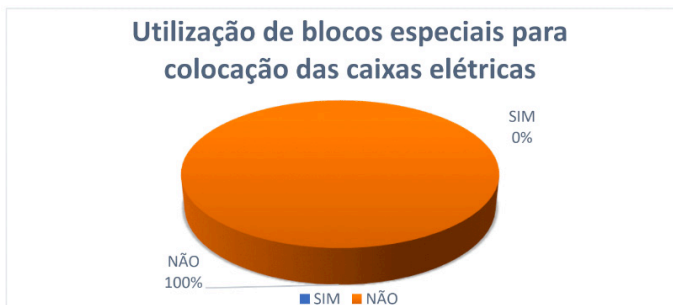


Gráfico 04: Utilização de blocos especiais para colocação das caixas elétricas

Fonte: A autoria própria



Figura 04: Rasgos para colocação de caixas elétricas

Fonte: A autoria própria

As mesmas obras que cometiam o erro tratado anteriormente, conscientemente, são as que quebram um bloco para passagem dos eletrodutos pelo mesmo motivo.

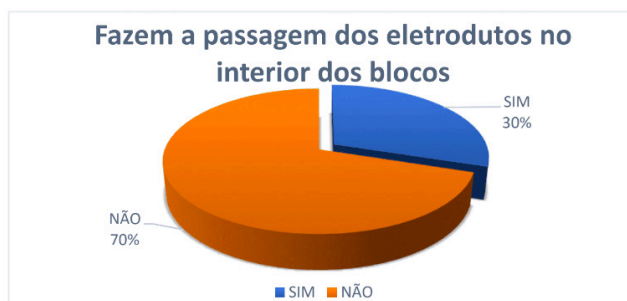


Gráfico 05: Passagem dos eletrodutos no interior dos blocos

Fonte: A autoria própria



Figura 05: Rasgos para passagem de eletrodutos

Fonte: Autoria própria

A maioria das obras que cometiam o erro anterior de forma consciente, são as que quebram um bloco inteiro para servirem de meio bloco e compensadores. E, a explicação também varia para cada obra. A maioria quebra um bloco inteiro quando falta o meio bloco no canteiro de obras e devido à sobra de blocos inteiros, é preferível quebrá-los a fazer um novo pedido de meio bloco. Enquanto que outras cometem esta prática por displicência da mão-de-obra e/ou falta de conhecimento repassado sobre esse erro, sendo assim mais cômodo quebrar um bloco inteiro que está próximo de si a buscar o meio bloco para assentar a parede.

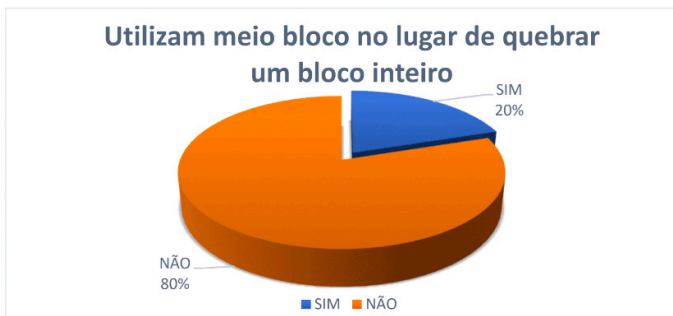


Gráfico 06: Utilização de meio bloco no lugar de quebrar um bloco inteiro

Fonte: Autoria própria



Figura 06: Utilização de um bloco inteiro no lugar de meio bloco

Fonte: Autoria própria

Nas obras visitadas foi comum encontrar um canteiro de obras improvisado na maioria delas, conseqüentemente, sem o armazenamento adequado dos materiais. Sendo o mais recorrente, a falta de materiais paletizados, como os blocos cerâmicos, que ficavam todos expostos a chuva e em contato com o solo.



Gráfico 07: Armazenamento adequado dos materiais

Fonte: Autoria própria





Figura 07: Armazenamento inadequado de materiais

Fonte: Autoria própria

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise das normas e o que tratam as bibliografias a respeito da alvenaria estrutural, foi possível concluir que: se erros ocorrem por falta de normas que abarquem este sistema e materiais, é tido como um equívoco, pois tanto as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas como autores de livros tratam deste sistema construtivo de forma específica e detalhada.

Foi possível concluir também, com o levantamento de campo feito nas obras visitadas no município de João Pessoa-PB, que há obras que executam esta técnica de alvenaria estrutural sem conhecê-la devidamente, desconhecendo seus requisitos necessários e seus métodos.

Entretanto, pôde-se constatar também que há obras em que seus responsáveis conhecem o mínimo necessário sobre este sistema e mesmo assim continuam a executar de forma errada, tardando a entender que não se deve comparar este método construtivo com o convencional.

Outrossim, também houve obras que erravam por má postura em alguns aspectos e ao mesmo tempo erravam por desconhecer algumas técnicas relativas ao processo construtivo em questão.

Logo, com esta investigação feita em 10 obras, conclui-se que haviam obras que erravam por desconhecimento deste sistema, haviam as que erravam conscientemente, por má postura e as que uniam os dois tipos de erros.

Vale ressaltar que os erros encontrados podem acarretar em patologias futuras na



edificação podendo assim comprometer sua utilização (segurança, conforto, estética...) bem como sua vida útil (durabilidade).

## REFERÊNCIAS

SABBATINI, Fernando Henrique. **Alvenaria Estrutural: Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico**. Caixa Econômica Federal – Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. Brasília/DF, 2002.

TAUIL, Carlos Alberto e NESE, Flávio José Martins. **Alvenaria Estrutural**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2010.

# CAPÍTULO 15

## PRODUÇÃO DE COMPOSTOS COM ÓXIDO DE EURÓPIO ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ): DOPAGEM POR ALUMÍNIO (Al), FERRO (Fe), CARBONO (C), COBRE (Cu) E TITÂNIO (Ti) POR DEPOSIÇÃO DE VAPOR IÔNICO (ARC-PVD)

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **Felipe Corrêa Ribeiro**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Mecânica  
Vila Velha - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/3404425559050543>

### **Célio Marques**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Mecânica  
Vitória - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/2953215667664084>

### **Daniel Rodrigues de Oliveira Novaes**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Serra - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/2673709119389276>

### **Gilmar de Souza Dias**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Mecânica  
Vitória - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/2953215667664084>

### **Isabelle Pereira Souza Dias**

IFES - Campus Serra - Departamento de Engenharia Mecatrônica  
Serra - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/5659802313168539>

### **Isac Rossi Sylvestre**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Elétrica  
Cariacica - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/8823561778070736>

### **João Paulo Tailor de Matos Salvador**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Vitória - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/0810794725265347>

### **Júlia Sttefane de Oliveira**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Serra - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/9381515274286142>

### **Lorena Silva Castello**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Serra - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/4586102751051621>

### **Maykon Elias Batista**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Serra - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/5659802313168539>

### **Rodrigo Vieira Rodrigues**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Vitória - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/7475013712371718>

### **Tales Costa de Freitas**

IFES - Campus Vitória - Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Vitória - Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/5200399018205860>

**RESUMO:** Apresentamos resultados de produção e caracterização de amostras obtidas

pela técnica de Arc-PVD através da utilização de um reator a plasma de Hidrogênio (H), contendo  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  buscando a dopagem do mesmo por Alumínio (Al), Ferro (Fe), Carbono (C), Cobre (Cu) e Titânio (Ti). Observamos algumas alterações importantes no contexto da caracterização por fotoluminescência nos tempos de decaimento entre transições típicas do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  assim como picos de DRX característicos que indicam que a dopagem possa ter ocorrido. Medidas complementares de Espectroscopia Mossbauer foram realizadas na amostra contendo Ferro, assim como medidas magnéticas com SQUID. Observou-se nestas medidas o comportamento paramagnético predominante do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  no SQUID e os picos característicos do Ferro metálico no Mossbauer.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciência de Materiais, Caracterização microestrutural, Caracterização magnética, Arc-PVD, Heteroestruturas.

## PRODUCTION OF COMPOUNDS WITH EUROPIUM OXIDE ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ): DOPPING BY ALUMINUM (Al), IRON (Fe), CARBON (C), COPPER (Cu) AND TITANIUM (Ti) BY IONIC VAPOR DEPOSITION (ARC-PVD)

**ABSTRACT:** We present results of production and characterization of samples obtained by the Arc-PVD technique through the use of a hydrogen(H) plasma reactor, containing Europium Oxide ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) seeking the doping of it by Aluminum (Al), Iron (Fe), Carbon (C) Copper (Cu) and Titanium (Ti). We observed some important changes in the context of photoluminescence characterization in the decay times between typical  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  transitions, as well as characteristic XRD peaks that indicate that doping may have occurred. Complementary measurements of Mossbauer spectroscopy were performed on the sample containing iron, as well as magnetic measurements by SQUID. It was observed in these measures the predominant paramagnetic behavior of  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  on SQUID and the characteristic peaks of metallic iron on Mossbauer.

**KEYWORDS:** Materials Science, Microstructural Characterization, Magnetic Characterization, Arc-PVD, Heterostructures.

## 1 | INTRODUÇÃO

A busca por novos materiais tem sido uma mola propulsora de desenvolvimento em tecnologia desde a revolução induzida pela Mecânica Quântica no final dos anos 20 com a invenção do transistor[1]. Desde então, diferentes técnicas têm sido empregadas na produção de materiais com características físicas (micro ou macroscópicas) que possam levar a novas descobertas e a novos dispositivos tecnológicos. Estas técnicas de produção de materiais, podem se diferenciar pelas variáveis físicas usadas e podem ser extremamente dispendiosas, sendo inacessível para muitos centros de pesquisa básica, já que algumas requerem o controle fino das variáveis físicas dos processos, altos vácuos ( $10^{-12}$  torr) ou altas pressões no outro extremo.

Dentre os objetos de maior interesse nesses estudos podemos citar:

- Materiais estruturais de alta temperatura (por exemplo, intermetálicos e cerâmicos monolíticos e compostos);
- Polímeros de cristal líquido e estruturas em camadas periódicas de cobre-ní-

quel;

- Heteroestruturas multicamadas como cerâmicas supercondutores à base de Ítrio, Bário e Cobre (YBCo);
- Revestimentos avançados como por exemplo, filmes de diamante e embalagem eletrônica);
- Materiais com características ópticas de interesse;
- Tubos nanométricos de Carbono;
- Grafeno em qualquer escala;

Neste trabalho reportamos alguns resultados iniciais, obtidos para um sistema composto de Óxido de Európio ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$  a 99.9%) sendo substrato para inserção de diferentes elementos químicos através da técnica de deposição química de vapor (Arc-PVD)[2], sendo que para otimização do processo de vaporização ou elevação da concentração de íons dopantes, fez-se uso da técnica gaiola catódica tipo Nest[3].

Os elementos escolhidos como dopantes foram Alumínio (Al), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Titânio (Ti). O objetivo central deste capítulo é mostrar que com uma técnica de custo relativamente baixo, pode-se produzir materiais com fases importantes no contexto da pesquisa básica em ciência de materiais.

O trabalho divide-se como segue:

Na seção 2, fazemos a descrição do reator RDS e dos procedimentos utilizados para a produção das amostras pela técnica Nest;

Na seção 3 mostramos as caracterizações das amostras produzidas, a seção 4 conclui o trabalho;

Na Seção 2 descreve-se o Reator de produção tipo Arc-PVD e a produção das amostras;

A caracterização é discutida na seção 4 enquanto na seção 5 apresentamos as conclusões parciais da pesquisa;

## **2 | REATOR DE PRODUÇÃO TIPO ARC-PVD E A PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS**

Para realizar a deposição, foi colocada uma amostra de  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  na forma de pó em um substrato de vidro. Este conjunto foi colocado dentro do reator de nitretação a plasma. Por cima da amostra foi colocado uma espécie de ninho feito com lã de aço. O reator foi configurado de forma que a pressão de operação fosse 0.1 torr e as temperaturas máxima atingida no plasma do entorno da amostra esteve sempre no intervalo entre 200 e 500 °C. Após um período de tempo em operação, aproximadamente 2 horas, pode-se observar a formação do plasma em torno do ninho de lã de aço, que foi a fonte de Ferro utilizada para a dopagem do Európio. A amostra foi resfriada dentro do forno, e após isso

foi retirada com cautela.



Figura 1: Deposição de Fe sobre o  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ . Observa-se no vidro um filme de Óxido de Ferro após o tratamento no reator.



Figura 2: Reator de nitretação a plasma – Modelo: Thor NP300. Fabricante: SDS Plasma.

### 3 | PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E CARACTERIZAÇÕES

Experimentos típicos de Arc-PVD foram realizados usando Al, Fe, C, Cu e Ti, o óxido  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  (99,9% de pureza) foi adquirido da Aldrich. A atmosfera de gás foi controlada com vazão constante mantendo um vácuo da ordem de 0.1 torr. A temperatura do plasma foi controlada na faixa de 150 - 500° C sendo a rampa de aquecimento não sendo bem definida para nenhuma das amostras, pois não temos ainda a metodologia para tal controle fino no equipamento utilizado. Entretanto, o objetivo deste projeto foi o de avaliar a possibilidade de dopagem ou não do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  e verificar se houve esta dopagem através de uma posterior caracterização das amostras. A pressão de trabalho durante a deposição foi mantida a 0.1 torr usando a atmosfera de H nas amostras.

### 3.1 Preparações de amostras dopadas com $\text{Eu}_2\text{O}_3$ como substrato pelo método ARC-PVD

A deposição de Elementos  $M = [\text{Al}, \text{Fe}, \text{C}, \text{Cu} \text{ e } \text{Ti}]$  no  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  foi realizada usando o método Arc-PVD com uma vazão de gás portador em conjunção com uma bomba de vácuo de tal modo que o vácuo estivesse constante em 0.1 torr (Figura 3).

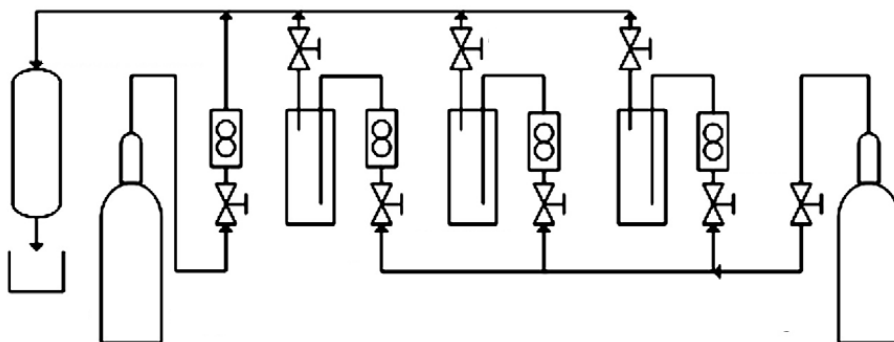


Figura 3. Condições esquemáticas e experimentais do aparelho **Arc-PVD** para geração de  $\text{EuO:M}$ ,  $M = [\text{Al}, \text{Fe}, \text{C}, \text{Cu} \text{ e } \text{Ti}]$ .

## 4 | CARACTERIZAÇÃO

Os padrões de difração de raios-X de pó (XRD) foram registrados com um difratômetro de raios-X de pó Rigaku D 2550 usando a linha  $K\alpha$  ( $\alpha = 0,15046 \text{ nm}$ ) do Cobre. Os espectros Raman foram medidos usando um espectrômetro Renishaw InVia Raman equipado com um microscópio óptico confocal DM2500 Leica. A medição da fotoluminescência foi realizada usando o espectrômetro de fluorescência FLS 980 da Edinburgh Instruments com lâmpada de xenônio como fonte de excitação, o braço de emissão foi fornecido com grade regulada e a resolução espectral foi de 0,1 nm.

A Figura 4 mostra o padrão de XRD do  $\text{Eu}_2\text{O}_3: M$ ,  $M =$  Elementos dopantes introduzidos por Arc-PVD. O difratograma padrão de  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  de acordo com JCPDS # 10-0059, 86-2476 sugere uma fase cristalina de fase pura. Este padrão exibe  $\theta$  (hkl) sendo  $\theta$  o ângulo do pico e (hkl) os índices de Miller, da figura tempo os valores: 21.12 (211), 28.54 (212), 33.06 (400), 42.48 (134), 47.39 (440) e 56.18 (662) como picos principais e grupo espacial  $C2/m$  (monoclínico) com parâmetros da célula:  $a = 14,110(2) \text{ \AA}$ ,  $b = 3,602(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 8,808(2) \text{ \AA}$ .

A partir da observação dos difratogramas é possível observar que os picos correspondentes à 211 e 662 tem uma redução muito significativa nas amostras produzidas em relação ao difratograma padrão (veja a Figura 5), além disto a razão entre os picos 400 para 212 muda de aproximadamente 0.5 no DRX padrão para 0.25 nas amostras

produzidas. Isto pode indicar que houve uma mudança nos parâmetros de estrutura do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ , sendo isto atribuído à duas causas que não se excluem em princípio:

- O tratamento térmico no reator levou à algum tipo de relaxação na estrutura do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  levando à uma alteração nos parâmetros de rede associados a estes picos;
- Houve algum tipo de inserção dos elementos dopantes na estrutura do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  levando à estas alterações;

Definir se 1 e/ou 2 foram a causa de tais modificações ou se ambas prescindem de maior detalhamento com outras técnicas de caracterização as quais discutiremos a seguir.

Em particular, foram realizadas medidas de fotoluminescência onde as propriedades óticas do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  nos seus diversos canais de decaimento foram investigadas.

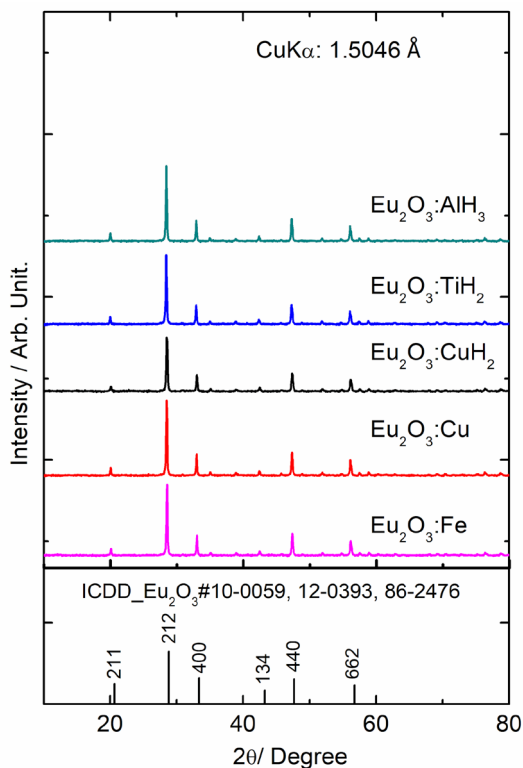


Figura 4 – Padrões de Raios X de  $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{:M}$ ,  $\text{M} = [\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cu} \text{ and } \text{Ti}]$  obtidos em atmosfera de Hidrogênio a 0.1 torr.

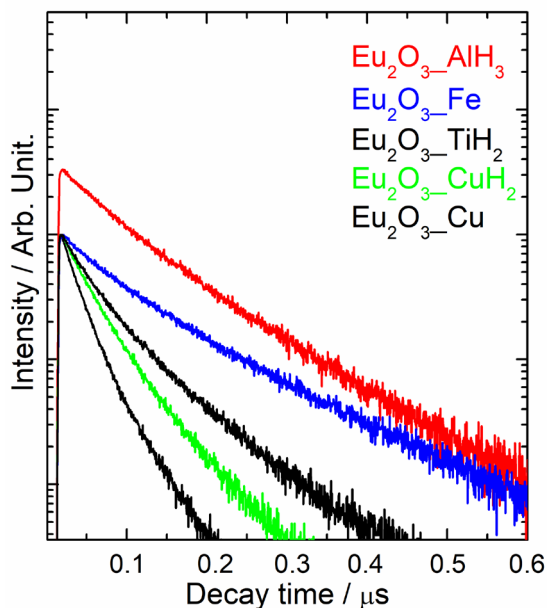


Figura 5: Gráficos linearizados da relaxação dos estados óticos do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  para as diferentes amostras.

Estas curvas (Figura 5) mostram que houve uma mudança característica no tempo de decaimento para cada elemento dopante. Este efeito é coerente com a análise dos difratogramas que mostram alteração estrutural nas amostras produzidas.

Outras medidas de caracterização realizadas a partir da constatação acima foram encaminhadas. No caso das amostras contendo Fe, por ser este um elemento ferromagnético, procuramos observar a partir de uma medida de Squid se o paramagnetismo característico do  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  houvera sido influenciado de alguma forma, adicionalmente foi realizado para tomado para esta amostra um espectro Mossbauer em temperatura ambiente.

A despeito destas medidas adicionais não foi conclusivo se houve a dopagem ou não como veremos a seguir, porém acreditamos que com o aprimoramento do reator, adicionando um controle mais eficiente nos parâmetros físicos como temperatura, fluxo de gás do plasma e prevendo contaminantes espúrios que possam contribuir nas medidas, possamos obter melhores resultados no sentido de produzir novos materiais com o uso do Reator RDS juntamente com a técnica do NEST, que foi uma patente conseguida pelo grupo de pesquisa no contexto destes trabalhos.



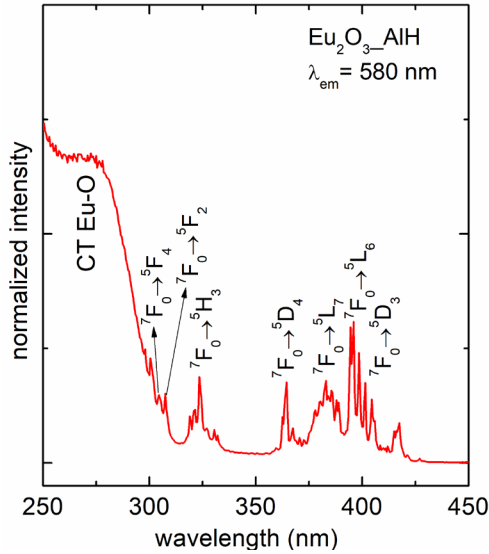


Figura 6. Transições características do Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> não tratado.

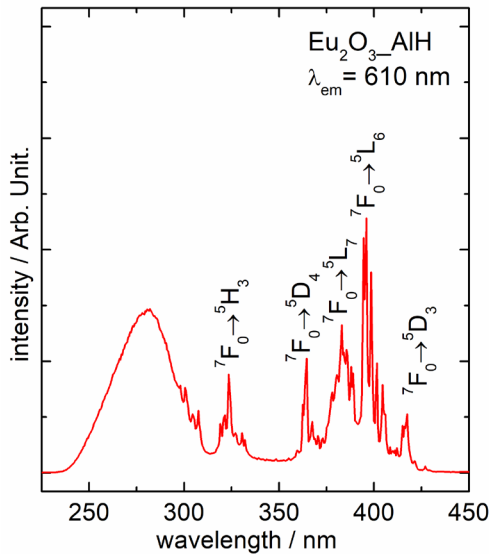


Figura 7. Transições características do Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tratado no reator em presença de vapor de Al como dopante. Não se nota mudanças significativas em ambos os espectros. A contribuição da fase com dopagem fica supressa em relação ao bulk.

Com a produção das amostras de Ferro (Fe) dopado com Óxido de Európio (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), nos filmes finos produzidos a partir da técnica de aspersão e/ou arraste térmico a plasma, foi possível realizar a caracterização, com a técnica de Mössbauer. Para realizar a deposição, foi colocada uma amostra de Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na forma de pó em um substrato de vidro, para fornecer

o Fe ao sistema, foi colocado por cima da amostra, uma espécie de ninho feito de lã de aço, pode-se observar a formação do plasma em torno do ninho.

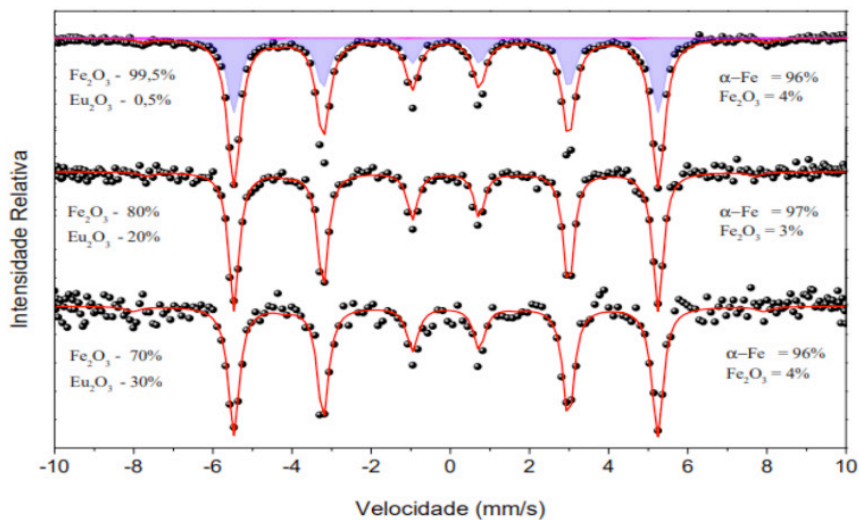


Figura.8: Resultado do Ensaio de Mössbauer.

A Fig. 8 apresentada, mostra que contém os três espectros Mössbauer medidos a 300 K. Estes espectros apresentam seis linhas simétricas de absorção ressonante, indicando que os átomos de Fe (núcleos) sentem a presença de um campo magnético hiperfino dos próprios átomos e sua vizinhança. Para uma maior compreensão da figura em anexo, temos que do lado esquerdo desta, estão as concentrações dos óxidos de Fe e Eu. Do lado direito, tem as fases Fe alfa (metálico) e uma pequena fração de óxido de Fe (3 ou 4 %). Estes resultados indicam que majoritariamente as amostras (ao medir o Fe) são formadas por ferro metálico (96 ou 97 %). Em resumo, não há nenhum indício, por menor que seja, de inclusão de átomos de Eu na matriz de Fe, por exemplo.

Descarta-se também a formação de qualquer outra fase de Fe-Eu e de seus respectivos óxidos misturados. Vemos que as frações de óxido de Fe (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tiveram poucas mudanças entre as amostras, mas ficou em um máximo de 4%. Isto tem um reflexo grande na magnetização medida pela técnica de Squid, pois a magnetização, é a massa magnética dividida pelo volume. Sua massa magnética a 300K é de Fe metálico majoritariamente (96 - 97%) + óxido de Fe (4 - 3%). Sendo assim, mudanças nos valores de magnetização por volume deve-se esta mudança das frações das fases de Fe, já que à temperatura ambiente tanto Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Eu +2) quanto Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Eu +3), são paramagnéticos (não tem magnetização forte comparado com a magnetização das fases de Fe).

Após a deposição do Eu sobre o Fe, através da técnica de arraste térmico a plasma e

a técnica de caracterização usada, ensaio de Mössbauer, é possível concluir que é possível a formação de filme finos através do uso de lâ de aço, fornecendo o Ferro (Fe) para ser dopado com Óxido de Európio ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ). Com os resultados obtidos através da análise do ensaio de Mössbauer, não é possível encontrar algo muito inovador.

Porém existe a sugestão de produção, através de um processo de redução do estado de valência do ferro de +3 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) para zero, que é conhecido como ferro metálico.

## 5 | CONCLUSÃO

A produção de amostras contendo  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  como substrato foi estudada dentro do contexto da técnica de Arc-PVD em atmosfera de H a 0.1 torr. As medidas de caracterização indicaram que picos de DRX característicos do óxido desapareceram, assim como a intensidade relativa entre eles demonstrou-se modificada. Isto pode estar indicando a dopagem em alguns sítios específicos na estrutura do óxido ou algum tipo de relaxação da estrutura como efeito advindo da temperatura devido ao arco voltaico do plasma sobre a amostra. Medidas adicionais de espectroscopia Mossbauer, SQUID e Raman foram encaminhadas para algumas das amostras e ainda com estas diferentes técnicas não podemos afirmar com certeza que os efeitos observados sejam devido à dopagem pretendida.

Como perspectivas futuras deste trabalho, propomos fixar a temperatura do substrato e refazer as caracterizações para conseguirmos retirar os possíveis efeitos de relaxação térmica que podem mascarar os efeitos da dopagem pretendida. Contudo isto implica numa alteração da geometria do equipamento de produção das amostras que é o reator do Arc-PVD. A técnica de deposição patenteada pelo grupo de pesquisa denominada de NEST, causa uma grande taxa de deposição para este aparelho e isto é algo potencialmente útil na produção de novos materiais, tanto na forma de compósitos com heteroestruturas como também de filmes finos, pois a densidade de vapor de íons dopantes apresenta-se substancialmente superior que em relação à outras geometrias previamente testadas pelo grupo de pesquisa para este fim.

## REFERÊNCIAS

[1] Eckert, M. and Schubert, H. **Crystals, Electrons, Transistors: From Scholar's Study to Industrial Research** (English edition of *Kristalle, Elektronen, Transistoren*, translated by Thomas Hughes, Published by American Institute of Physics, New York, 1990), pp. 106-109.

[2] A. Anders. **Cathodic Arcs: From Fractal Spots to Energetic Condensation**. (2008) Springer, New York.

[3] G.S. Dias, C. Marques, L.C. Gontijo, Tales C. Freitas. “**GAIOLA CATÓDICA COM CÁTODO TIPO NINHO - NEST**” depósito de patente no INPI sob o número: BR 10 2018 011627-4.

## A INFLUÊNCIA DAS PONTES TÉRMICAS NO DESEMPENHO TÉRMICO, ENERGÉTICO E NAS ESTRUTURAS DAS EDIFICAÇÕES DA BAIXADA SANTISTA

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **Edmar Nascimento Lopes**

Universidade de Ribeirão Preto- UNAERP  
Campus Guarujá  
Guarujá- São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/7410302351465036>

### **Rodrigo Onofre de Oliveira**

Universidade de Ribeirão Preto- UNAERP  
Campus Guarujá  
Guarujá- São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/3303667260249294>

### **Itamar Gonçalves da Silva**

Universidade de Ribeirão Preto- UNAERP  
Campus Guarujá  
Guarujá- São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6620063656534299>

### **Rodrigo Coelho Roberto**

Universidade de Ribeirão Preto- UNAERP  
Campus Guarujá  
Guarujá- São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4865878864249951>

**RESUMO:** O presente trabalho visa mostrar a influência das pontes térmicas no desempenho das edificações, na zona bioclimática 5- região de Santos. Introduzindo o tema, abordamos a situação atual das pontes térmicas em relação as principais normas regulamentadoras vigentes ao desempenho. O trabalho objetiva demonstrar sua influência nos aspectos térmicos, energéticos

e nas estruturas, já que facilitam a fuga de calor e a umidade, justificando sua importância pelas condições climáticas favoráveis a essas ocorrências na região. Como revisão bibliográfica foram expostos os fundamentos literários do artigo, dentre os quais, as principais normas regulamentadoras e a conceituação das pontes térmicas, descrita pelos autores referenciados. O método aplicado usou os dados de dois trabalhos relacionados a zona bioclimática 5, ambos tendo como referência o Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edificações (RCCTE), de Portugal, e o Código Técnico das Edificações (CTE), da Espanha. Esses autores utilizaram como método principal a simulação gráfica, através de softwares como o BISCO e o *DesignerBuilder*, onde modelos de edificações foram manipulados nas condições das zonas bioclimáticas desejadas. Como resultado, foi possível comparar os dados obtidos para a região, possibilitando a interpretação do comportamento das pontes térmicas na citada zona climática, e qual sua influência no desempenho térmico das edificações. Por fim, foram abordados alguns prós e contras da ocorrência do fenômeno e algumas alternativas para a solução do problema, bem como também foi ressaltada a importância de identificá-los o mais breve possível, já que os custos de correção aumentam gradativamente conforme a construção se desenvolve, evitando assim problemas futuros, melhorando os níveis de conforto térmico e contribuindo para a melhor qualidade do projeto em si, beneficiando a qualidade das edificações locais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pontes térmicas; Norma de

desempenho; Zonas bioclimáticas.

## THE INFLUENCE OF THERMAL BRIDGES ON THE THERMAL, ENERGETIC PERFORMANCE AND STRUCTURES OF BUILDINGS IN BAIXADA SANTISTA

**ABSTRACT:** The present paper aims to show the influence of the thermal bridges on the performance of the buildings, in the bioclimatic zone 5 – Santos city region. Introducing the theme, we address the current situation of thermal bridges in relation to the main regulatory norms about performance. This paper aims to demonstrate its influence on thermal, energy and structural aspects, because it became easier others things, such as heat transfer and humidity, justifying this research due to climatic conditions favorable to this occurrence in the region. As theoretical reference, it was exposed the literary foundations to the article, such as the main regulatory norms and the conceptualization of the thermal bridges, defined by several authors. The applied method used the data of two papers related to bioclimatic zone 5, both named by *Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edificações*, or RCCTE (The Regulation of the Characteristics of Thermal Construction Behavior), from Portugal, and *Código Técnico das Edificações*, or CTE (Technical Building Code) from Spain. These authors use graphical simulation as the main method, through softwares such as BISCO and DesignerBuilder, such that models of buildings are manipulated following the conditions of bioclimatic zones choosed up to study. As a result, it was possible to compare the data obtained for the region, that enable the interpretation of the behavior of the thermal bridges in the mentioned climatic zone, and its influence on the thermal performance of the buildings. Finally, we bring some positives and negatives points out of the occurrence of this phenomenon, and some alternatives to the solution of the discussed problem, as well as the importance of make it priority, as soon as possible, because the gradually increase cost with solutions according the construction progress, avoiding future problems, improving the levels of thermal comfort itself and to providing the best quality of the project, benefiting the quality of the local buildings.

**KEYWORDS:** Thermal bridges; Regulatory norms; Bioclimatic zone.

## 1 | INTRODUÇÃO

A NBR 15575/13 consiste na definição dos critérios de desempenho das edificações. Ela é dividida em seis partes: requisitos gerais; requisitos para sistemas estruturais; requisitos para sistemas de piso; requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas; requisitos para sistemas de cobertura e; requisitos para sistemas hidrossanitários (ABNT, 2013). O desempenho térmico é abordado nos requisitos gerais, requisitos de vedações verticais e requisitos para sistemas de cobertura, onde são definidos parâmetros limites aceitáveis das propriedades de transmitância e capacidade térmica, para as espessuras da cobertura, áreas de abertura para ventilação e sombreamento, entre outros (SOGARDO *et al* 2012). Grande parte dos parâmetros e equações para definições dos projetos vem da NBR 15220/05, exclusiva para o desempenho térmico que contém, entre outros, o mapa das 8 regiões bioclimáticas brasileiras (PONTES, 2014).

No entanto, as citadas normas não abordam os problemas das pontes térmicas,

apenas os fluxos unidirecionais de calor, ou zonas correntes. Na região da baixada santista, o fenômeno atinge principalmente o aquecimento do ambiente e favorece o surgimento de diversas manifestações patológicas. Assim, o estudo das pontes térmicas é significativo para os projetos de isolamento térmico na região, e nas demais partes do país, mesmo não havendo uma normativa específica, pois se trata de um aspecto com participação significativa no desempenho final desse requisito (GIOIELI E CUNHA, 2014).

## **2 | OBJETIVO GERAL**

Demonstrar a influência das pontes térmicas no desempenho térmico, energético (ambiental) e nas estruturas das edificações da zona bioclimática 5- Região de Santos.

## **3 | JUSTIFICATIVA**

As pontes térmicas facilitam a ocorrência de manifestações patológicas por formar, junto com a umidade, o ambiente ideal para o surgimento de problemas, em sistemas de pintura, impermeabilização, revestimento e reboco, favorecendo também o surgimento de mofo, bolor e oxidação, podendo afetar a estrutura. Essas consequências podem reduzir o desempenho ambiental, e ainda, colocar em risco a segurança estrutural do edifício. Devido a tais motivos, a importância desse trabalho está em canalizar o tema para a região de Santos, por concentrar cerca de 1.700.000 habitantes (BRASIL, 2011), e que, por se tratar de uma zona bioclimática com temperaturas altas no verão e proximidade do mar, estar mais vulnerável as consequências desse fenômeno.

## **4 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Normas de Desempenho**

A elaboração das NBR's 15575/13 e 15220/05 mostram que, depois de muitos anos negligenciado, o conceito de desempenho vem ganhando atenção na construção civil. O desempenho energético, também tratado como desempenho ambiental, tem seus parâmetros abordados nas NBR 16401 (instalação de ar-condicionado), na NBR 5413 (iluminação de interiores) e na citada NBR 15220. A relevância do estudo de tais elementos podem ser notada na Figura 1, de acordo com o Ministério de Minas e Energia, na qual os setores de edificações são responsáveis pelo consumo de 44% de toda a energia elétrica do país, distribuídos por meio dos setores destacados abaixo (BRASIL, 2012).

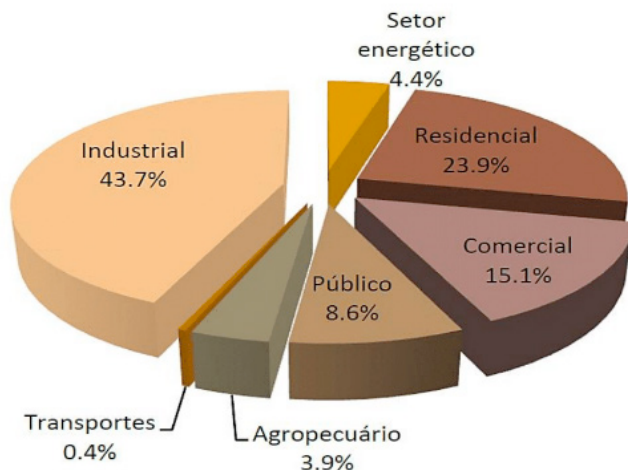


Figura 1- Consumo de energia elétrica por setor econômico.

Fonte: Brasil, 2012.

Em 2001 foi publicada a Lei nº 10,295, regulamentada pelo Decreto nº 4,059, criando a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica, definindo níveis mínimos e máximos de consumo para os aparelhos e máquinas, propondo que fossem baseados em “mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país”, indicando notáveis preocupações relacionadas ao tema (BRASIL, 2001).

## 4.2 Pontes térmicas

As pontes térmicas são fenômenos físicos que acontecem na envolvente das edificações, caracterizadas por fluxos não unidirecionais de calor, geralmente causados pelo encontro de materiais com resistências térmicas ou dimensões geométricas diferentes. O calor tende a ser transferido pelo caminho de menor resistência e em função da distância entre os pontos. Essa transferência segue os fluxos: bidimensionais, quando os elementos têm o coeficiente de transmissão térmica linear, ou seja,  $W/m.K$  (Figura 2a); tridimensionais, quando surge o encontro de dois fluxos bidimensionais, geralmente em zonas de vértices da envolvente como encontro entre dois elementos planos verticais e um horizontal (Figura 2b), ou pontuais, quando os elementos são da mesma ordem de grandeza, como por exemplo, a junção de três elementos planos como duas paredes e um pavimento (FREITAS *et al.*, 2016), situação mostrada na Figura 2c.

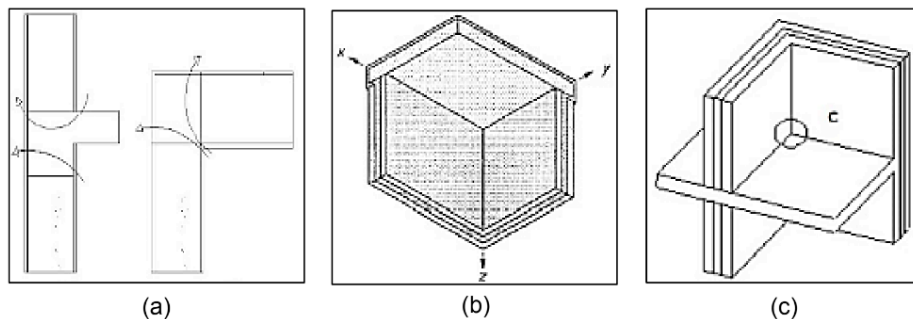


Figura 2: Tipos de fluxos de calor das pontes térmicas. (a) Fluxos bidimensionais; (b): Fluxos tridimensionais; (c) Ponte térmica pontual.

Fonte: Freitas *et al*, 2016.

Assim, as pontes térmicas levam a um acréscimo de trocas de calor, aumentando o consumo energético dos climatizadores e distribuindo a temperatura de forma irregular (VALÉRIO, 2007).

O maior fluxo de calor nas áreas de pontes térmicas causa a redução de temperatura nesses locais. Quando essa redução atinge valores abaixo do ponto de orvalho, causa a condensação (FREITAS *et al.*, 2016). A condensação depositada na superfície é a umidade, um dos problemas mais difíceis de serem corrigidos nas edificações. Assim, todos os problemas envolvendo umidade podem ser relacionados as áreas de pontes térmicas, tais como eflorescência, ferrugens, mofo, bolores, perdas de pintura, de rebocos e ainda, em casos mais avançados, perda de área de aço de elementos estruturais por oxidação. As paredes, forros, pisos em locais com pouca ventilação como banheiros, cozinhas e garagens são os locais de maiores ocorrências para os problemas relacionados a umidade por condensação (PEREZ, 1985. VERÇOZA, 1991. KLEIN, 1999 *apud* SOUZA, 2008). Em relação ao desempenho, a umidade é o maior fator de degradação e limitação da vida útil das edificações, gerando problemas como gastos adicionais em manutenção, menor durabilidade dos materiais e redução do conforto quanto a salubridade e estética, devido ao aparecimento de fungos e bolores (VALÉRIO, 2007).

## 5 | MATERIAL E MÉTODOS

Como as pontes térmicas dificilmente são consideradas em projetos brasileiros, existem poucos trabalhos para referência. Dessa forma, buscou-se reunir os dados da zona bioclimática 5, que abrange a região da baixada santista, dos estudos disponíveis. Na grande parte dos artigos encontrados, as principais referências são de países europeus, principalmente Portugal e Espanha, que dispõem, respectivamente, do Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edificações (RCCTE) e do Código Técnico das Edificações (CTE),



normas com especificações para limitar a ocorrência das pontes térmicas. Outra ferramenta usada para tratar o fenômeno, aplicada pelas citadas normas, é a simulação gráfica. Com elas são feitas as modelagens dos elementos estruturais, em escala, para analisar o comportamento térmico. Os principais softwares são o BISCO e o *Designer Builder*.

Tais ferramentas foram utilizadas por Freitas *et al* (2016) em seu trabalho de título “Análise da influência das pontes térmicas na simulação de eficiência energética nas paredes de edificações residenciais” e por Gioieli e Cunha (2014) em “Estado do efeito de pontes térmicas em estruturas de concreto armado no desempenho energético de edifício hoteleiro para 6 zonas bioclimáticas brasileiras” onde os autores simularam edificações em diferentes condições para analisar o comportamento, em zonas bioclimáticas distintas. O método dos autores no estudo do tema é similar: simulação computacional de edificações, com a presença de pontes térmicas e sem a presença de pontes térmicas, em várias tipologias diferentes, alterando elementos de influência térmica, como a espessura da parede e a cor da fachada, em diferentes zonas bioclimáticas. Freitas *et al* (2016), por exemplo, utilizou um total de 32 combinações nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras, totalizando 256 simulações, considerando um consumo médio de 5.487,1 kWh/ano para iluminação e 4.198,2 kWh/ano para os equipamentos, em todos os casos. Já Gioieli e Cunha (2014), em um trabalho mais específico, geraram 36 combinações diferentes para análise em 6 zonas bioclimáticas, totalizando 216 simulações.

## 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação a zona bioclimática 5, Freitas *et al* (2016) obteve os seguintes dados, descritos no Gráfico 1.

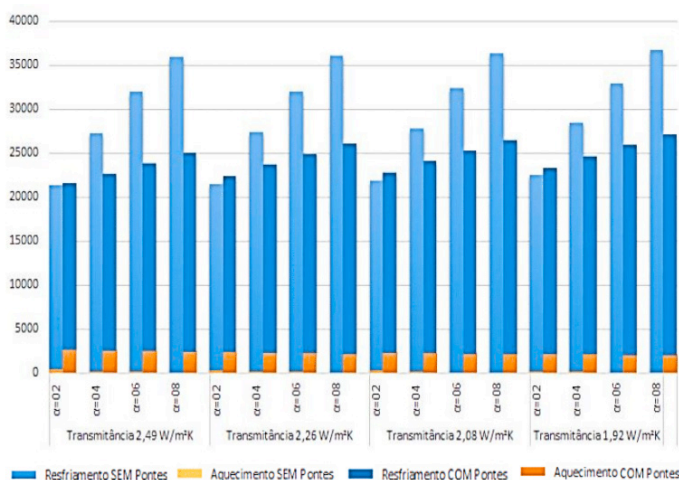


Gráfico 1- Desempenho térmico da zona bioclimática 5.

Fonte: Freitas *et al*, 2016.

É notável que, para os casos de aquecimento, as simulações com pontes térmicas causaram um aumento elevado do consumo de energia em comparação as simulações sem pontes térmicas, em todos os casos, bem como o oposto aconteceu nas situações de resfriamento, onde as simulações com pontes térmicas trouxeram reduções significativas no consumo de energia, indicando a possível ocorrência da condensação e de umidade devido à queda de temperatura ao ponto de orvalho na região. No Gráfico 2, o autor ainda destaca a diferença em percentual dos consumos nos casos das edificações com pontes térmicas e sem pontes térmicas, onde, para resfriamento, as pontes térmicas também foram significativas, representando, no maior dos casos, 59% de redução no consumo de energia e, da mesma forma, a fuga de calor foi o destaque ruim para o aquecimento, onde fez alcançar o pico de 98% de redução no consumo para os casos sem pontes térmicas. Tais dados são mostrados na Gráfico 2.

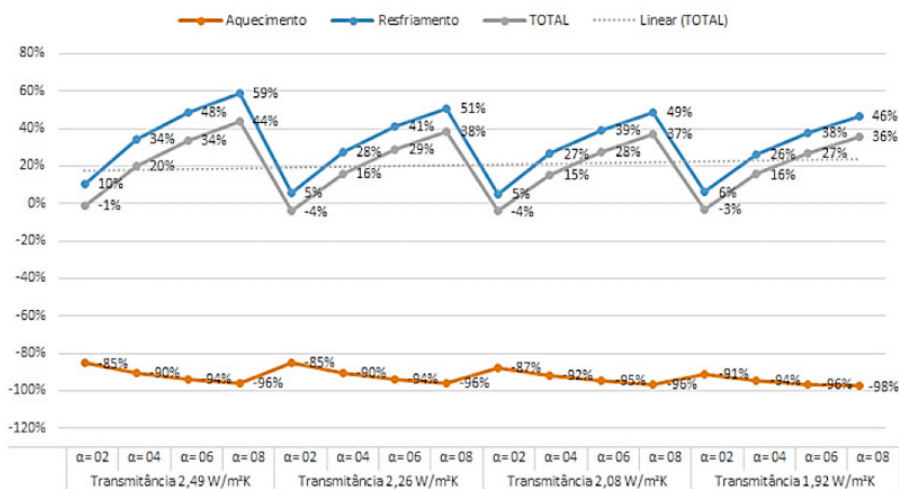


Gráfico 2- Percentual de consumo energético.

Fonte: Freitas *et al*, 2016.

A média de desempenho foi de 21% de redução do consumo total anual de energia para as simulações com pontes térmicas (considerando tanto os casos de resfriamento quanto os casos de aquecimento). Muito dessa média ser positiva quanto a redução de consumo energético se dá pela baixa participação do aquecimento no percentual total, visto que ele é acionado apenas poucas vezes por ano se comparado ao resfriamento, nos poucos dias de frio do litoral paulista (quase que sempre no inverno).

Gioieli e Cunha (2014) levaram em consideração as variáveis de densidade de carga interna (DCI), densidade de potência de iluminação (DPI) e o percentual de abertura das fachadas (PAFT), resultando nos seguintes dados para a zona bioclimática 5, como

mostra o Gráfico 3.

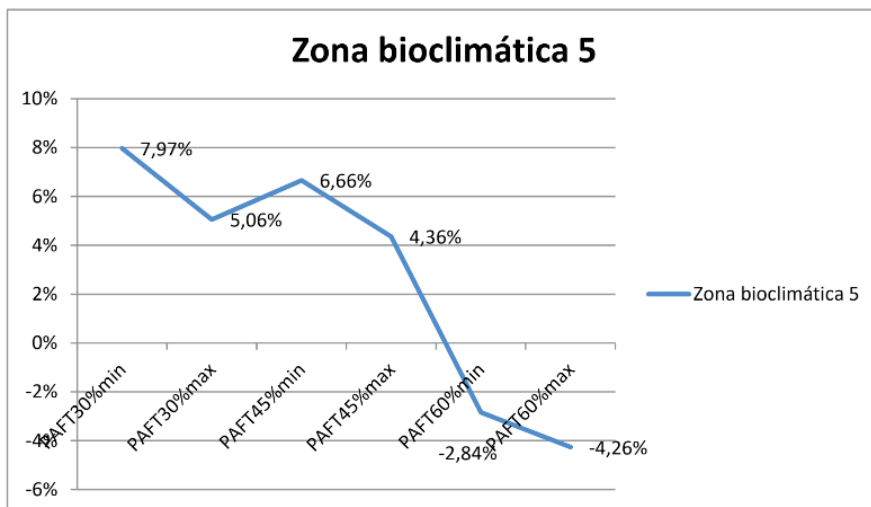


Gráfico 3- Desempenho térmico na zona bioclimática 5.

Fonte: Gioieli e Cunha, 2014.

Os resultados mostram que, nos casos em que os DCI e DPI são baixos, nos PAFT de 30% e 45%, houve reduções de 7,97% e 6,66%. Já para os DCI e DPI altos, com PAFT maiores que 60% houve aumentos de até 4,25% no consumo de energia devido ao maior ganho por condução pelos vidros. Novamente ressaltou-se que a diferença da participação entre a refrigeração e o aquecimento foi de 95%, o que faz a participação do aquecimento no consumo seja apenas de 5%, entretanto, é mostrado que as pontes térmicas aumentam em mais de 40% o consumo de energia para o aquecimento, em todas as zonas bioclimáticas.

## 7 | CONCLUSÕES

Na região de estudo, a qual a baixada santista faz parte, as pontes térmicas, que auxiliam a fuga do calor, acabam por ser benéficas para os dias quentes por reduzir o consumo de energia, entretanto, acabam por provocar outro problema, que é a baixa temperatura a níveis de ponto de orvalho nos locais onde existem pontes, favorecendo a umidade e todos seus problemas relacionados, como vimos anteriormente. Nos projetos específicos que envolvem isolamento térmico para o uso de aquecimento ou uso produtivo do calor, como saunas, os índices indicam que a existência de pontes térmicas pode ocasionar o aumento de 40% a 98% no consumo de energia, ou da fonte geradora de calor.

A principal forma de evitá-las é na fase de projeto. Pontes térmicas em elementos estruturais, por exemplo, dificilmente são corrigíveis posteriormente. A formação de mofo e bolores também são de difícil solução quando ocorrem, devido as condições favoráveis que encontram na região. O bom planejamento de circulação do ar também diminui o risco das pontes térmicas, pois evita a condensação por reduzir a temperatura do ar e a quantidade de vapor de água presente no ambiente. E o aumento do isolamento térmico no local do fluxo pode afastar as temperaturas que levam ao ponto de orvalho e que resultam na condensação do vapor. Talvez em breve, conforme os avanços das pesquisas na área, seja possível até trabalhar a hipótese de administrar pontes térmicas propositais com o objetivo de reduzir os custos com equipamentos de ar-condicionado no verão da região, por exemplo, uma vez que seja possível contornar os problemas que causam as baixas das temperaturas responsáveis pelo ponto de orvalho local. De qualquer forma, considerar os cálculos das pontes térmicas nos dimensionamentos pode trazer benefícios aos projetos atuais da baixada santista, evitando futuros problemas e contribuindo para a qualidade das edificações da região.

## APOIO

Este simpósio tem o apoio da fundação Fernando Eduardo Lee.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR 15575: Edifícios Residenciais: Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Regulamentação da Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. **Política Nacional de conservação e Uso Racional de Energia**. Diário Oficial. Brasília, 2001.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2010**: Ano base 2009. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Vol 4. 550p. Brasil, 2011.

FREITAS, J.M.R; LEITZKE, R.K; GIOIELI, B.I; CUNHA, E.G. **Análise da influência das pontes térmicas na simulação de eficiência energética nas paredes de edificações residenciais**. Revista de Arquitetura IMED. Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em <https://seer.imed.edu.br>. Acesso em 8 de outubro de 2017.

GIOIELE, B; CUNHA, E.G. **Estudo do efeito de pontes térmicas em estruturas de concreto armado no desempenho energético de edifício hoteleiro para 6 zonas bioclimáticas brasileiras**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Alagoas, 2014. Disponível em <https://www.researchgate.net>. Acesso em 8 de outubro de 2017.

PONTES, A.L.R. **Influência do projeto das aberturas no conforto térmico de apartamentos e residências unifamiliares em Pato Branco- PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Tecnologia Federal do Paraná (UTFPR). Paraná. 71 p, 2014. Disponível <http://repositorio.utfpr.edu.br> . Acesso em 8 de outubro de 2017.

SOGARDO, M.J; MARINOSKI, D. L; MELO, A. P; LAMBERTS, R. **Nota Técnica referente a avaliação da norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Nota Técnica. Universidade de Santa Catarina (UFSC), 2013. Disponível em <https://labeee.ufsc.br> . Acesso em 8 de outubro de 2017.

SOUZA, M.F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Monografia de especialização. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Minas Gerais. 64p. 2008. Disponível em <http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/327> . Acesso em 8 de outubro de 2017.

VALÉRIO, J.G.M.A.P. **Avaliação do impacto das pontes térmicas no desempenho térmico e energético de edifícios residenciais correntes**. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 97p. 2007. Disponível em <https://tecnico.ulisboa.pt> . Acesso em 8 de outubro de 2017.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO** - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adição mineral ao cimento 25

Agregado leve 73, 75, 83, 128, 131, 133, 136, 138, 140

Agregados reciclados 17, 21, 23, 24

Alvenaria estrutural 51, 142, 143, 144, 145, 146, 149, 153, 154

Aproveitamento de resíduos 1, 25, 42, 108

Argila calcinada 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 140

Argila expandida 73, 75, 76, 79, 80, 81, 84, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 138, 139, 140

### C

Cedrinho 118, 119, 120, 122, 125, 126

Cimentos com adições 25

Concreto estrutural 17, 112, 113, 128, 129, 138, 140

Concreto leve 73, 75, 76, 83, 84, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Concretos especiais 74, 112, 117

Construção civil 1, 2, 3, 4, 15, 17, 22, 23, 25, 26, 36, 37, 39, 41, 43, 52, 53, 58, 73, 74, 75, 76, 84, 86, 93, 94, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 113, 118, 119, 120, 125, 126, 129, 139, 142, 143, 167

Cura térmica 85, 87, 88, 89

Custo 14, 52, 57, 61, 73, 93, 105, 109, 112, 117, 129, 143, 157

### D

Demolição 17, 23, 24

Dosagem de concreto 128, 133, 134

### E

Educação ambiental 59, 61, 63, 64, 65, 68, 70, 71, 72

Erros 142, 143, 146, 147, 153

Execução 33, 142, 143, 144, 145, 154

### F

Fibra de carbono 112, 113, 114, 117

Fibras de curauá 73, 78, 83

## **G**

Gerenciamento de resíduos 59, 104

Gesso FGD 85, 86, 87

## **I**

Ignífugo 118, 123, 125

Incêndio 30, 118, 120, 121, 122, 125, 126, 127

## **M**

Madeira-cimento 92, 96, 104

Materiais de construção 1, 15, 22, 43, 87

Meio ambiente 2, 50, 52, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 66, 68, 74, 75, 77, 90, 93, 101, 102, 103, 120, 127

Microestrutura 35, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 50, 84, 132, 140

## **O**

Óleo vegetal usado 59, 66

## **P**

Painéis 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113

Painéis aglomerados 102, 105, 106, 107, 109, 110, 111

Painéis de partículas 102, 106

Painéis OSB 102, 106, 107, 109, 110, 111

Pasta 10, 27, 30, 31, 33, 35, 39, 41, 42, 44, 47, 48, 49, 75, 76, 83, 85, 88, 89, 91, 137, 138, 140

*Paver* 52, 53, 55, 56, 57

*Pinus pinaster* 118, 119, 124, 125, 126

Propriedades mecânicas 17, 23, 28, 36, 49, 57, 73, 80, 84, 87, 112, 113, 122, 133

## **R**

Reaproveitamento de resíduos 59, 85, 92, 102, 103, 104

Rejeito de mineração de ferro 25, 43, 49

Rejeito de minério de ferro 25, 37, 39

Requisitos 16, 90, 106, 109, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 153, 166

Resíduos de construção 17, 23, 24

Resíduos de madeira 92, 93, 94, 95, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110



Resíduos industriais 1, 2, 58, 85, 86, 87, 105, 111

Resíduos vítreos 52, 53, 58

Resistência 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 44, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 73, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 99, 100, 105, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 168

Resistência mecânica à compressão 81, 128

Rochas 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 113, 130

## **S**

Substituição de aglomerante 52

Sustentabilidade 17, 39, 52, 59, 60, 72, 119, 127, 130

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



[www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)



[contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)



[@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)



[www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2021