

# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

#### **Conselho Editorial**

##### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Graeli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Willian 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. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª 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  
Profª Drª Gílrene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrão Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P474	Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 1)
Formato:	PDF
Requisitos de sistema:	Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso:	World Wide Web
Inclui bibliografia	
ISBN	978-85-7247-902-8
DOI	10.22533/at.ed.028200601
1.	Engenharia – Pesquisa – Brasil.
2.	Inovações tecnológicas.
3.	Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.
	CDD 658.5
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior   CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 1” contempla vinte e três capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas nas diversas áreas de engenharia.

Os resultados obtidos através de pesquisas científicas trazem benefícios a sociedade e promovem inovações tecnológicas, surgindo como uma engrenagem nas engenharias.

O estudo sobre o comportamento de determinados materiais sob determinadas situações permite avaliar e otimizar seu uso, proporcionando o controle das condições ideais, bem como viabilizando a utilização de determinadas matérias primas. Por sua vez, essas matérias primas podem trazer benefícios ao meio ambiente, bem como trazer resultados econômicos satisfatórios.

A avaliação de propriedades físicas e mecânicas de materiais permite também a sua utilização em diversos segmentos da engenharia, proporcionando o desenvolvimento de novos produtos, trazendo benefícios a sociedade.

Diante do exposto, esperamos que esta obra traga ao leitor conhecimento técnico de qualidade, fazendo com que o leitor reflita sobre o uso das pesquisas científicas e as inovações tecnológicas no desenvolvimento social, e faça uso dessas ferramentas na melhoria de qualidade de vida na sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
AÇÃO CORROSIVA DE SOLOS DO SUL DO BRASIL SOBRE ESTRUTURAS METÁLICAS	
Jessica Oliveira Ayres	
Matthews Teixeira Coutinho Devai	
Luciana Machado Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006011</b>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>10</b>
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINÉIS AGLOMERADOS CONFECCIONADOS COM PINUS, EUCALIPTO, BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA	
Estéfani Suana Sugahara	
Ana Laura Soler Cunha Buzo	
Raissa Pravatta Pivetta	
Sérgio Augusto Mello da Silva	
Elen Aparecida Martines Morales	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006012</b>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>21</b>
ANÁLISE EXPERIMENTAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM LAMINADOS DE PRFC	
Nara Villanova Menon	
Maicon de Freitas Arcine	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006013</b>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>35</b>
CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM EDIFÍCIO LITORÂNEO COM EXPANSÃO, FISSURAÇÃO COM ESFARELAMENTO E BAIXA RESISTÊNCIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO	
Renato Freua Sahade	
Fabiano Ferreira Chotoli	
Sérgio Soares de Lima	
Priscila Rodrigues Melo Leal	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006014</b>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>45</b>
CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO	
Paula Thais dos Santos Felix	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006015</b>	
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>55</b>
PINUS E EUCALIPTO PARA CONSTRUÇÕES LEVES EM MADEIRA (WOODFRAME) NO BRASIL: COMPARATIVOS, POSSIBILIDADES E DESAFIOS	
Mirna Mota Martins	
Júlia Cruz da Silva	
Matheus Fernandes Lima	
Rita Dione Araújo Cunha	

**CAPÍTULO 7 .....** **68**

**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DO DESLIZAMENTO PINO SOBRE DISCO DO AÇO ISI 4140 X H13**

Eric Elian Lima Espíndola  
Andrey Coelho das Neves  
Beatriz Seabra Melo  
Vinicius Silva dos Reis  
Milena Cristina Melo Carvalho  
Brenda Thayssa Figueira Daniel  
Rodrigo Ribeiro Lima  
Edgar Costa Cardoso  
Aélcio de Jesus Monteiro dos Santos  
Emerson Rodrigues Prazeres  
José Maria do Vale Quaresma

**DOI 10.22533/at.ed.0282006017**

**CAPÍTULO 8 .....** **81**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO TIPO COSTANEIRAS DE CORYMBIA CITRIODORA PARA APLICAÇÃO EM MÓVEIS E COMPONENTES DECORATIVOS**

Matheus Fernandes Lima  
Mirna Mota Martins  
Julia Cruz da Silva  
Sandro Fábio Cesar  
Rita Dione Araújo Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.0282006018**

**CAPÍTULO 9 .....** **94**

**AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE PAINÉIS EM MADEIRA PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS: RECOMENDAÇÕES PARA O DETALHAMENTO CONSTRUTIVO**

Mônica Duarte Aprilanti  
Simone Fernandes Tavares  
Akemi Ino

**DOI 10.22533/at.ed.0282006019**

**CAPÍTULO 10 .....** **108**

**COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL UTILIZANDO PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO DE ALTA DENSIDADE**

Lilian Cristina Ciconello  
Luciana Alves de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.02820060110**

**CAPÍTULO 11 .....** **121**

**INCIDÊNCIA DE DESCOLAMENTO EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS EM FACHADAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O PROJETO E A PRODUÇÃO**

Luciana Alves de Oliveira  
Luciana Araújo Mauricio Varella  
Renato Freua Sahade

**DOI 10.22533/at.ed.02820060111**

<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>133</b>
COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS DO <i>Eucalyptus urograndis</i> : CORPOS DE PROVA ISENTOS DE DEFEITOS X PEÇAS ESTRUTURAIS	
Fabiana Yukiko Moritani	
Carlito Calil Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02820060112</b>	
<b>CAPÍTULO 13 .....</b>	<b>145</b>
CROSS LAMINATED TIMBER VS CONCRETO: RESISTÊNCIA MECÂNICA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E DENSIDADE	
Aliane Cardoso de Almeida	
Rafaele Almeida Munis	
Jessé Salles Lara	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02820060113</b>	
<b>CAPÍTULO 14 .....</b>	<b>158</b>
DUREZA JANKA COMO ESTIMADOR DA DENSIDADE APARENTE E DAS RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO EM EUCALIPTO	
Takashi Yojo	
Cassiano Oliveira de Souza	
Maria José de Andrade Casimiro Miranda	
Sergio Brazolin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02820060114</b>	
<b>CAPÍTULO 15 .....</b>	<b>167</b>
ESTUDO COMPARATIVO DOS EFEITOS DE NANOFIBRAS DE SÍLICA, OBTIDAS VIA SBS, E ARGILA MONTMORILONÍTICA EM POLIAMIDA 66	
Edvânia Trajano Teófilo	
Gabriel Lucena de Oliveira	
Radamés da Silva Teixeira	
Cláudio Bezerra Martins Júnior	
Rosiane Maria da Costa Farias	
Aline Vasconcelos Duarte	
Ellen Cristine Lopes da Silva Bento	
Raí Batista de Sousa	
Francisco Diassis Cavalcante da Silva	
Francisca Maria Martins Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02820060115</b>	
<b>CAPÍTULO 16 .....</b>	<b>178</b>
ESTUDO DAS FORÇAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L	
Milla Caroline Gomes	
Márcio Bacci da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02820060116</b>	
<b>CAPÍTULO 17 .....</b>	<b>185</b>
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE FORNO DIDÁTICO PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO	
Carlos Eduardo Costa	
Jefferson Maiko Luiz	

Ivan Rodrigues dos Santos  
Emerson da Silva Seixas  
Milton Luis Polli

**DOI 10.22533/at.ed.02820060117**

**CAPÍTULO 18 ..... 194**

QUANTIFICAÇÃO DE HIDROGÊNIO EM CORPOS DE PROVA DE UM AÇO ARBL  
PARA ENSAIOS DE PUNCIONAMENTO ESFÉRICO

Luiz Fernando Maia de Almeida  
Rosenda Valdés Arencibia  
Sinésio Domingues Franco

**DOI 10.22533/at.ed.02820060118**

**CAPÍTULO 19 ..... 200**

METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA PRÉ-TRINCA POR FADIGA NO  
ENSAIO SNTT

Guilherme Bernardes Rodrigues  
Waldek Wladimir Bose Filho  
Sinésio Domingues Franco  
Rosenda Valdés Arencibia

**DOI 10.22533/at.ed.02820060119**

**CAPÍTULO 20 ..... 206**

BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS UTILIZANDO A MICROALGA *Synechococcus*  
*nidulans*

Juliana Silveira de Quadros  
Paulo Fernando Marques Duarte Filho  
Fernando Junges

**DOI 10.22533/at.ed.02820060120**

**CAPÍTULO 21 ..... 216**

DISTRIBUIÇÃO BIDIMENSIONAL DA PROFUNDIDADE DE MISTURA NO  
RESERVATÓRIO DE LAJEADO, TOCANTINS

Marcelo Marques  
Elaine Patricia Arantes  
Fernando Oliveira de Andrade  
Alexandre Kolodynskie Guetter  
Cristhiane Michiko Passos Okawa  
Isabela Arantes Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.02820060121**

**CAPÍTULO 22 ..... 227**

ESTUDO PROSPECTIVO E TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE SYNGAS  
UTILIZANDO CATALISADORES

Munique Gonçalves Guimarães  
Grace Ferreira Ghesti  
Camila Lisdália Dantas Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.02820060122**

**CAPÍTULO 23 .....** **240****UTILIZAÇÃO DE PELÍCULAS COMESTÍVEIS NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA  
DE MORANGOS**

Tatiane Barbosa dos Santos  
Matheus Luis Ferrari  
Marcio Eduardo Hintz  
João Paulo Brazão Gianini  
Rafael Rodrigo Bombardelli  
Idiana Marina Dalastra

**DOI 10.22533/at.ed.02820060123**

**SOBRE A ORGANIZADORA.....** **251****ÍNDICE REMISSIVO .....** **252**

## AÇÃO CORROSIVA DE SOLOS DO SUL DO BRASIL SOBRE ESTRUTURAS METÁLICAS

Data de aceite: 25/11/2019

### **Jessica Oliveira Ayres**

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA,  
Engenharia Química  
Campus Bagé, Bagé - RS

### **Matthews Teixeira Coutinho Devai**

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA,  
Engenharia Química  
Campus Bagé, Bagé - RS

### **Luciana Machado Rodrigues**

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA,  
Engenharia Química  
Campus Bagé, Bagé - RS

**RESUMO:** A corrosão é o ataque destrutivo de um material, ocasionado pela sua reação química ou eletroquímica com o meio. O comportamento do solo como meio corrosivo deve ser considerado, devido às grandes extensões de tubulações e tanques metálicos enterrados. Este trabalho tem como objetivo avaliar a ação corrosiva de solos coletados em municípios do sul do Brasil, Aceguá, Bagé e Candiota, sobre amostras de ferro e aço carbono, enterradas e monitoradas. Foram caracterizados o pH, a condutividade elétrica, e a morfologia, por microscopia óptica, dos solos. Os metais avaliados foram o ferro Armco e o aço carbono API 5L Grau B. A preparação dos

metais foi realizada por corte e lixamento. As amostras metálicas foram enterradas nos solos, e mantidas por 120 dias, sendo monitorada sua variação de peso e morfologia. Ao final da exposição dos metais nos solos foi determinada a taxa de corrosão, conforme a norma técnica ASTM G1-90 (*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion*). As amostras de aço e ferro sofreram um ataque corrosivo, detectado em curto tempo de exposição (30 dias), aumentando com o tempo. Este ataque se observou pela formação de depósitos de produtos de corrosão na superfície metálica. O solo de Bagé apresentou maior ação corrosiva sobre os metais, apresentando-se com o maior valor de condutividade elétrica e menor valor de pH.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corrosão; Solo; Metal; Tubulação; Eletroquímica.

### **CORROSIVE ACTION OF SOILS FROM SOUTHERN BRAZIL ON METAL STRUCTURES**

**ABSTRACT:** Corrosion is the destructive attack on material, caused by its chemical or electrochemical reaction with the medium. The behavior of the soil as a corrosive medium must be considered due to the large lengths of buried metal pipes and tanks. This work aims to evaluate the corrosive action of soils collected in

cities of southern Brazil, Aceguá, Bagé and Candiota, on buried and monitored iron and carbon steel samples. The pH, the electrical conductivity and the morphology by optical microscopy of the soils were characterized. The metals evaluated were Armco iron and API 5L Grade B carbon steel. The metals were prepared by cutting and sanding. The metallic samples were buried in the soil, and kept for 120 days, being monitored their weight and morphology variation. At the end of the exposure of metals in the soil, the corrosion rate was determined according to ASTM G1-90 (Standard Practice for Preparation, Cleaning, and Evaluation Corrosion). The steel and iron samples suffered a corrosive attack, detected in short exposure time (30 days), increasing over time. This attack was observed by the formation of deposits of corrosion products on the metal surface. Bagé soil presented the highest corrosive action on metals, presenting the highest electrical conductivity value and lower pH value.

**KEYWORDS:** Corrosion; Soil; Metal; Pipe; Electrochemistry.

## 1 | INTRODUÇÃO

A corrosão é o ataque destrutivo de um material, ocasionado pela sua reação química ou eletroquímica com o meio onde está inserido. As sérias consequências do processo de corrosão têm sido discutidas como uma problemática de abrangência mundial. A corrosão pode provocar paralisações de plantas industriais de produção, perda ou contaminação de produtos, redução da eficiência de equipamentos, custo de manutenção e reposição de materiais, comprometendo a segurança das pessoas e a preservação do meio ambiente (PANOSSIAN *et al.*, 1993).

A corrosão pode ocorrer em diferentes meios, como na atmosfera, em solos e carvões, em águas naturais, em produtos químicos, a altas temperaturas, em presença de microrganismos, entre outros (GENTIL, 2011).

O comportamento do solo como meio corrosivo deve ser considerado de grande importância, devido às grandes extensões de tubulações metálicas enterradas, como oleodutos, gasodutos, adutoras e minerodutos, e a grande quantidade de tanques metálicos enterrados para o armazenando de combustíveis (GENTIL, 2011).

A corrosão em tubulações ou tanques contendo combustíveis pode causar perfurações que provocam vazamentos, com a consequente contaminação de solos ou de lençóis freáticos, e com a possibilidade de incêndios e explosões (PANOSSIAN *et al.*, 1993).

As tubulações enterradas em solos, utilizadas em plantas de indústrias e nos sistemas urbanos de transporte de fluidos, são geralmente fabricadas em aço carbono ou ferro, pois estes metais apresentam boa relação custo/resistência mecânica, além de ser de fácil soldagem e conformação (TELLES, 2014). No entanto, estes metais são suscetíveis ao processo corrosivo por conter impurezas,

inclusões não-metálicas, por estar sob tensão, por operar a grandes pressões e diferenciadas temperaturas, e ainda, por estar enterrado em um ambiente rico em heterogeneidades e características promotoras da corrosão (CALLISTER, 2008).

Como o solo é um agregado de minerais, matéria orgânica, água, gases e microrganismos, pode causar corrosão por vários aspectos, como os elevados valores de acidez, condutividade elétrica, teor de umidade, grau de aeração, e sais (GENTIL, 2011).

Na região do Pampa Gaúcho os solos são férteis e normalmente empregados para o desenvolvimento de atividades agrícolas. A maioria destes solos é avermelhado, argiloso, e úmido, no entanto, algumas áreas do Pampa tem apresentado processo de desertificação, tornando-se arenoso, devido a retirada da vegetação nativa e sua substituição por monoculturas ou pastagens (STRECK *et al.*, 2008). A variação do tipo de solo encontrado nesta região torna complexa e difícil a previsão do seu comportamento frente ao contato com materiais metálicos, fazendo com que a problemática necessite de pesquisas locais.

O tema deste trabalho se justifica pela região do Pampa Gaúcho abrigar variadas indústrias, como de grãos e cereais, termoelétricas, de cimento, de abate e processamento de carnes, vinícolas, de mineração, têxtil, que empregam estruturas metálicas enterradas como tubulações, tanques de armazenamento, fundações, para sua produção e escoamento de produtos, sofrendo a influência do contato direto com os diferentes tipos de solos desta região (AYRES *et al.*, 2018).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de solos coletados nos municípios de Aceguá, Bagé e Candiota sobre amostras de ferro e aço carbono, enterradas e monitoradas durante 120 dias de exposição, a fim de conhecer a ação corrosiva dos solos sobre estes metais.

## 2 | METODOLOGIA

Os três municípios do sul do Brasil, nos quais foram coletadas amostras de solos, foram Aceguá (1), Bagé (2), e Candiota (3) indicados no mapa da Figura 1. As coletas das amostras de solos foram cuidadosamente procedidas, durante o mês de março de 2018, evitando-se o contato das amostras com qualquer utensílio metálico e empregando-se materiais plásticos novos e limpos, para se evitar contaminações, conforme a metodologia de coleta de solos descrita por Tedesco, 1995.



Figura 1 - Mapa dos municípios de coleta dos solos.

Fonte: Modificado de STRECK *et al.*, 2008.

Foram caracterizadas a morfologia dos solos, por microscopia óptica, em estereomicroscópio Motic, a condutividade elétrica, em condutivímetro digital portátil Hanna, e o valor de pH, por medidor de bancada Metrohm.

Os materiais metálicos avaliados foram o ferro Armco e o aço carbono API 5L Grau B. Para a maioria das aplicações industriais, o aço empregado é de baixo carbono, como os aços API (*American Petroleum Institute*). O aço API 5L Grau B apresenta o teor máximo de C de 0,27%, contendo ainda Mn, P, S, Si e Al. Nesta categoria dos aços de baixo carbono, pode-se incluir o ferro comercialmente puro, cujo tipo mais comum, é o chamado ferro Armco.

O ferro Armco, marca registrada pela *American Rolling Mills Company*, é um material de elevada pureza, pois apresenta um teor de impurezas, inclusive o carbono, inferior a 0,16%.

Tanto o ferro Armco, quanto o aço API, possuem boa soldabilidade e trabalhabilidade. No entanto, o ferro Armco possui maior resistência à corrosão. Ambos os metais são empregados na construção de estruturas industriais.

As amostras metálicas foram cedidas por empresa petroquímica. A preparação das amostras foi realizada por corte e lixamento até granulometria #2000 em lixas de carbeto de silício (lixas d'água). A morfologia das amostras foi analisada em estereomicroscópio Motic.

As amostras metálicas foram enterradas nos solos, e mantidas por 120 dias, sendo monitorada sua variação de peso, em balança analítica Mettler Toledo com resolução 0,1 mg, e morfologia, por microscopia óptica, em estereomicroscópio. Ao final da exposição das amostras metálicas em solos foi determinada a taxa de corrosão de acordo com a metodologia apresentada na norma técnica ASTM G1-90 (*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion*), utilizando-se a Equação 1:

$$Taxa\ de\ Corrosão\ (mm/ano) = \frac{K*W}{A*t*d} \quad (1)$$

na qual:

$K$  = constante para definir as unidades ( $8,76 \times 10^4$  mm/ano);

$t$  = tempo de exposição em h;

$A$  = área da amostra em  $\text{cm}^2$ ;

$W$  = perda de massa em g (após decapagem química com solução de Clarke);

$d$  = densidade do metal em  $\text{g.cm}^{-3}$  (aço carbono =  $7,86 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade elétrica das amostras de solos variou de  $0,77 \mu\text{S.cm}^{-1}$  (Aceguá) a  $6,70 \mu\text{S.cm}^{-1}$  (Bagé), e os valores de pH dos solos ficaram em cerca de 5,5, e 8,1 como mostrado na Tabela 1. A textura observada para as amostras de solos de Aceguá e Candiota foi arenosa, enquanto o solo de Bagé foi argiloso conforme a Figura 2. Na corrosão metálica em solos, o menor valor de pH e a maior condutividade elétrica implica em maior agressividade do meio (GENTIL, 2011).

Amostra de Solo	pH	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )
Aceguá	7,6	0,77
Bagé	5,5	6,70
Candiota	8,1	2,55

Tabela 1 - Caracterização dos solos.

Fonte: Autores, 2019.

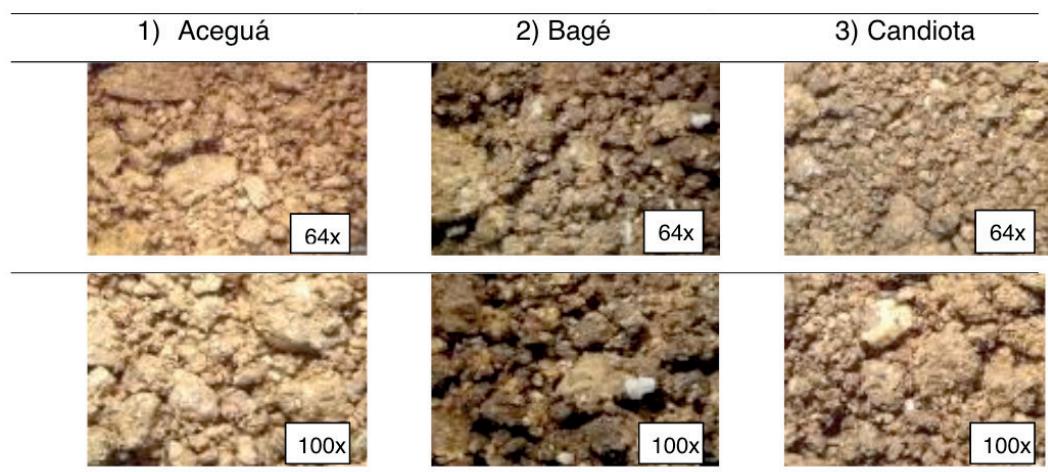


Figura 2 - Morfologia dos solos por microscopia.

Fonte: Autores, 2019.

A variação da massa das amostras metálicas enterradas, durante o tempo de exposição total de 120 dias, monitoradas a cada mês, refletiu, em geral, um aumento de peso para aço e Fe, em todos os solos, de acordo com a Tabela 2. Foi observado durante as pesagens que alguns depósitos já aderidos à superfície metálica se destacavam, o que produzia um valor de variação de massa menor do que realmente era constatado ao se remover o metal do solo. A tendência constatada foi de aumento da massa aderida às amostras metálicas, sendo que o solo de Bagé se destacou quanto à sua ação corrosiva, promovendo as maiores variações de massa sobre as superfícies metálicas. Analisando o comportamento dos solos de Aceguá e Candiota, pode-se verificar uma menor ação corrosiva, observando-se um menor e mais homogêneo ataque entre os dois metais. Quando o solo foi fortemente agressivo aos metais enterrados (Bagé) ambos, aço e Fe apresentaram densa camada de depósitos de corrosão aderidos à sua superfície.

Amostra de Solo	Amostra Metálica	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias
Aceguá	Aço	0,2	2,1	0,7	2,2
	Fe	0,3	0,9	0,5	0,7
Bagé	Aço	8,8	7,9	7,0	12,4
	Fe	5,0	12,0	12,0	17,1
Candiota	Aço	0,9	1,5	2,1	1,1
	Fe	0,3	0,4	0,0	2,0

Tabela 2 - Variação de massa das amostras de aço e Fe durante a exposição nos solos.

Fonte: Autores, 2019.

A morfologia do metal, observada por microscopia óptica, a uma magnificação de 40x de aumento, após exposição nos solos, apresentadas nas Figuras 3 e 4, indicou a formação de depósitos de corrosão, de óxidos alaranjados, sendo provavelmente  $Fe_2O_3$ , oriundo do ataque à matriz metálica, além de alguns pontos escuros de nucleação de ataque localizado ao metal. Nas imagens são destacados os pontos escuros nos metais, os quais provavelmente indicam a nucleação de ataques de corrosão localizada por pite.

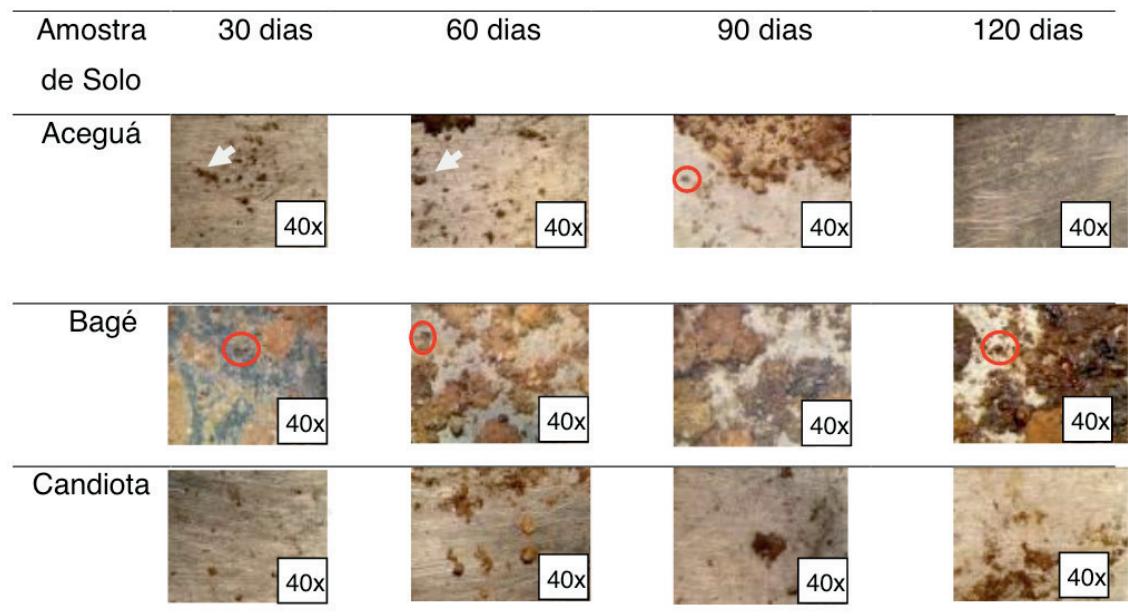


Figura 3 - Morfologia do Fe após exposição nos solos por microscopia.

Fonte: Autores, 2019.

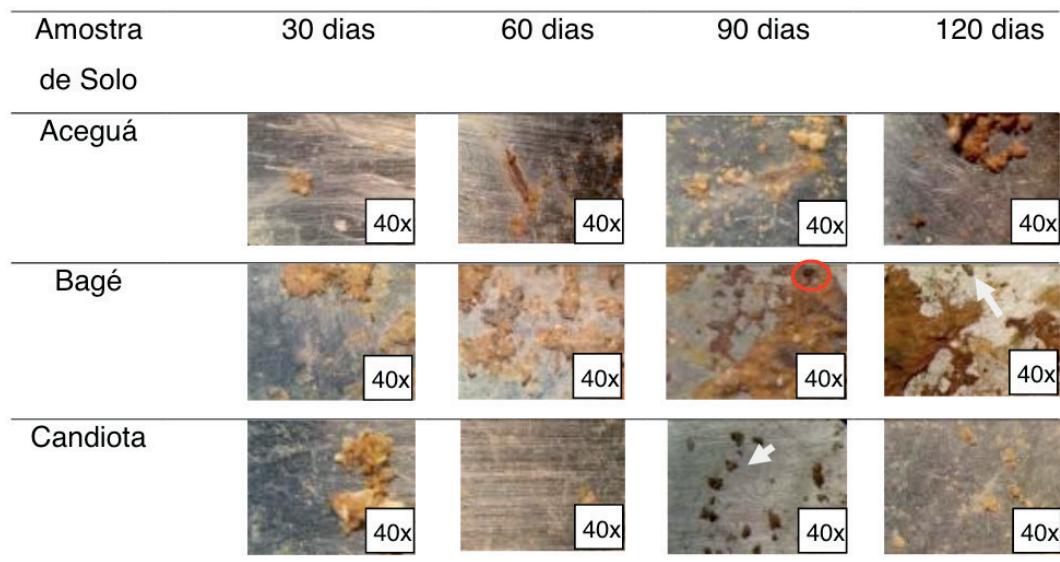


Figura 4 - Morfologia do aço após exposição nos solos por microscopia.

Fonte: Autores, 2019.

Uma comparação final entre a morfologia das amostras metálicas antes e após 120 dias de exposição no solo de maior ação corrosiva, Bagé, é apresentada na Figura 5. Constatou-se a intensa formação de depósitos de produtos de corrosão e possíveis pontos de nucleação de ataques localizados de corrosão.

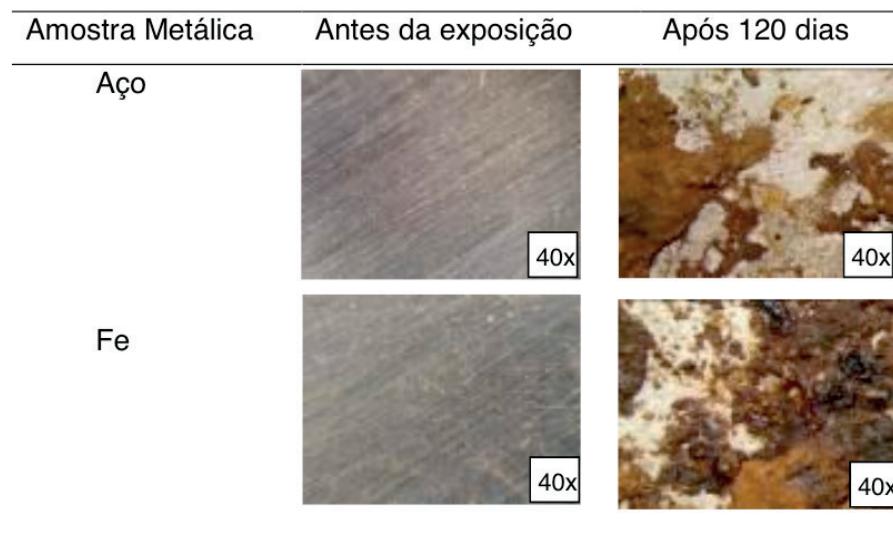


Figura 5 - Morfologia do aço e Fe antes e após a exposição no solo de Bagé por microscopia.

Fonte: Autores, 2019.

Após a exposição nos solos, as amostras metálicas foram limpas dos depósitos aderidos na sua superfície, por decapagem química em solução de Clarke e pesadas para a determinação da taxa de corrosão, conforme a norma técnica. Os valores para as amostras enterradas no solo de Bagé foram Fe 0,45 mm/ano e aço 0,38 mm/ano; em Aceguá, aço 0,12 mm/ano e Fe 0,05 mm/ano; e em Candiota, Fe 0,10 mm/ano e aço 0,07 mm/ano.

## 4 | CONCLUSÃO

Concluiu-se que amostras de aço carbono e ferro Armco expostas aos solos coletados nos municípios de Aceguá, Bagé e Candiota foram susceptíveis a um ataque corrosivo, detectado já em curto tempo de exposição (30 dias), aumentando com o tempo de contato com os solos. Este ataque inicial se observou pela formação de depósitos de produtos de corrosão na superfície metálica, sendo composto provavelmente por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

O solo de Bagé apresentou uma maior ação corrosiva sobre os metais analisados, apresentando-se com o maior valor de condutividade elétrica, menor valor de pH e argiloso. Os maiores valores de taxa de corrosão metálica foram Fe 0,45 mm/ano e aço 0,38 mm/ano.

É de suma importância o conhecimento das características e do comportamento de solos para predizer a degradação de metais enterrados e seu tempo de vida útil.

## REFERÊNCIAS

AYRES, J. O.; DEVAI, M. T. C.; RODRIGUES, L. M. **Avaliação da ação corrosiva de solos dos**

**municípios Aceguá, Bagé e Candiota sobre estruturas metálicas.** In: 10º SIEPE – Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA. Anais do 10º SIEPE, v.2. Santana do Livramento, 2018.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** LTC, Rio de Janeiro, 2008. 705p.

GENTIL, V. **Corrosão.** LTC, Rio de Janeiro, 6<sup>a</sup> ed., 2011. 392p.

PANOSSIAN, Z., ALMEIDA, N. L., OHBA, M. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas.** IPT, São Paulo, 1993. 2v. 636p.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; Klamt, E.; NASCIMENTO, P. C. **Solos do Rio Grande do Sul.** EMATER, Porto Alegre, 2<sup>a</sup> ed., 2008. 126p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2<sup>a</sup> ed., Depto. de Solos, Porto Alegre, UFRGS, 1995. 174p.

TELLES, P. C. S. **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem.** LTC, Rio de Janeiro, 10<sup>a</sup> ed., 2014. 252p.

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINÉIS AGLOMERADOS CONFECCIONADOS COM PINUS, EUCALIPTO, BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA

Data de aceite: 25/11/2019

### **Estéfani Suana Sugahara**

Universidade Estadual Paulista - UNESP,  
Departamento de Engenharia Civil. Ilha Solteira,  
São Paulo, Brasil

### **Ana Laura Soler Cunha Buzo**

Universidade Estadual Paulista - UNESP,  
Departamento de Engenharia Civil. Ilha Solteira,  
São Paulo, Brasil

### **Raissa Pravatta Pivetta**

Universidade Estadual Paulista - UNESP,  
Departamento de Engenharia Civil. Ilha Solteira,  
São Paulo, Brasil

### **Sérgio Augusto Mello da Silva**

Universidade Estadual Paulista - UNESP,  
Departamento de Engenharia Civil. Ilha Solteira,  
São Paulo, Brasil

### **Elen Aparecida Martines Morales**

Universidade Estadual Paulista - UNESP,  
Departamento de Engenharia Industrial  
Madeireira. Itapeva, São Paulo, Brasil

Trabalho originalmente publicado nos Anais eletrônicos do XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira.

**RESUMO:** O aproveitamento de resíduos objetivando agregar valor ao produto apresenta-se como uma boa alternativa para a fabricação de painéis aglomerados. Assim, o presente

trabalho se constitui de um estudo comparativo entre painéis aglomerados confeccionados com partículas de resíduos de madeira de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*, partículas de madeira da espécie *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, associados à bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), utilizando como aglomerante o adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona. Confeccionaram-se 8 painéis, 4 para as misturas de eucalipto e 4 para as de pinus, considerando-se 60% de madeira e 40% de bagaço de cana-de-açúcar, 10% de resina em função da massa seca das partículas, teor de umidade de 10%, densidade nominal de 800 kg.m<sup>-3</sup>, pressão de prensagem de 50 kgf.cm<sup>-2</sup> e temperatura de prensagem de 100°C por 10 minutos. Decorridas 72h, os painéis foram esquadrijados e retirados dos painéis 10 corpos-de-prova para avaliação de cada propriedade, com base na Norma Brasileira 14810-2013. Com os ensaios, determinou-se: densidade; teor de umidade; inchamento após 24h; módulo de resistência à flexão, módulo de elasticidade e adesão interna. A caracterização dos painéis indicou que as propriedades são compatíveis com a referida Norma brasileira. Pôde-se observar que uma maior porcentagem de madeira na mistura resultou em propriedades mecânicas superiores e que os painéis de Pinus apresentaram melhores resultados se

comparados aos painéis de Eucalipto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Painéis aglomerados. Bagaço de cana-de-açúcar. Eucalipto. Pinus. Resina poliuretana à base de óleo de mamona.

## COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN AGGLOMERATED PANELS PRODUCED WITH PINUS, EUCALYPTUS, SUGARCANE BAGASSE AND CASTOR OIL-BASED POLYURETHANE RESIN

**ABSTRACT:** The use of waste in order to add value to the product has been presented as a good alternative for the production of particleboards. Thus, the present work presents a comparative study between agglomerated boards made with wood residues particles of *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus camaldulensis*, wood particles of the species *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* with sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum L.*), using as binder the polyurethane adhesive derived of castor oil. Eight boards were made, four of eucalyptus blends and four of pine blends, consider 60% of wood and 40% of sugarcane bagasse, using 10% of resin in function on oven dried mass of the particles, moisture content of 10%, nominal density of 800 kg.m<sup>-3</sup>, pressing pressure of 50 kgf.cm<sup>-2</sup> and pressing temperature of 100 °C for 10 minutes. After 72h, the boards were squared and ten specimens were removed for evaluation of properties Brazilian Standard 14810-2013, or each property evaluated. The values obtained with the tests were: density; moisture content; swelling after 24h; strength in static bending, elasticity modulus and internal adhesion. The physical and mechanical tests performed for boards made with pine and eucalyptus presented results according to the parameters defined by the standart. It can be observed that a higher percentage of wood in the mixture resulted in superior mechanical properties and that the Pinus bords showed better results when compared to the Eucalypt boards.

**KEYWORDS:** Particleboards. Sugarcane bagasse. Eucalyptus. Pinus. Polyurethane resin based on castor oil.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Iwakiri *et al.* (2005), devido à indisponibilidade de madeira de boa qualidade, surgiram na Alemanha no início da década de 40 os painéis de madeira aglomerada.

Lahr (2008) descreve que os painéis de madeira aglomerada são produtos amplamente utilizados no Brasil. Uma das vantagens destes painéis é a utilização em potencial das espécies de madeira, assim como dos resíduos oriundos de serraria ou da indústria de beneficiamento de madeiras. Outra vantagem é a possibilidade de obter propriedades menos discrepantes em suas direções preferenciais.

Cerca de 90% de toda a madeira produzida para fins industriais no Brasil provém de uma área de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, ocupando

uma importante posição no cenário econômico, sendo responsável por 6,2% do PIB Industrial do País. Em 2016, o Brasil manteve sua liderança no ranking global de produtividade florestal: a média dos plantios de eucalipto foi de 35,7 m<sup>3</sup>/ha ao ano, enquanto a de pinus chegou a 30,5 m<sup>3</sup>/ha ao ano (CNI, 2017).

Sabe-se que o bagaço de cana-de-açúcar constitui um dos mais significativos resíduos sólidos gerados na agroindústria sucroalcooleira em virtude da quantidade gerada (SANCHEZ *et al.*, 2010). De acordo com o CONAB (2017), a produção de cana-de-açúcar estimada para a safra 2017/18 no Brasil será de 647,6 milhões de toneladas, com área a ser colhida prevista em 8,84 milhões de hectares. Uma grande parte do bagaço da cana-de-açúcar é queimada para o fornecimento de energia. No entanto, considerando a grande quantidade dessa matéria-prima produzida, devem-se aumentar as aplicações do bagaço de cana-de-açúcar restante (HOAREAU *et al.*, 2006).

Sartori (2012) afirma que a descoberta da resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona aconteceu em função do avanço das pesquisas ocasionadas pela tendência mundial de utilizar produtos biodegradáveis, não poluentes e originados de insumos renováveis.

Dentre os produtos à base de madeira, os painéis aglomerados, apresentam uma das maiores taxas de crescimento nacional e mundial, fato atribuído à quantidade de produtos disponíveis e facilidade de aplicações para fins variados (BERTOLINI, 2011). Estima-se que a maior parte da produção brasileira de aglomerados ainda é destinada à indústria moveleira e que aproximadamente 4% destinam-se ao segmento da construção civil, como pisos residenciais, divisórias, forros e elementos integrantes de estruturas de escadas (ABIPA, 2010).

No Brasil as indústrias de derivados de madeira estão investindo na produção de painéis aglomerados de média densidade (MDP), este produto é uma evolução dos painéis aglomerados, entretanto, esses produtos não são indicados para peças que exijam usinagens em baixo relevo, entalhes ou cantos arredondados (EUCATEX, 2007).

Segundo Freire *et al.* (2003), o bagaço de cana-de-açúcar é altamente apropriado para a fabricação de aglomerados, polpa celulósica e alguns tipos de papel.

A importância de se discutir o aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar está na possibilidade de redução de custos para as usinas sucroalcooleiras e, concomitantemente, diminuição do impacto ambiental (COSTA, 2010).

Considerando-se o contexto que envolve o aproveitamento com destinação ambientalmente adequada dos resíduos da produção sucroalcooleira no Brasil, este trabalho propõe confeccionar e avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de média densidade confeccionados com misturas de partículas de 3 espécies de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*)

e misturas de partículas de 2 espécies de pinus (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), associados a partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), utilizando como aglutinante o adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona.

## 2 | REVISÃO DE LITERATURA

No trabalho de Barros Filho *et al.* (2011) foram desenvolvidos, caracterizados e comparados painéis de aglomerados feitos com uma mistura de bagaço de cana-de-açúcar e partículas de pinus e eucalipto, com resinas de ureia-formaldeído (UF) e melamina-formaldeído (MF) com e sem parafina na formulação. Sob testes mecânicos, na maioria dos casos, os resultados foram próximos ou superiores aos obtidos na literatura.

Santos *et al.* (2014) efetuaram uma avaliação do ciclo de vida da produção de painéis aglomerados de resíduos de cana-de-açúcar e aparas de madeira de pinus ligados com adesivo UF. Os resultados mostram que os painéis de aglomerados feitos de bagaço de cana tinham os menores impactos em relação ao consumo de recursos não renováveis. Além disso, descobriu-se que o principal impacto ambiental foi o uso do adesivo UF, responsável pela contaminação de aproximadamente 7800000 m<sup>3</sup> de ar por m<sup>2</sup> de aglomerado produzido, sendo o fator com maior impacto no potencial de toxicidade humana. Assim, os resultados reforçam a necessidade de pesquisas sobre adesivos mais ecológicos, que possam ser utilizados em escala industrial, com preços acessíveis e que propiciem propriedades físicas e mecânicas semelhantes de painéis de aglomerados com adesivos UF.

Dias (2005), em seus estudos, analisou o desempenho de painéis compensados e aglomerados empregando-se resina poliuretana à base de mamona na adesão dos painéis, utilizando lâminas de madeira de espécies *Eucalyptus saligna*, para confecção de compensado e uma composição de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Pinus elliottii*, com variações nas temperaturas de prensagem (60 e 90°C) e adição de parafina para confecção dos aglomerados. O desempenho de ambos os painéis atingiu os requisitos normativos, caracterizando a resina à base de mamona como promissora na fabricação destes produtos.

O objetivo do estudo de Garzón-Barrero *et al.* (2016) foi avaliar o desempenho de um painel de partículas de bagaço de cana-de-açúcar com resina poliuretana de óleo de mamona em comparação à um painel de partículas de madeira de média densidade (MDP) comercial, após 12 meses de exposição a intempéries naturais e por um teste acelerado de crescimento de mofo em condições laboratoriais. O ensaio de flexão mostrou que os painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar apresentam melhor desempenho do módulo de elasticidade (7,7 MPa) em

comparação com os painéis comerciais de partículas de madeira (3,6 MPa) após exposição a testes acelerados para colonização por mofo. Os resultados obtidos possibilitaram inferir que o revestimento de superfície com resina de poliuretana à base de mamona reduz o crescimento de mofo, portanto, esses resultados suportam o uso potencial dessa resina alternativa tanto como aglutinante quanto como revestimento superficial para painéis.

Belini *et al.* (2011) também utilizaram partículas de bagaço de cana-de-açúcar para produzir painéis com fibras de *Eucalyptus grandis*, atingindo bons resultados para as propriedades físicas e mecânicas, atendendo às especificações atuais.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizadas partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) coletadas em usinas sucroalcooleiras da região noroeste do Estado de São Paulo, partículas de madeira da espécie *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* coletadas em serrarias da cidade de Ilha Solteira – SP e partículas de madeira da espécie *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*, constituídas de resíduos provenientes do descascamento das árvores utilizadas para a produção de celulose na Indústria de Papel e Celulose Eldorado Brasil, localizada no município de Três Lagoas – MS.

Todo o material coletado foi seco ao sol e em seguida foi realizada uma seleção manual para retirada de corpos estranhos, inadequados para a produção dos painéis.

A Figura 1 ilustra o material preparado para ser processado em moinho de facas, com o objetivo de ajustar as dimensões das partículas, em uma faixa de 2 a 6mm de comprimento.

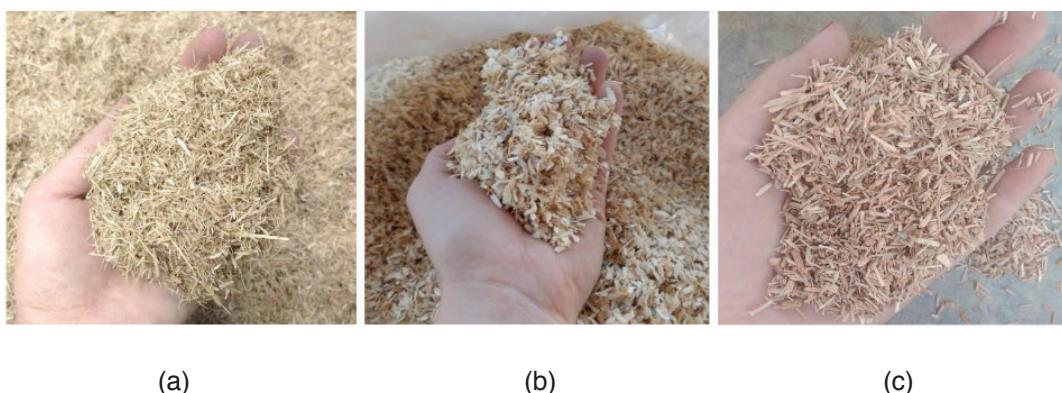


Figura 1 – Material utilizado para confecção dos painéis

(a) Partículas de bagaço de cana-de-açúcar, (b) Partículas de Pinus (c) Partículas de Eucalipto.

As partículas de bagaço de cana-de-açúcar, pinus e eucalipto foram classificadas quanto à sua granulometria, por meio de um ensaio adaptado, utilizando como

referência a NBR NM 248 (ABNT, 2003), no qual utilizou-se um agitador de partículas com sistema vibratório. O referido ensaio possibilitou determinar o módulo de finura da mistura de partículas de acordo com as porcentagens retidas de material em cada peneira do conjunto. Após a classificação granulométrica as partículas foram selecionadas considerando-se adequada a faixa de 2 a 6mm, e em seguida foram secas em estufa até atingirem umidade em torno de 10%.

Os painéis foram produzidos com dimensões de 35 x 35 x 1 cm e densidade nominal de 800 kg.m<sup>-3</sup> e a partir da densidade nominal, foram calculadas as massas das partículas para confecção dos painéis de acordo com as porcentagens definidas para os tratamentos propostos (Tabela 1).

Tratamentos	Eucalipto (%)	Pinus (%)	Bagaço (%)	Resina (%)
T <sub>1</sub>	-	40	60	10
T <sub>2</sub>	-	60	40	10
T <sub>3</sub>	40	-	60	10
T <sub>4</sub>	60	-	40	10

Tabela 1- Tratamentos propostos para os painéis

Os painéis foram confeccionados empregando-se o adesivo bicomponente PU-Mamona na proporção de 1:1, onde a Figura 1 ilustra o referido adesivo na proporção utilizada para confecção dos painéis. Os procedimentos para homogeneização do adesivo foram realizados em duas etapas, primeiramente de forma manual e depois utilizando-se uma encoladeira rotacional de partículas, propiciando assim uma maior homogeneização da resina bicomponente e, consequentemente, cura adequada da resina.



Figura 2 - Resina PU-Mamona

Após homogeneização do PU-Mamona às partículas, realizou-se a confecção do colchão de partículas, que se constituiu em uma pré-prensagem, utilizando-se uma prensa manual e aplicando-se força de 5 toneladas sobre a massa de partículas com PU-Mamona depositada no interior de uma formadora de colchão. Em seguida,

o colchão de partículas foi levado à prensa hidráulica com pressão aferida para 50 kgf.cm<sup>-2</sup> e temperatura de 100 °C durante 10 minutos de prensagem, com tempo inicial de 3 minutos e intervalos para alívio de pressão por 30 segundos, objetivando-se evitar a concentração de gases no interior dos painéis. Este procedimento foi utilizado para produzir dois painéis para cada tratamento, dos quais foram obtidos dez corpos de prova para avaliação e caracterização de cada propriedade.

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Propriedades físicas

Analizando-se as propriedades físicas dos painéis produzidos ilustradas no Gráfico 1, pode-se observar que, de uma maneira geral os painéis com partículas de Pinus (T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>) e Eucalipto (T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>) obtiveram resultados compatíveis com os estipulados pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

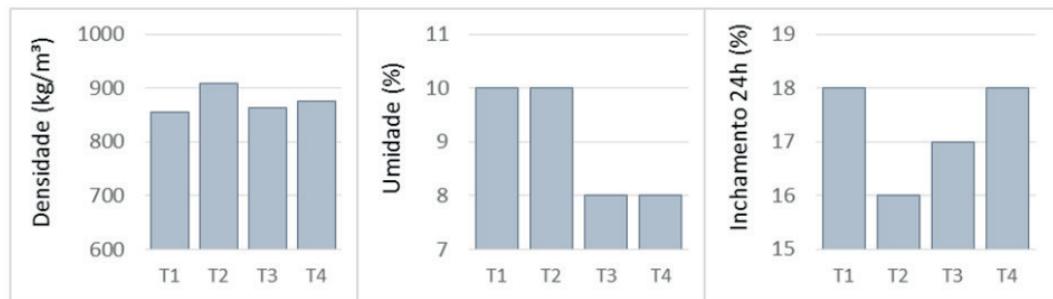


Gráfico 1 - Propriedades físicas determinadas

Com relação à densidade aparente média, os painéis de todos os tratamentos apresentaram valores superiores aos preconizados pela NBR (550 a 750 Kg.m<sup>-3</sup>). Entretanto, quanto à umidade dos painéis, nota-se que não houve variação significativa em relação à porcentagem de madeira na mistura, apenas se comparados os dois tipos de partículas de madeira, onde os painéis de Pinus obtiveram porcentagem de umidade superior aos painéis de Eucalipto. Observa-se também que todos os painéis obtiveram resultados dentro do intervalo ideal de 5 a 13%, estipulado pela Norma.

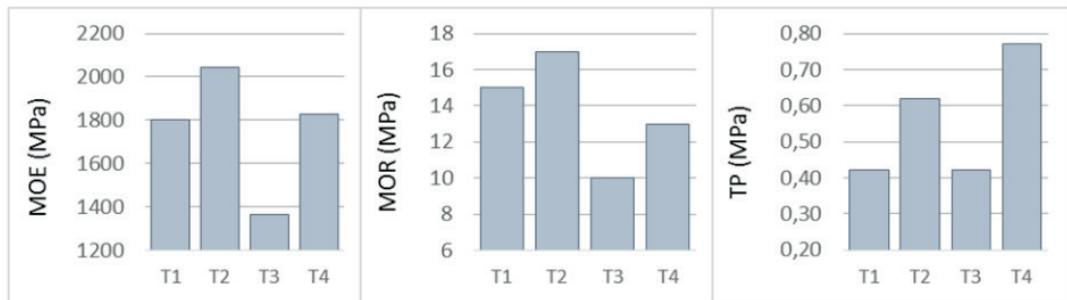
Com relação ao inchamento 24h, todos os painéis referentes aos tratamentos apresentaram valores inferiores ao máximo proposto pelo instrumento normativo (18%). Segundo Fiorelli *et al.* (2011), o ensaio de inchamento fornece indicações sobre as condições de adesão interna que constituem o painel quando submetido à imersão em água.

Fiorelli *et al.*, (2012) afirmam que imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) indicaram que o adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona ocupa as lacunas entre as partículas, um fator que contribui para a melhoria das

propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

#### 4.2 Propriedades mecânicas

No Gráfico 2, verificam-se os valores determinados para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados confeccionados de acordo com os tratamentos  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ .



De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013), os valores de módulo de elasticidade (MOE), módulo de resistência à flexão estática (MOR) e tração perpendicular (TP), devem ser de, no mínimo, 1800 MPa, 11 MPa e 0,40 MPa respectivamente.

Observa-se no Gráfico 2, com relação ao MOE os painéis de Pinus dos tratamentos  $T_1$ ,  $T_2$  e de Eucalipto do tratamento  $T_4$ , atenderam aos requisitos normativos, entretanto, para os painéis de Eucalipto do tratamento  $T_3$ , os valores de MOE não atenderam ao especificado pela NBR.

Com relação ao MOR, os painéis de Pinus dos tratamentos  $T_1$ ,  $T_2$  e de Eucalipto do tratamento  $T_4$ , também atenderam aos requisitos normativos, enquanto que, os painéis de Eucalipto do  $T_3$  não atenderam às exigências da NBR.

Verifica-se ainda no Gráfico 2 que todos os valores de Tração Perpendicular alcançaram o estipulado no requisito normativo, com resultados superiores aos propostos pela NBR.

Uma explicação plausível para os resultados de resistência mecânica obtidos pode ser explicado por Sanchez *et al* (2010), ou seja, devido ao seu alto teor de hemicelulose (27%) e lignina (21%), o bagaço de cana-de-açúcar apresenta menor resistência à tração e menor módulo de elasticidade se comparado às partículas de madeira, fato que também pode ser observado no Gráfico 2, onde os resultados obtidos para  $T_1$  e  $T_3$  (40% de madeira e 60% de bagaço de cana-de-açúcar) foram consideravelmente menores aos obtidos em  $T_2$  e  $T_4$  (60% de madeira e 40% de bagaço de cana-de-açúcar).

Ressalta-se ainda, que os resultados obtidos para as propriedades mecânicas, no presente estudo, são coerentes com os realizados por Iwakiri *et al.* (2001) que

estudou cinco espécies de *Pinus* tropicais. *Pinus oocarpa*, *P. caribaea*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi*, *P. tecunumannii* e a mistura destas. Com base nos resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis concluíram que os mesmos também apresentam grande potencial para utilização na produção de madeira aglomerada. Fato que também foi observado por Iwakiri *et al.* (2000), na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *E. citriodora* e *E. pilularis* e misturas destas espécies com aplicação de resina UF na proporção de 8 e 12%.

## 5 | CONSIDERAÇÕES

Os resultados deste estudo indicam que os painéis confeccionados com pinus e eucalipto em associação a bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana derivada de óleo de mamona apresentaram valores de propriedades físicas e mecânicas compatíveis com as especificações atuais definidas pela NBR 14810-2:2013.

Assim, é possível concluir que é viável a utilização de bagaço de cana-de-açúcar em associação a pinus e eucalipto, utilizando-se 10% de adesivo PU-Mamona para confecção de painéis aglomerados, e que além da contribuição ambiental é uma solução viável para a fabricação de painéis que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil.

Com relação à influência das proporções de bagaço de cana-de-açúcar e de madeira nos painéis, pode-se observar que a maior porcentagem de madeira na mistura resultou em melhores propriedades mecânicas. De forma geral, para os tratamentos propostos, os painéis de pinus se apresentaram com melhores resultados, em relação aos painéis de partículas de resíduos de eucalipto. Considerando-se os resultados obtidos, conclui-se que os melhores painéis correspondem ao tratamento T<sub>2</sub>, constituído com 60% de *Pinus* e 40% de bagaço de cana-de-açúcar possibilitando classificar esses painéis, de acordo com a NBR14810-2:2013, como “Painéis não estruturais para uso interno em condições secas”.

Verificou-se também a necessidade de realização de ajustes de parâmetros para confecção dos painéis com o objetivo de melhorar suas propriedades.

## REFERÊNCIAS

ABIPA - Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Madeira**. São Paulo: Teses, 2010.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade - Parte 2: Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BARROS FILHO, R. M. *et al.* Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 33, n. 2, p.369-373, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.007>.

BELINI, U. L. *et al.* Pilot study for MDF manufacture from sugarcane bagasse and eucalyptus fibers. **European Journal Of Wood And Wood Products**, [s.l.], v. 70, n. 4, p.537-539, 17 set. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-011-0577-4>.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservantes CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Florestas plantadas**: oportunidades e desafios da indústria de base florestal no caminho da sustentabilidade. Brasília: CNI, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de- açúcar**: V. 4 - SAFRA 2017/18 N.1 - Primeiro levantamento. Brasília, 2017.

COSTA, P. R. O.; DUARTE, F. S.; A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da Fatea**, v. 3, n. 3, p. 2-107, 2010.

DIAS, F. M. **Aplicação de adesivo poliuretano à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada.** 2004. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, São Carlos, 2005.

EUCATEX. **MDP Eucatex**: Botucatu: Marketing Industria, 2007. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasprofcamargo/mdpluciane.ppt>

FIORELLI, J. *et al.* Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, n.4, p.401-406, 2011.

FIORELLI, J. *et al.* Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 40, p.69-75, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.033>.

FREIRE, W. J. *et al.* **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Unicamp, 331 p., 2003.

GARZÓN-BARRERO, N. M. *et al.* Evaluation of mold growth on sugarcane bagasse particleboards in natural exposure and in accelerated test. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 115, p.266-276, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.006>.

HOAREAU, W. *et al.* Fiberboards Based on Sugarcane Bagasse Lignin and Fibers. **Macromolecular Materials And Engineering**, [s.l.], v. 291, n. 7, p.829-839, 14 Jul. 2006. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/mame.200600004>.

IWAKIRI, S. *et al.* Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de Eucalyptus saligna, Eucalyptus citriodora e Eucalyptus pilularis. **Floresta e Ambiente**, Si, v. 7, n. 1, p.251-256, jan. 2000.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.137-142, jan. 2001.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, v. 68, n. 1, p.39-43, ago. 2005.

LAHR, F. A. R. **Produtos derivados da madeira**. São Carlos: EESC-USP, 2008. 166 p.

SANCHEZ, E. M. S. *et al.* **Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar**: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.194-200, 2010.

SANTOS, M. F. N. *et al.* Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum* spp.) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 64, p.345-355, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.039>.

SARTORI, D. L. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 131f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

## ANÁLISE EXPERIMENTAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM LAMINADOS DE PRFC

Data de aceite: 25/11/2019

### Nara Villanova Menon

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, PR.

### Maicon de Freitas Arcine

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, PR.

### Juliana Penélope Caldeira Soares

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, PR.

com laminados apresentaram uma grande capacidade residual, demonstrativo da sua grande ductilidade para grandes deformações. O melhor desempenho deve ser atribuído aos laminados inseridos, pois apresentam alta eficácia, não ocorre desprendimento das lâminas e aumentam consideravelmente a capacidade resistente ao cisalhamento.

**PALAVRAS CHAVE:** concreto armado; reforço estrutural; vigas; cisalhamento; materiais compósitos de PRFC.

### EXPERIMENTAL ANALYSIS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH CFRP PLATES

**ABSTRACT:** The present work studied the behavior of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) composite used as strengthening and rehabilitating structural material in reinforced concrete (RC) beams submitted to shear stress. The current state of the knowledge related to this issue is presented, and different conceptual and design models for shear strengthening of RC beams with CFRP systems are introduced. Four strengthening systems were studied in this research. The study was carried out in conventional RC beams, which were shear strengthened with CFRP plates. Different external bonding positions of the strengthening plates, either on or inside the internal steel

**RESUMO:** A engenharia civil nas últimas décadas tem reconhecido a necessidade crescente de reforçar ou reabilitar as estruturas de concreto armado. Avaliar a resistência e o modo de colapso de vigas de concreto armado reforçadas ao esforço cortante com laminados e tecidos de PRFC (Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono) externamente colados foi o objetivo desta pesquisa. Desenvolveu-se um programa experimental onde dezessete vigas dimensionadas com a mesma armadura longitudinal de flexão e com deficiente armadura convencional de cisalhamento foram ensaiadas. Quatro sistemas de reforços foram avaliados. Após atingir a carga máxima, as vigas reforçadas

stirrups were analyzed; an aspect that had not been mentioned in the specific literature before. The results obtained in the tests are interpreted, discussed and evaluated. These results indicate that the techniques used in this study, to shear strengthen RC beams with CFRP, are viable. They also showed that CFRP laminated plates embedded into slits cut on the beam's lateral surface was the most effective technique.

**KEYWORDS:** Reinforced concrete, structural strengthening, rectangular beams, shearing, CFRP.

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido à sua curta existência em relação a outros materiais já consagrados, a utilização de PRF (Polímeros Reforçados com Fibras) não é muito difundida no mercado da construção civil e ainda necessita de estudos mais aprofundados para o aperfeiçoamento dos modelos de equações de projeto já existentes.

As primeiras pesquisas foram realizadas no Japão, há aproximadamente 25 anos, devido aos problemas com abalos sísmicos. O reforço estrutural com fibra de carbono é feito de maneira que os nós da estrutura sejam enrijecidos, evitando assim a liquefação, que é o efeito causado pelo abalo sísmico. Atualmente, usa-se o reforço em estruturas novas como forma de prevenção.

Após os japoneses, os americanos começaram a empregar o reforço para projetos aeroespaciais da NASA, estendendo-se posteriormente para projetos automobilísticos, como revestimento de carros de Fórmula 1, a fim de evitar o esmagamento dos membros inferiores dos pilotos no caso de acidentes.

Segundo Hollaway (2004), em meados dos anos 80 realizaram-se os primeiros ensaios em vigas de concreto reforçadas com PRF efetuados no EMPA (Laboratório Suíço de Materiais), em Zürich. A intenção desse estudo seria a substituição de chapas de aço, inicialmente usadas para reforço, pelos compósitos, devido à suas melhores propriedades mecânicas, facilidade de aplicação e leveza.

Para tal fim, escolheu-se a fibra de carbono, pois essa apresenta um módulo de elasticidade mais alto e compatível com as deformações do concreto armado. Além disso, a matriz mais compatível com tal fibra demonstrou ser a resina epóxi, pois aglutina melhor, tem maior aderência e apresenta uma cura sem retração.

Em 1991, executou-se a primeira obra real com reforço de fibra de carbono, sendo essa a ponte Ibach em Lucerna (Suíça). Nos anos posteriores, realizaram-se mais obras, mas ainda com caráter experimental. Em 1995 o uso sistêmico do método construtivo foi estabelecido e começou-se a comercialização, especialmente na Suíça e Alemanha. (TÄLJSTEN, 1997)

Na América Latina, a utilização de reforço com PRF ainda é defasada em relação ao Japão, Estados Unidos e Europa, nos quais já existem, comitês de organizações

profissionais que publicaram códigos normativos, boletins, recomendações e guias de projetos.

Esta pesquisa analisou quatro sistemas de reforços ao cisalhamento em vigas de concreto armado: sistemas laminados em tiras, laminados em L, laminados embutidos no concreto e faixas de tecido de PRFC.

## 2 | UTILIZAÇÃO DE COMPÓSITOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na engenharia civil, a utilização de compósitos pode ser dividida da seguinte forma:

- a) reabilitação: que consiste na restauração da capacidade estrutural de um elemento danificado para a situação anterior a manifestação do processo de degradação ou sinistro;
- b) reforço: consiste na alteração das características da estrutura existente buscando adequá-la a novos parâmetros devido a mudança e/ou aumento das cargas atuantes.

Os estudos sobre reforço de estruturas de concreto com compósitos foram iniciados na década de 90 e a utilização desta técnica tem crescido rapidamente nos últimos anos. Os materiais compostos ou compósitos avançados competem diretamente com as técnicas de reforço tradicionais, como alargamento da seção transversal, protensão externa e placas de aço coladas externamente (KHALIFA e NANNI, 1999).

Os compósitos com PRF oferecem muitas vantagens em relação a outros materiais para reforço como: excelente resistência à corrosão, resistência aos agentes ambientais, alta relação rigidez-peso e resistência-peso e fácil aplicação.

O aparente alto custo dos PRF em comparação com as técnicas convencionais é o maior obstáculo para o emprego dos PRF como material de reforço de estruturas, porém a comparação com base no preço unitário não é apropriada. Quando o custo da instalação é levado em consideração, o material composto pode competir com os materiais convencionais. O baixo peso dos PRF reduz as despesas com transporte e alguns sistemas pré-fabricados reduzem o tempo no local de trabalho. Se a comparação inclui custos de ciclo de vida, os PRF podem ter uma vantagem significativa (TALJSTEN, 2003).

Os sistemas de compósitos com PRFC têm sido utilizados na construção civil para o reforço em vigas, lajes, paredes, pilares, chaminés, reservatórios, silos, tanques, túneis e tantos outros elementos estruturais sujeitos à deterioração, acréscimo nos carregamentos previstos ou deformações excessivas causadas por mudança de utilização, erros de projeto ou construção, alteração das normas, reabilitação após abalos sísmicos ou após incêndio (Sika, 2003).

Quando aplicado em vigas de concreto, conforme ilustrado na Figura 1, o sistema em PRFC pode reforçar a flexão, ao cisalhamento e à torção.

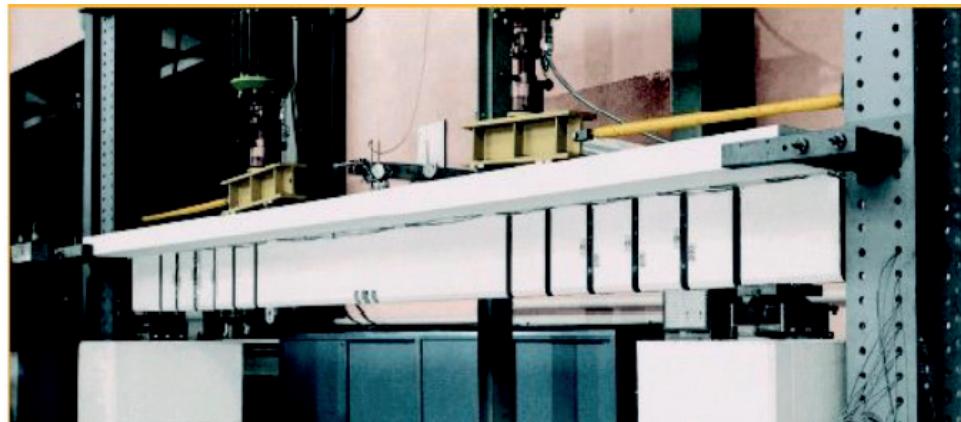


Figura 1: Ensaio de viga reforçada ao cisalhamento no EMPA

Fonte: Sika (2003).

A utilização do reforço em vigas inclui:

- pontes moldadas “*in loco*” ou pré-fabricadas, metálicas, vigas compostas de madeira laminada colada;
- estruturas para estacionamento;
- aplicações industriais: apoios para equipamentos, estruturas elevadas.

O sistema de reforço é indicado para aumentar a resistência à flexão e à força cortante no reforço de paredes de concreto ou alvenaria com cargas excessivas paralelas ou perpendiculares às mesmas, bem como sujeitas a impactos provenientes de explosões. Nas paredes, a utilização do reforço inclui: paredes de concreto, alvenaria ou pré-moldadas; parede submetida a recalque diferencial; parede de tanque; muro de arrimo; poço de elevador; estrutura industrial exposta a cargas de explosão e melhorias para combater abalos sísmicos.

O reforço com PRFC aumenta a resistência à flexão e à compressão por confinamento quando aplicado em pilares, Figura 2. O sistema de reforço com fibras de carbono é ideal em aplicações para carregamento contínuo. Quando aplicado em pilares, o sistema de reforço inclui:

- a) recomposição após abalos sísmicos;
- b) pontes, edifícios, ancoradouros.

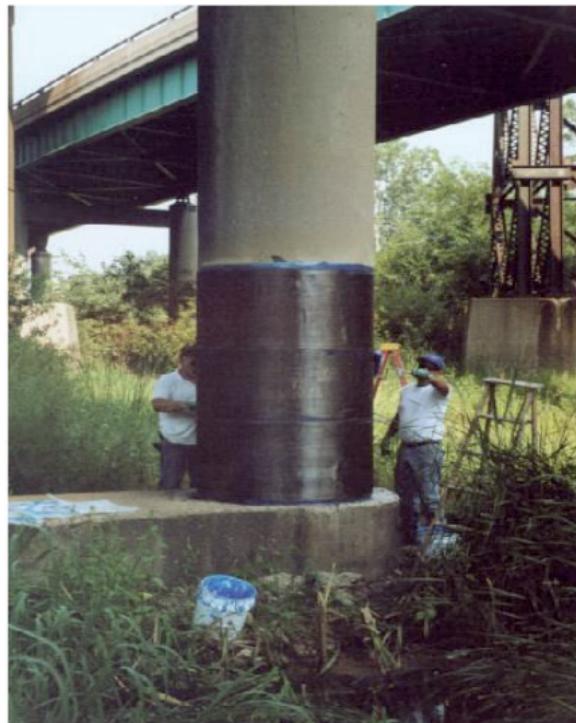


Figura 2: Encamisamento de pilar

Fonte: Master Builders (2001).

Em tubulações ou túneis, quando ocorre excesso de carga lateral, o reforço estrutural com PRFC é utilizado para diminuir a curvatura e o esforço circunferencial.

A Figura 3 ilustra a inclinação excessiva em chaminés devida à carga de vento (a) e o reforço estrutural com PRFC executado para aumentar a resistência à compressão por confinamento (b).

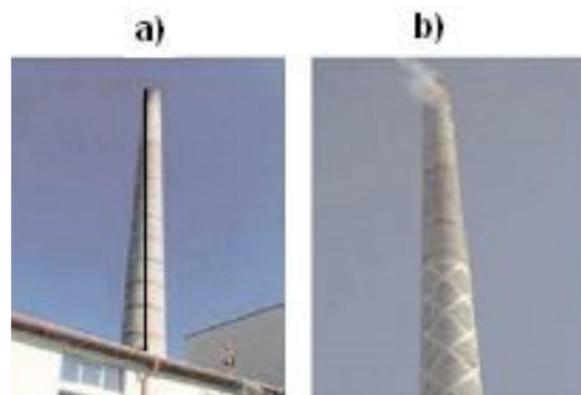


Figura 3: a) Chaminé antes do reforço e b) após reforço

Fonte: Master Builders (2001).

O reforço estrutural com PRFC é utilizado em silos e tanques para eliminar o excesso de esforço circunferencial que provoca propagação de trincas em estruturas hidráulicas.

Com o sistema de reforço em PRFC aplicado externamente nas lajes, orientado em uma ou duas direções, as cargas sobre as lajes podem ser aumentadas e as

deformações podem ser controladas. Conforme ilustra a Figura 4, a aplicação de fibras ao longo da face interior da laje melhora tanto sua capacidade de carga como também diminui a sua deformação, permitindo que esta absorva maiores momentos positivos.



Figura 4: Reforço em lajes

Fonte: Master Builders (2001).

Para poder entender e predizer até certo ponto o comportamento dos materiais compostos é necessário conhecê-los um pouco mais, tanto nas características dos materiais como no comportamento destes durante seu processo de aplicação, sem necessidade de entrar necessariamente em aspectos muito complexos de engenharia química.

## 2.1 Definição de compósito

Um compósito é um material estrutural formado pela união de dois ou mais materiais de naturezas diferentes. Os constituintes são combinados ao nível macroscópico sendo que um deles é denominado de fase de reforço e o outro é responsável pela impregnação do reforço, conhecido como matriz (Figura 5). O material resultante possui comportamento superior àquele de seus componentes tomados separadamente. O material utilizado no reforço geralmente é um arranjo de fibras, contínuas ou não, de um material resistente que são impregnadas em uma matriz com resistência mecânica inferior às fibras.

Os compósitos são constituídos essencialmente por duas fases, conforme ilustra a Figura 5. Uma delas, as fibras, apresenta grande resistência, elevado módulo de elasticidade e tem a forma de filamentos de pequeno diâmetro. A outra fase é macia e tem características sinérgicas e denomina-se matriz. Esta última, sendo relativamente dúctil, envolve completamente a primeira fase, permitindo boa transferência de tensões entre as fibras interlaminares e no plano (conceito de

sinergia).

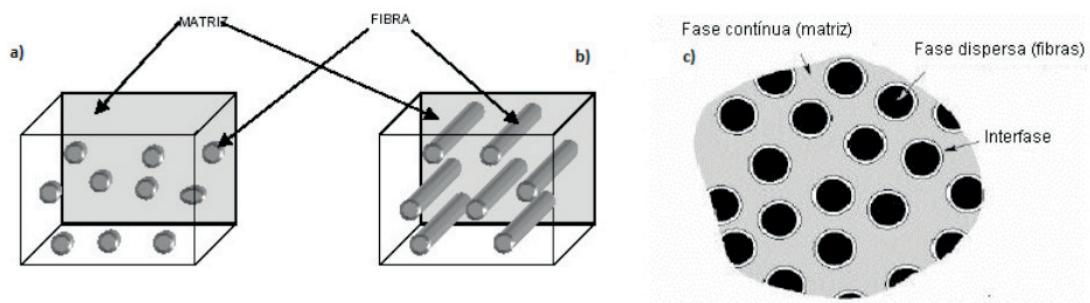


Figura 5: Compósitos reforçados com a) partículas e com b) fibras c) Representação esquemática das fases constituintes de um compósito

Fonte: CNR-DT-200 (2004).

Da conjugação destas duas fases nasce a verdadeira força geradora dentre os compósitos reforçados com fibras e as suas relevantes propriedades mecânicas, físicas e químicas quando comparados com os homólogos tradicionais. Embora o comportamento global de um compósito esteja condicionado pelo critério de composição, pelo processo de fabricação e pelos objetivos estruturais na fase de utilização, apresenta propriedades potenciais de interesse para a engenharia. Estas propriedades são: as elevadas resistência e rigidez, o seu baixo peso específico, a excelente resistência à agressividade ambiental, bem como a possibilidade em admitir propriedades direcionais a nível estrutural, elétrico e magnético, variáveis de acordo com a conveniência (Hull, 1987).

### 3 | METODOLOGIA

Com o objetivo de estudar a influência do reforço na resistência ao esforço cortante e o comportamento de diversos sistemas de reforços ao cisalhamento com PRFC, norteando-se numa ampla revisão bibliográfica, descreve-se o programa experimental desenvolvido. O trabalho experimental foi executado no laboratório de estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

Baseando-se nos estudos experimentais de López *et al.* (2005), Timoner *et al.* (2005), Pellegrino *et al.* (2006) e Chaallal (2006) optou-se por um ensaio em três pontos com uma carga assimétrica situada a 0,63 metros do apoio esquerdo conforme ilustra a Figura 6.

Menon (2008) para sua tese de doutorado analisou experimentalmente 38 vigas, com seção transversal retangular, divididas em cinco séries de acordo com o sistema de reforço adotado. Quatro séries com quatro vigas cada, denominadas (VC,VCL,VCE,VCT) e uma viga que serviu como referência (VR) serão

detalhadas neste trabalho. As quatro vigas que compõem a série que foram reforçadas com lâminas de PRFC cobrindo duas faces das vigas denominam-se VC. As vigas da série onde foram utilizados laminados em forma de L que cobriam três faces das vigas são as VCL. A série VCE foi reforçada por laminados inseridos no concreto de recobrimento a 450 e a série VCT por vigas reforçadas nas quatro faces por faixas de tecido. Uma viga foi utilizada como referência (VR). Todas as vigas foram igualmente dimensionadas: distância entre vãos de 222 cm e seção transversal de 12x25cm. As armaduras longitudinais de tração e compressão são compostas por duas barras de aço CA-50 com 16 mm de diâmetro. A armadura transversal foi subdimensionada, composta por estribos de aço CA- 60 de 4,2 mm de diâmetro com espaçamento de 18 cm. Para o reforço foram utilizadas quatro alternativas. Na Figura 6 apresenta-se o esquema das vigas ensaiadas com laminados e faixas de tecido a 90°.

O programa experimental avaliou os deslocamentos verticais abaixo da carga concentrada aplicada, que foram determinados através de um transdutor de deslocamento potenciométrico com curso de 100 mm. Para que os objetivos desta pesquisa fossem satisfatoriamente atingidos, especial atenção à extensometria tornou-se necessária. Para avaliação das deformações nos estribos, foram colocados extensômetros (KFG-2-120-C1-11) protegidos com massa para calafetar e fita isolante. Nas vigas reforçadas foi utilizado somente um extensômetro do tipo (KC-70-120-A1-11), posicionado no concreto entre as lâminas de reforço, disposto a 45°. Sobre as lâminas e tecido de fibra de carbono foram colados extensômetros do tipo (KFRP-5-120-C1-1). As aberturas das fissuras foram estudadas durante e após o término dos ensaios.

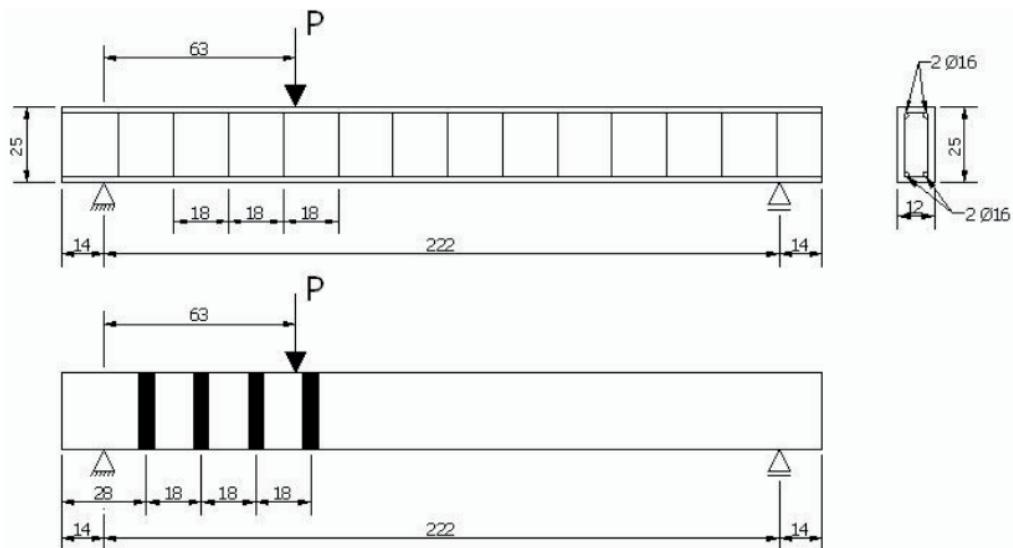


Figura 6: Representação esquemática das vigas reforçadas

Fonte: Menon (2008).

### 3.1 Caracterização dos materiais

#### 3.1.1 Concreto e aço das armaduras

A avaliação da resistência à compressão do concreto foi efetuada experimentalmente aos 28 dias e nas datas das realizações dos ensaios das vigas. Foram utilizados 10 corpos de prova, de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura, para a obtenção do valor da resistência média aos 28 dias ( $f_{cm}$ ) e três para as outras datas. Na Tabela 1 apresentam-se os resultados dos ensaios efetuados para a caracterização do concreto e do aço segundo as normas da ABNT NBR 5739/2007 e NBR 6152/2002.

	dias	$F_{cm}$ (MPa)		
Concreto	28	31,9		
	60	32,2		
	90	34,7		
Aço	Amostra	Diâmetro (mm)	Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
	1	4,2		790,96
	2	4,2		805,61
	1	16,0	591,74	730,97
	2	16,0	606,66	740,95

Tabela 1: Características do concreto e do aço das armadura

Fonte: Menon (2008).

#### 3.1.2 Sistemas de PRFC

Para a pesquisa foram utilizados dois sistemas de compósitos de PRFC laminados pré-fabricados, Sika Carbodur S 512, Sika Carboshear L 4/20/50 (laminados) e Sikawrap- 230 C (tecido). As características dos materiais constituintes dos sistemas adotados foram obtidas das fichas técnicas disponibilizadas pelo fornecedor Sika, que se encontram resumidas na Tabela 2.

Tipo	Materiais	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação unit. ruptura (%)	Espessura (mm)
Sika Carbodur S 512	laminado	2800	165	1,9	1,2
Sikadur – 30	adesivo	-	10	-	-
Sika Carbochear – L 4/20/50	laminado	2250	120	1,7	1,4
Sikawrap – 230 C	tecido unidirecional	3450	234	1,5	0,12
Sikadur - 330	adesivo	-	45	-	-

Tabela 2: Características dos constituintes dos sistemas de PRFC

Fonte: Menon (2008).

### 3.2 Técnica de aplicação do reforço

Cada tipo de reforço utilizado envolveu técnicas de preparo diferentes. Os pré-fabricados (laminados) ilustrados na Figura 7 exigiram as seguintes tarefas: 1) abertura de faixas no recobrimento do concreto nas três faces das vigas através de um esmeril, com cerca de 50 mm de largura e 15 mm de profundidade; 2) aplicação de jatos de ar para eliminar as impurezas; 3) aplicação do adesivo nas faixas e nos laminados; 4) colagem dos laminados nas faixas abertas no concreto.



Figura 7: Sistemas de reforço utilizando Sika Carbodur e Sika Carboshear L

Fonte: Menon (2008).

O sistema pré-fabricado (embutidos) inserido em ranhuras efetuadas no concreto de cobrimento das faces laterais das vigas envolveu as seguintes tarefas: 1) abertura das ranhuras no concreto de recobrimento das faces das vigas, com cerca de 5 mm de largura e 15 mm de profundidade; 2) limpeza das ranhuras com aplicação de ar comprimido; 3) corte dos laminados com esmeril; 4) limpeza dos laminados com acetona industrial; 5) aplicação do adesivo nas ranhuras e nos laminados; 6) inserção dos laminados nas ranhuras e retirada do excesso de adesivo com uma espátula.

Já o sistema curado “*in situ*” (tecido) exigiu as seguintes tarefas: 1) preparação da superfície através de um esmeril e abertura de faixas com cerca de 50 mm de largura; 2) aplicação de jatos de ar para eliminar as impurezas; 3) aplicação de uma camada de primário com rolo de espuma para melhorar a aderência concreto-PRFC ; 4) colagem do tecido recorrendo a uma resina epoxídica.



Figura 8: Sistemas de reforço utilizando a) laminados inseridos e b) faixas de tecido

Fonte: Menon (2008).

### 3.3 Análise experimental

Conforme ilustrado na figura 9 o sistema de ensaio experimental foi constituído por: macaco hidráulico manual, célula de carga, transdutor de deslocamento potenciométrico e três tipos de extensômetros da marca KYOWA (KFG-2-120-C1-11 para aço, KC-70-120-A1-11 para concreto e KPRF-5-120-C1-1 para PRFC), que foram estrategicamente localizados nos estribos, no concreto e nos reforços de PRFC, através de  $\frac{1}{2}$  ponte de Wheatstone. Estes instrumentos estavam ligados em um sistema de aquisição de dados, sendo que os valores das medidas indiretas foram obtidos e armazenados no computador através de softwares apropriados.



Figura 9: Sistema de ensaio

Fonte: Menon (2008).

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais são mostrados na Tabela 3. Para cada grupo de sistema de reforço são apresentados: a carga máxima de ruptura, valores teórico e experimental das forças cortantes últimas, deslocamento no ponto de aplicação da carga concentrada, o modo como se romperam e a normalização das medidas.

Viga	Carga ruptura (kN)	V última teórico (kN)	V última experimental (kN)	Incremento (%)	Deslocamento (cm)	Incremento (%)	Modo de ruptura
VR	77,71	37,71	55,86		1,11		Cisalhamento
VC1	109,07	54,58	78,12	40,35	1,75	57,66	Descolamento
			82,68	48,55	5,25	372,97	Cisalhamento
VC2	115,44	54,58	68,87	23,74	1,39	25,22	Flexão
VC3	96,16		84,57	51,95	6,38	474,77	Descolamento
VC4	118,08						Cisalhamento

VCL1	105,20	51,07	75,35	35,38	4,51	306,31	Flexão
VCL2	105,20		81,86	47,01	4,47	302,70	Flexão
VCL3	113,10		81,00	45,54	5,08	357,66	Flexão
VCL4	115,30		82,58	48,37	3,83	245,05	Flexão
VCE1	118,60	51,07	84,94	52,62	5,63	407,21	Flexão
VCE2	117,30		84,01	50,95	6,65	499,10	Flexão
VCE3	128,6		92,11	65,49	7,09	538,74	Flexão
VCE4	118,5		84,87	52,50	5,67	410,81	Flexão
VCT1	117,40	28,93	84,08	51,07	5,16	364,86	Flexão
VCT2	120,0		85,95	54,42	5,37	383,78	Flexão
VCT3	114,60		82,08	47,47	4,84	336,04	Flexão
VCT4	116,60		83,51	50,05	5,66	355,04	Flexão

Tabela 3: Principais resultados dos ensaios

Fonte: Menon (2008).

A viga referência rompeu-se pela ocorrência de uma fissura de cisalhamento no vão de cisalhamento após desenvolvimento de pequenas fissuras de flexão. As vigas VC1, VC3 tiveram um modo de ruptura frágil ocasionado pelo descolamento da segunda e terceira faixas de laminado no vão de cisalhamento. Este fato ocasionou a abertura excessiva de uma fissura de cisalhamento e pela formação de pequenas fissuras de flexão e cisalhamento ao longo da viga, ocorrendo também o rompimento da armadura transversal. As vigas VC2 e VC4 apresentaram ruptura dúctil, pois se romperam por fissuras de flexão. Estas duas últimas vigas apresentaram alta ductilidade, sendo que a viga VC4 atingiu um deslocamento 474% maior que o da viga de referência. As vigas do grupo VCL romperam por flexão, onde a região de tração atingiu o seu máximo e apresentaram pequenas fissuras de cisalhamento e flexão ao longo da viga. Nestas vigas a carga residual do valor próximo da correspondente carga máxima foi mantida até flechas elevadas.

Os sistemas de reforços com laminados garantiram um aumento em torno de 50% das suas capacidades de carga das vigas. Mas o melhor desempenho dos laminados é mais notório em termos de ductilidade. As vigas que não tiveram descolamento do sistema de reforço atingiram deslocamentos entre 300% e 470% superiores ao da viga referência.

O melhor desempenho dos laminados foi o fornecido pelo sistema de laminados inseridos no concreto recobrimento. Em termos de ductilidade é notório que neste programa experimental este sistema de reforço atingiu 538.74% sendo que Dias e Barros (2003) atingiram 1006% de acréscimo em seus protótipos. As vigas reforçadas com laminados inseridos no concreto de recobrimento apresentaram modo de ruptura mais dúctil que o verificado no sistema que utilizou tecido de PRFC ou laminados

colados nas faces das vigas.

O sistema de reforço que utilizou faixas de tecido de PRFC apresentou bom desempenho, demonstrando constância nos resultados dos protótipos ensaiados. Apesar de vários autores afirmarem que o sistema de reforço com tecido apresenta ruptura mais frágil, as vigas analisadas neste estudo mostraram-se tão eficientes quanto os sistemas que utilizaram laminado.

## 5 | CONCLUSÕES

Os reforços que utilizaram o sistema Sika Carboshear L apresentaram mais eficácia, pois o mesmo comportamento foi verificado em todas as vigas ensaiadas. Quando se utilizou sistema Sika Carbodur as vigas romperam-se de duas formas: quando não havia o descolamento das lâminas, este sistema mostrou-se tão eficiente quanto o outro. Mas quando as lâminas descolavam, com cargas em torno de 50 kN o ganho era pequeno e apresentavam ruptura frágil.

O melhor desempenho deve ser atribuído aos laminados inseridos, pois apresenta alta eficácia, não ocorre desprendimento das lâminas e aumenta consideravelmente a capacidade resistente ao cisalhamento. Ainda pode-se acrescentar a notória ductilidade que este sistema proporciona nas vigas reforçadas.

O sistema de reforço que utilizou faixas de tecido de PRFC apresentou um bom desempenho, apresentando constância nos resultados dos protótipos ensaiados e mostra-se tão eficiente quanto o sistema que utilizou laminados em forma de L.

A utilização de compósitos de PRFC colados externamente como elementos resistentes ao esforço cortante permite aumentos significativos na capacidade de carga das vigas de concreto armado. Após atingir a carga máxima, as vigas reforçadas com laminados apresentaram uma grande capacidade residual, demonstrativo da sua alta ductilidade para grandes deformações.

## REFERÊNCIAS

ABNT\_NBR 5739. **Concreto- ensaios de compressão de corpos de –prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

ABNT\_NBR 6152. **Materiais metálicos-Ensaio de tração à temperatura ambiente.** Rio de Janeiro, ABNT, 2002.

CNR-DT 200/2004. **Guide for the design and construction of externally bonded frp systems for strengthening existing structures.** Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction, Rome-Italy, 2004.

DIAS, S.; BARROS, J. **Materiais compósitos de CFRP no reforço ao corte de vigas de betão armado.** 3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Maputo, Moçambique, p. 539-550. Ago. 2003.

HOLLAWAY, L. C. **Development and review of advanced polymer/fibre composites used in the European construction industry.** II FC INTERNATIONAL, v. 1, n.1, May 2004.

HULL, D. **An introduction to composite materials.** Cambridge University Press, Great Britain. 1987.

KHALIFA, A.; NANNI A. **Rehabilitation of rectangular simply supported rc beams with shear deficiencies using frp composites.** Construction and Building Materials, Apr. 1999.

MASTER BUILDER. **Externally bonded FRP reinforcement system.** Disponível em: <<http://www.mbrace.com>>. Acesso em: 20 abr. 2001.

MENON, N.V. **Estudo experimental de sistemas de reforço ao cisalhamento em vigas de concreto armado utilizando-se polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC).** Tese (Doutorado em Estruturas). 327f. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2008.

SIKA. **Guía de diseño e instalación sistema Sika Carbodur.** Sika Colombia S.A., Set. 2003. CD-ROM.

TÄLJSTEN, B. **Strengthening of concrete structures for shear with bonded CFRP fabrics. Recent advances in bridge engineering.** U. Meier and R. eds. EMPA. p. 67-74, Switzerland, 1997.

TÄLJSTEN, B. Strengthening concrete Beams for Shear with CFRP sheets. **Construction and Building Materials**, Elsevier, USA, 2003.

## CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM EDIFÍCIO LITORÂNEO COM EXPANSÃO, FISSURAÇÃO COM ESFARELAMENTO E BAIXA RESISTÊNCIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO

Data de aceite: 25/11/2019

### **Renato Freua Sahade**

Mestre, Eng.º Civil, Docente da Pós-Graduação INBEC/UNIP e Univ. Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo – SP

### **Fabiano Ferreira Chotoli**

Mestre, Químico, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT  
São Paulo – SP

### **Sérgio Soares de Lima**

Eng.º Químico, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT  
São Paulo – SP

### **Priscila Rodrigues Melo Leal**

Mestre, Geóloga, Pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT  
São Paulo – SP

**RESUMO:** Este trabalho apresenta os resultados de ensaios de caracterização da argamassa de revestimento de fachada de um edifício de 20 pavimentos tipo, que vem apresentando expansão, fissuração com esfarelamento e baixa resistência mecânica ao longo de seus 12 anos. Os sinais e sintomas observados remetiam ao uso indevido de gesso de construção pulverizado na etapa final do acabamento da argamassa. Contudo, durante os ensaios de avaliação química, notou-se

que não fora este o precursor da manifestação patológica observada. Para a caracterização mecânica, utilizou-se da inspeção visual aliada aos ensaios de avaliação qualitativa de aderência por percussão e à tração. Para a caracterização química e mineralógica foram realizados ensaios de difração de raios-X (DRX), reconstituição de traço, análise termogravimétrica diferencial (TG/DTG) e análise petrográfica. Os resultados das análises mecânicas indicaram que todo o revestimento de fachada estava comprometido. Os dados dos ensaios de laboratório apontaram para a inexistência de etringita nas amostras e a presença abundante de grãos de escória anidra, sem evidência de hidratação, e elevada quantidade de ar incorporado, com comprometimento da aderência do agregado à pasta de cimento. Dada à recorrência dos problemas observados em revestimentos de fachada, este trabalho permite mostrar a relevância de algumas técnicas de caracterização associados à inspeção de argamassas, visando aperfeiçoar a conclusão da hipótese diagnóstica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argamassa de revestimento, ensaios de caracterização, escória, cura, manifestação patológica.

CHARACTERIZATION OF COATING  
MORTARS IN FACADE OF COASTAL

# BUILDING WITH EXPANSION, CRACKING WITH CRUMBLING AND LOW MECHANICAL RESISTANCE: CASE STUDY

**ABSTRACT:** This work presents the results of characterization tests in the coating mortar of a building of 20 floors, which has presented expansion, cracking with crumbling and low mechanical resistance throughout its 12 years. The preliminary observed signs referred to the inappropriate use of pulverized gypsum in the final stage of the coating mortar applying. However, during chemical evaluation tests, it was noted that this was not the precursor to the pathological manifestation observed. For the mechanical characterization, visual inspection was used in conjunction with the qualitative evaluation of percussion and tensile strength tests. X-ray diffraction (XRD), mix proportion analyses, differential thermogravimetric analysis (TG / DTG) and petrographic analysis were performed for chemical and mineralogical characterization. The results of the mechanical analysis indicated that the entire coating mortar is compromised. The data from the laboratory tests indicate the absence of ettringite in the samples and the abundant presence of anhydrous slag grains or without evidence of hydration, and a high amount of incorporated air, with low adhesion of aggregate to the cement paste. Considering the recurrence of the pathologies observed in facade cladding, this work allows to show the relevancy of the data of some characterization techniques associated to the visual inspection, focusing to adequate conclusion of the diagnostic hypothesis.

**KEYWORDS:** coating mortar, characterization techniques, slag, curing, pathological manifestation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Dada à relevância e recorrência dos problemas observados em revestimentos argamassados de fachada desde o “boom” da construção civil no Brasil na década de 2010 – expansão, fissuração, descolamentos, desagregamentos e baixas resistências mecânicas, este trabalho objetiva apresentar algumas técnicas avançadas de caracterização de materiais associadas à inspeção de argamassas que, tanto a engenharia de recuperação quanto a forense, vêm se utilizando para a correta conclusão da hipótese diagnóstica.

Fruto de uma perícia judicial onde, durante a diligência dos fatos observados, houve a necessidade da contratação de um profissional patologista especializado em revestimentos argamassados diante dos sintomas e sinais que a edificação vinha apresentando ao longo de seus 12 anos, o sucesso deste trabalho só foi possível por meio de equipes multidisciplinares de engenheiro, químicos e geólogo.

Para o entendimento do desempenho de uma argamassa de revestimento em serviço, bem como sua durabilidade é importante o conhecimento de técnicas avançadas de caracterização das argamassas disponíveis em laboratórios

especializados (OLIVEIRA et al, 2015), associado aos ensaios consagrados como o de percussão (NBR 13749) e o de resistência de aderência (NBR 13528).

## 2 | INFORMAÇÕES PRELIMINARES

Trata-se de uma edificação residencial localizada na região litorânea de São Paulo, em frente ao mar, com 20 pavimentos tipo, em estrutura convencional reticulada de concreto armado (lajes, vigas e pilares), cuja vedação vertical é formada por alvenaria de blocos cerâmicos revestida com chapisco, argamassa única (emboço) e acabamento superficial com revestimento sintético texturizado acrílico.

O “Habite-se” da edificação é de dezembro de 2005 e os primeiros sintomas foram observados nas fachadas já em 2006, menos de um ano após a entrega do empreendimento aos usuários. Com o passar dos anos, devido ao agravamento dos sintomas, em 2014 o Condomínio inicia uma demanda judicial cujo resultado, em função das análises aqui apresentadas, será a completa remoção e a recomposição de todo o sistema de revestimento da fachada.

## 3 | SINAIS E SINTOMAS OBSERVADOS

Os sinais e sintomas detectados durante a inspeção das fachadas são observados na Figura 1.



Figura 1 – Sintomas observados: expansão e fissuração com esfarelamento do sistema de revestimento das fachadas.

Fonte: autor.

## 4 | METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Os sinais e sintomas observados remetiam ao uso indevido de gesso de construção salpicado entre as camadas de argamassa com o objetivo de diminuir o tempo de pega entre estas. Desta forma, as análises químicas foram direcionadas para a detecção de excesso de teores de sulfato nas argamassas, como primeira hipótese diagnóstica.

Para a caracterização mecânica dos revestimentos, realizou-se a inspeção visual da edificação aliada a ensaios de avaliação qualitativa de aderência por percussão e por resistência à tração.

Para identificação da composição química e mineralógica das argamassas foram realizados ensaios de difração de raios-X (DRX), determinação do tipo de ligante por análise química, das proporções dos materiais utilizados (ligantes e agregados) por reconstituição de traço, análise termogravimétrica diferencial (TG/ DTG), determinação de íons cloreto e de álcalis solúveis e análise petrográfica com auxílio de lupa estereoscópica.

### 4.1 Caracterização Mecânica

Para inferir sobre a aderência, foi realizado o teste não destrutivo de percussão. Este é conclusivo, segundo a NBR 13749:2013, pois nas regiões com som cavo, o revestimento certamente apresenta deficiência de aderência, devendo ser reexecutado, sendo necessária a análise das causas do descolamento através do ensaio de aderência à tração, conforme ensaio prescrito na NBR 13528:2010.

Os ensaios de aderência à tração foram realizados em todas as fachadas, nos locais onde o revestimento se encontrava sem o som cavo, totalizando 13 painéis de análise ou 156 cp's. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 1.

FACHADA	PAVTO	FACE	PAINEL	Ra (MPa)	CV (%)	RUPT PREF	e (mm)
FP	6º	Oeste	1	0	--	SUB/CHA	25,3
	17º	Oeste	2	0,14	92	ARG	33,0
FF	15º	Leste	3	0,04	62	ARG	30,6
	5º	Leste	4	0,11	86	ARG	25,0
FLE	5º	Sul	5	0,19	49	ARG	34,0
	14º	Sul	6	0,34	47	ARG	34,6
	3º	Sul	7	0,28	41	ARG	27,7
	4º	Sul	8	0,21	41	ARG	20,3
	11º	Sul	9	0,17	56	ARG	24,0
FLD	3º	Norte	10	0,26	48	ARG	34,0
	9º	Norte	11	0,17	74	ARG	32,0
	5º	Norte	12	0,13	57	ARG	33,0
	15º	Norte	13	0,07	57	ARG	24,3
			MÉDIAS	0,16	59,17	ARG	29,06

Tabela 1 - Resultado dos ensaios de resistência de aderência à tração

Legenda: FP = Fachada Posterior; FF = Frontal; FLE = Lateral Esquerda; FLD = Lateral Direita; Ra = Média das resistências de aderência à tração do painel (12 arrancamentos/painel); CV = Coeficiente de Variação; RUPT

## 4.2 Ensaios laboratoriais

Foram ensaiadas 08 (oito) amostras de argamassa, coletadas em locais com os sintomas observados na Figura 1 e identificadas como A1 a A8.

### 4.2.1 Métodos utilizados

- Reconstituição de traço: análise química de acordo com as diretrizes gerais de QUARCIONI (1998);
- Determinação de anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) por gasometria (NBR NM 20:2012);
- Análise termogravimétrica (TG/DTG) (ASTM E 794-06 (Reapproved 2012)  
- Equipamento utilizado: NETZSCH modelo STA 449 F3 Jupiter; fluxo de gás nitrogênio de 50 mL/min e taxa de aquecimento de 10°C/min até aproximadamente 1000°C;
- Determinação de análise qualitativa por difração de raios-X. Equipamento utilizado: Rigaku modelo Windmax 2000, operando na radiação Ka do cobre com 40kV – 30mA e varredura de 2°/min.;
- Determinação de sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ) – teste qualitativo (NBR NM 19:2012);
- Determinação de íons cloreto solúveis em água (NBR 9917:2009);
- Determinação de Óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) solúveis em água (NBR 13810:1997);
- Análise petrográfica por meio de microscopia ótica [ASTM C 856-11 (2011)].

## 5 | RESULTADOS

### 5.1 Ensaios de caracterização mecânica

As fachadas foram integralmente percutidas com martelo de ponta de plástico ABS, sendo que aproximadamente 18% (1.150 m<sup>2</sup>) dos revestimentos encontravam-se com som cavo sob percussão.

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência, conforme Tabela 1, indicam ruptura preferencial coesiva no interior da argamassa de emboço, cujas resistências encontravam-se abaixo dos recomendados em norma para revestimentos argamassados em fachadas, ou seja, menores que 0,30 MPa. Durante os ensaios, muitas amostras se destacaram antes mesmo da aplicação de qualquer carga, apenas na fixação do dinamômetro.

Fazendo-se uma análise de comparação simples de médias, observa-se que os resultados também apresentaram um Coeficiente de Variação (CV) muito elevado (60%). Quanto menores os CV, menor a dispersão observada e maior a homogeneidade nas características e propriedades dos revestimentos (GONÇALVES, 2004).

## 5.2 Ensaios de caracterização química e mineralógica

### 5.2.1 Análise química

Os resultados obtidos nas análises químicas, expressos na base original e na base não volátil, estão apresentados na Tabela 2.

Determinações	A1		A2		A3		A4		A5		A6		A7		A8	
	BO	BNV														
Umidade	0,92	-	1,95	-	1,42	-	1,44	-	1,02	-	0,96	-	0,65	-	1,11	-
PF	4,94	-	5,70	-	6,18	-	5,38	-	5,23	-	5,30	-	4,91	-	6,57	-
RI	78,7	83,6	75,3	81,5	77,2	83,5	77,8	83,5	77,9	83,1	80,2	85,6	79,9	84,6	74,2	80,4
SiO <sub>2</sub>	3,91	4,15	4,53	4,91	3,77	4,08	4,15	4,45	3,94	4,20	3,55	3,79	3,74	3,96	4,55	4,93
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,65	2,81	2,84	3,08	2,57	2,78	2,57	2,76	2,75	2,93	2,27	2,42	2,45	2,59	2,98	3,23
CaO	7,38	7,84	8,50	9,20	7,20	7,79	7,34	7,88	7,74	8,26	6,46	6,89	7,18	7,60	8,82	9,55
MgO	1,07	1,14	1,08	1,17	1,14	1,23	1,14	1,22	1,16	1,24	1,01	1,08	1,08	1,14	1,32	1,43
SO <sub>3</sub>	0,05	0,05	0,06	0,06	0,39	0,42	0,14	0,15	0,12	0,13	0,01	0,01	0,02	0,02	0,11	0,12
CO <sub>2</sub>	3,51	-	3,94	-	3,84	-	3,66	-	3,55	-	2,98	-	3,25	-	4,60	-
S <sup>2-</sup>	0,10	-	0,10	-	0,07	-	0,08	-	0,12	-	0,06	-	0,10	-	0,08	-

Tabela 2 - Resultado das análises químicas (%)

Legenda: PF – Perda ao Fogo; BO – Base Original; BNV – Base de não voláteis; RI – Resíduo Insolúvel; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxidos de ferro e alumínio.

Fonte: Relatório Técnico nº 147 887-205 (IPT)

### 5.2.2 Análise mineralógica por difração de raios-X (DRX)

Os resultados de análises mineralógicas qualitativas por DRX apresentaram uniformidade dos compostos presentes em todas as amostras (Tabela 3).

AMOSTRAS	Compostos ou fases mineralógicas
A1 a A8	Quartzo, feldspato (plagioclásio e potássico), calcita, mica, tileita, larnita (C <sub>2</sub> S), dolomita, silicatos hidratados (C-S-H)

Tabela 3 - Resultados das análises por DRX

Fonte: Relatório Técnico nº 147 887-205 (IPT)

### *5.2.3 Análise termogravimétrica (TG)*

Os resultados das análises termogravimétricas são complementares à DRX, pois permitem quantificar fases mineralógicas presentes no material que são suscetíveis de sofrer termo decomposição com correspondentes perdas de massa, em temperaturas características. O ensaio permite detectar e quantificar substâncias presentes em baixos teores, usualmente não identificáveis por DRX.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados nas argamassas possibilitaram quantificar com precisão algumas fases presentes como a portlandita e o carbonato de cálcio.

### *5.2.4 Reconstituição de traço*

A reconstituição do traço ou determinação da proporção de mistura foi calculada a partir dos dados da análise química na base não volátil (Tabela 2), obtendo-se o respectivo traço e o tipo de cimento a partir das seguintes premissas:

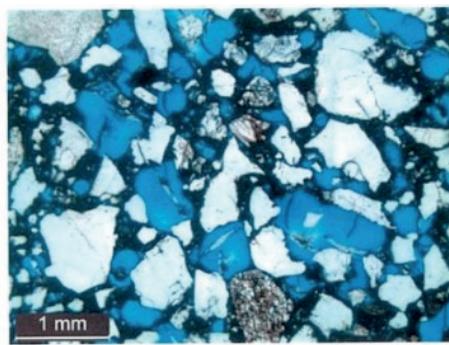
- A perda ao fogo (PF) representa a água combinada e o anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) presentes na fração de ligante;
- O resíduo insolúvel (RI) em ácido clorídrico representa o teor de agregado silicoso (areia) e a fração solubilizada representa o ligante (cimento);
- O teor de cimento foi calculado a partir do anidrido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) da argamassa e adotando-se um cimento Portland tipo CP III como parâmetro de referência, dada a ocorrência de sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ) nas argamassas;
- O teor de cimento foi recalculado na base original, a partir do CP III adotado como referência de cálculo.

### *5.2.5 Determinação de íons cloreto e álcalis solúveis*

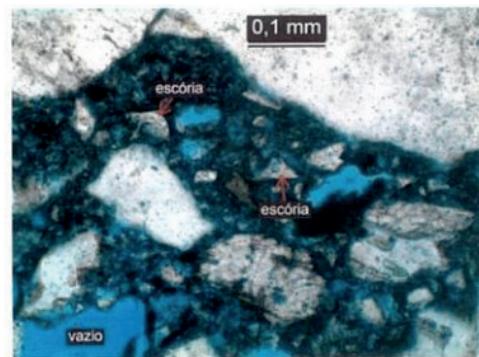
Os resultados percentuais dos ensaios para determinação de íons cloreto e álcalis solúveis em água, indicaram teores desprezíveis para as amostras ensaiadas.

### *5.2.6 Análise petrográfica das amostras de argamassa*

Na Figura 2, temos a ilustração de duas fotomicrografias obtidas na análise petrográfica das amostras A3 e A5. Na figura à esquerda, observa-se o excesso de ar incorporado em azul, com comprometimento da aderência do agregado à pasta de cimento (grãos flutuantes). Já na figura à direita, observa-se poucas bolhas arredondadas ou irregulares, por conta da coalescência destas bolhas gerando vazios irregulares de maior porte. No ligante cimentício de ambas as amostras analisadas foi observado grãos de escória anidra em abundância sem evidencia de hidratação.



**Fotomicrografia 1** – Argamassa - A3 - FLE - Pilar - Térreo - 29.03.16. LMCC 198/16. Lâmina IPT nº 12.068. Aspecto microscópico geral da argamassa, notar o excesso de ar incorporado em azul. Polarizadores paralelos.



**Fotomicrografia 9** – Argamassa – A5- FLE - Janela - AP 21 29.03.16. LMCC 200/16. Lâmina IPT nº 12.069. Detalhe de grãos de escória anidra na pasta, sem sinais de reação de hidratação. Polarizadores paralelos

Figura 2 - Análise petrográfica das amostras de argamassa

Fonte: Relatório Técnico nº 147 887-205 (IPT)

## 6 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de caracterização mecânica por si só já seriam suficientes para “condenar” toda a argamassa de revestimento das fachadas da edificação, uma vez que o ensaio de percussão demonstrou uma grande área de som cavo (18% da área total revestida) e os ensaios de resistência de aderência demonstram que a argamassa adherida estava totalmente comprometida, com resultados bem inferiores comparativamente ao recomendado em norma (resistências médias em torno de 0,16 MPa).

Dos resultados dos ensaios de caracterização química e mineralógica, pode-se observar os seguintes elementos mais significativos depreendidos da análise conjunta de dados obtidos na obra e em laboratório:

- a. Não foram encontrados teores elevados de  $\text{SO}_3^-$  (na análise química), esclarecendo-se não serem os fenômenos de expansão, fissuração e desagregamento observados nas argamassas decorrentes da formação de etringita pela incorporação de gesso de construção ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) na aplicação do revestimento;
- b. Os baixos teores de íons cloretos e de álcalis solúveis em água afastam a possibilidade de terem sido utilizadas areia de praia e/ou água salobra no amassamento;
- c. Na análise petrográfica, observou-se expressiva quantidade de vazios devido ao ar incorporado em excesso, com comprometimento da aderência do agregado à pasta de cimento, o que evidencia a tendência à fissuração das argamassas de revestimento (Figuras 1 e 2);

- d. Ainda na petrografia, observa-se no ligante cimentício, abundância de grãos de escória anidra, sem evidência de hidratação, não obstante o revestimento apresentar mais de dez anos de aplicação;
- e. Foi verificado, a partir da análise química e reconstituição de traço, tratar-se de argamassas com elevada presença de escória, com traço próximo a 1:5 (ligante:agregado), indicação do uso de Cimento Portland de Alto Forno CP III (NBR 5735:2018);
- f. Não se constatou a hidratação completa do cimento, o que se conclui que as argamassas não foram adequadamente curadas.

## 7 | CONCLUSÃO

O objetivo principal do trabalho realizado foi identificar prováveis causas principais da expansão, fissuração com esfarelamento e baixa resistência mecânica das argamassas de revestimento de fachada de um edifício residencial localizado em região litorânea.

Os resultados dos ensaios permitiram constatar: ausência de gesso de construção ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) em todas as amostras; os teores de determinados de íons cloreto e álcalis solúveis em água estavam dentro do esperado, afastando a possibilidade de utilização de areia a praia e/ou água salobra; na análise petrográfica observou-se a presença de grande quantidade de ar incorporado, com comprometimento da aderência do agregado à pasta de cimento (grãos flutuantes) e grãos de escória anidra sem evidência de hidratação.

O uso de cimento Portland CP III (identificado na análise química) sem os corretos procedimentos de cura úmida nas primeiras horas, associado ao uso inadequado de aditivos incorporadores de ar em excesso ou ainda a provável utilização de um elevado tempo de mistura da argamassa, geraram as manifestações patológicas observadas.

Segundo MEHTA et al. (2008), a escória de alto-forno é auto-cimentante, isto é, não necessita de hidróxido de cálcio ( $\text{CaOH}_2$ ) ou portlandita para formar o C-S-H, responsável principal pelo ganho da resistência mecânica da pasta de cimento. Quando usada em combinação com o cimento Portland, a hidratação da escória é ativada pela alcalinidade do meio devido à presença do hidróxido de cálcio e de gipsita.

Assim, a portlandita gerada na hidratação do cimento é importante para uma adequada hidratação da escória, caso contrário, a mesma permanece como um inerte, fragilizando o sistema. Cabe ainda ressaltar que neste comportamento relatado, parte-se do pressuposto de se tratar de escória de alto forno qualificada para aplicação em cimento Portland, caso contrário, mesmo com o clínquer bem

hidratado a escória permaneceria mal hidratada.

Nas argamassas de revestimentos submetidos à cura úmida, a hidratação do cimento é maior e, consequentemente, melhora-se a aderência, reduz-se a permeabilidade e a capacidade de absorção de água, aumentando-se a resistência superficial à tração, independentemente do tipo de cimento utilizado (PEREIRA et al (2005); SILVA et al (2009);).

O trabalho ainda conclui a importância no controle, na fiscalização e na adequada especificação dos materiais para se evitarem ou diminuírem as falhas de construção.

Como técnica de recuperação, diante dos resultados obtidos, recomendou-se a remoção total do revestimento e sua recomposição.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração – Elaboração.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação.** Rio de Janeiro, 2013.

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

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso.** Brasília, 2004. 153f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo, IBRACON, 2008. 674p.

OLIVEIRA, M. C. B.; QUARCIANI, V.A.; CHOTOLI, F.F.; PINTO, N.S.; CINCOTTO, M.A. Caracterização petrográfica de argamassas aplicadas e com prolongada idade de cura em ambiente de laboratório. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2015.

PEREIRA, P. C.; CARASEK, H.; FRANCINETE JR., P. Influência da cura no desempenho de revestimentos com argamassas inorgânicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, Florianópolis, 2005. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2005. p. 477-486.

QUARCIANI, V. A. **Reconstituição de traço de argamassas simples e mistas de cimento Portland e cal hidratada: atualização do método do IPT.** 188p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

**Relatório Técnico n.º 147 884-205.** Argamassa de revestimento com esfarelamento: investigação de causas prováveis por meio de ensaios laboratoriais. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, 2016, 28p.

SILVA, V. S.; GOMES, A. O.; SANTOS, S. A. Influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

## CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO

Data de aceite: 25/11/2019

**Paula Thais dos Santos Felix**

IPOG - Instituto de Pós-Graduação, Master em  
Arquitetura & Lighting  
Recife - PE

**RESUMO:** O ambiente da construção civil comporta uma competição por mais eficiência e melhores resultados, acarretando constante pesquisa e estudo de novas técnicas e materiais para interferir nesta equação. A utilização de materiais alternativos busca atender a princípios sustentáveis, para os casos de utilização de resíduos oriundos de outras indústrias ou mesmo da própria construção civil e também à demanda por evolução no processo construtivo dos empreendimentos. Tal melhoria torna-se necessária devido ao rápido desenvolvimento urbano das metrópoles, aumentando a criticidade de desafios conhecidos, como o excesso de ruídos nocivos, aliados aos demais, como conforto térmico e eficiência energética. Considerando este cenário desafiador, um material alternativo vem ganhando destaque na construção civil: a vermiculita. O mineral, detentor de propriedades termo acústicas, quando adicionado à argamassa de revestimento promove uma melhora no isolamento térmico, fator importante para edificações e que deve ser

levado em conta na hora de construir, visto que uma das preocupações é com o desconforto térmico interno, grande parte causado pela radiação solar. Outro problema preocupante que também pode ser tratado com a utilização do mineral, é o desconforto acústico inerente de ruídos emitidos pelo trânsito e fábricas nas grandes cidades, por exemplo, podendo ser reduzido em média em até 62%. O presente trabalho desenvolve uma revisão da literatura de estudos de caso da utilização da vermiculita no processo da construção civil, analisando os benefícios e resultados alcançados pelos autores. A pesquisa apresenta um enfoque em prático de como a problemática do ruído vem sendo solucionada pelos profissionais responsáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vermiculita, Materiais alternativos, Conforto térmico, Conforto acústico

### FEATURES AND PERFORMANCE OF VERMICULITE IN CONSTRUCTION

**ABSTRACT:** The construction environment involves a competition for more efficiency and better results, leading to constant research and study of new techniques and materials to interfere with this equation. The use of alternative materials seeks to meet sustainable principles, in the case of use of waste from other industries or even the construction itself

and also the demand for evolution in the construction process of enterprises. Such improvement is necessary due to the rapid urban development of the metropolises, increasing the criticality of known challenges, such as excessive noise noises, allied to others, such as thermal comfort and energy efficiency. Considering this challenging scenario, an alternative material has been gaining prominence in construction: vermiculite. The mineral, which has thermo acoustic properties, when added to the coating mortar promotes an improvement in thermal insulation, an important factor for buildings and should be taken into account when building, as one of the concerns is the internal thermal discomfort, largely caused by solar radiation. Another worrying issue that can also be dealt with using the mineral is the inherent acoustic discomfort of traffic noise and factories in large cities, for example, which can be reduced by up to 62% on average. The present work develops a literature review of case studies of the use of vermiculite in the construction process, analyzing the benefits and results achieved by the authors. The research presents a practical focus on how the noise problem has been solved by the professionals in charge.

**KEYWORDS:** Vermiculite, Alternative Materials, Thermal Comfort, Acoustic Comfort

## 1 | INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados ao meio urbano são os mais variados possíveis: excesso de ruído, emissão de poluentes no ar e na água, escassez de recursos energéticos e água, falta de tratamento adequado dos resíduos, aumento no consumo de energia para o condicionamento artificial, entre outros (NETO et al, 2014). Considerando estes desafios, é necessário que a técnica construtiva evolua de forma a eliminar ou mitigar algumas destas questões. Neste sentido, atualmente, existe uma tendência no desenvolvimento de novas técnicas construtivas e soluções originais com a finalidade de reduzir o impacto da construção ao meio ambiente e aumentar a rapidez de execução das obras. Dentre as diversas soluções, a pré-fabricação mostra-se a mais adequada para esta finalidade (ARAUJO e CÂNDIDO, 2015). O fato da utilização de tais estruturas na obra resumir-se à simples montagem das peças, proporciona uma oportunidade de economia com perda de material e mão de obra, uma vez que as peças são confeccionadas em ambiente controlado, do ponto de vista de recursos e qualidade de material utilizado.

Grande parte do interesse em se utilizar elementos pré-moldados ou pré-fabricados é otimizar o processo construtivo. Entretanto, uma das maiores dificuldades na aplicação de painéis de concreto pré-moldados é o elevado peso específico do concreto (ARAUJO e CÂNDIDO, 2015), resultado em maquinário especial para transporte e manuseio do mesmo na obra, de forma a viabilizar sua montagem. Com o intuito de minimizar esse impacto, várias soluções têm sido desenvolvidas, partindo da inclusão proposital de vazios o interior dos painéis até o

uso de agregados leves na composição do concreto. Tais soluções, além de diminuir o peso dos painéis, apresentam vantagens em quesitos como conforto térmico e acústico nos empreendimentos, quando comparados aos painéis tradicionais.

A preocupação latente na utilização de tais agregados leves na elaboração do concreto é que o mesmo, em seu estado final, resista às intempéries de forma satisfatória, quando comparado ao concreto tradicional. Desta forma, estudos vêm sendo realizados com o objetivo de constatar que a utilização destes agregados leves resulta em painéis de concreto aptos para utilização sem oferecer risco à obra. Segundo a NBR NM 35 (NBR NM 35, 1995), os agregados leves não devem possuir massa unitária no estado seco e solto acima de  $1,12 \text{ g/cm}^3$  para os agregados miúdos e de  $0,88 \text{ g/cm}^3$  para os agregados graúdos. Já a NBR 12655 (NBR 12655, 2006a) estabelece que os agregados leves devem apresentar massa específica igual ou menor que  $1,80 \text{ g/cm}^3$ .

Este trabalho apresenta uma revisão da literatura focada na utilização de agregados à composição de concreto que contribuam para redução dos problemas citados: confortos térmico e acústico e redução do impacto ao meio ambiente. O objetivo é reunir informações relevantes e atuais a respeito das pesquisas, experimentos e estudos de caso realizados na área de tecnologia construtiva, de forma a reunir tais técnicas e estratégias em um único trabalho. O enfoque da revisão recai sobre a utilização de agregados leves na composição de elementos pré-moldados, com maior ênfase à materiais alternativos, detalhando o uso da vermiculita. Toda a pesquisa considera a realidade brasileira, não se limitando à mesma, podendo ser estendida à países com climas similares.

## 2 | AGREGADOS LEVES

O concreto leve é reconhecido pelo seu reduzido peso específico e elevada capacidade de isolamento térmico e acústico, sendo os mais utilizados aqueles produzidos com a utilização de agregados leves, como vermiculita ou argila expandida (ECOPORE, 2017). Enquanto os concretos normais possuem sua densidade variando entre  $2300$  e  $2500 \text{ kg/m}^3$ , os concretos leves chegam a atingir densidades próximas a  $1800 \text{ kg/m}^3$  (BREMNER, 1998). A Figura 1 exibe a variação de densidades comumente aceita entre os tipos de concreto mencionados neste trabalho. Também é apresentando o concreto celular, que possui peso específico mais leve que os demais, por substituir, em sua composição, os agregados sólidos por ar, acarretando o aspecto de bolhas de ar, presente na Figura 1.

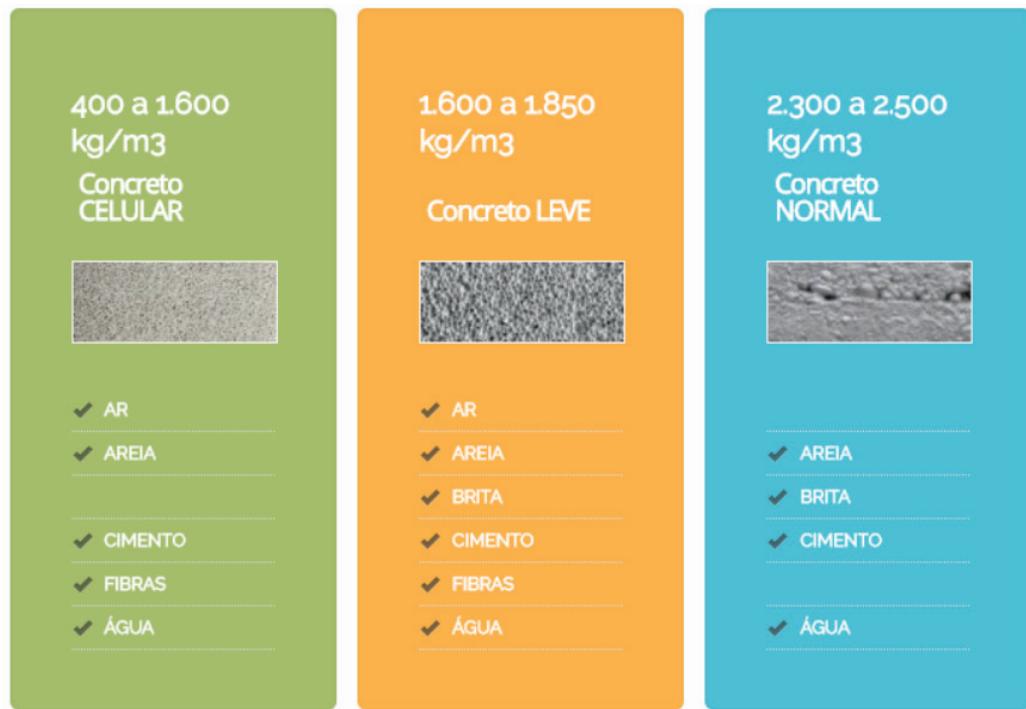


Figura 1 - Densidades de Concreto Celular, Concreto Leve e Concreto Tradicional

Fonte: ECOPORE (2017)

Tradicionalmente, os concretos leves são diferenciados dos concretos convencionais pela redução da massa específica e alterações das propriedades térmicas (ROSSIGNOLO, 2003). Entretanto, essas não são as únicas características importantes que justifiquem atenção especial a esse tipo de concreto. A utilização de agregados leves resulta ainda no impacto em outras propriedades do produto final, como a resistência mecânica, retratação, módulo de deformação, entre outras. O ACI 213R-87 (ACI, 1997) especifica que o concreto leve, além de apresentar valores de massa específica dentro dos limites definidos, deve também apresentar resistência à compressão acima de 17,2 MPa.

De acordo com a NM 35/95 da ABNT (ABNT NM23, 1995), os agregados leves utilizados na produção dos concretos leves, não devem apresentar massa unitária no estado seco e solto acima de 1120 kg/m³, para agregados miúdos, e 880 kg/m³, para agregados graúdos. Para dosagem adequada do agregado é essencial o conhecimento das propriedades dos mesmos, que podem variar significativamente de acordo com a matéria prima utilizada e o processo de fabricação. Como o concreto apresenta-se como sendo materiais heterogêneos, suas propriedades dependem diretamente das propriedades individuais de cada componente e da compatibilidade entre eles.

Agregados leves podem ser classificados em dois tipos básicos: naturais ou artificiais. O primeiro tipo é obtido a partir da extração direta de jazidas, presentes na natureza, e classificados de acordo com a granulometria. Temos como exemplos de

agregados leves naturais as escórias vulcânicas e a pedra pomes. Já os agregados artificiais são obtidos em processos industriais e classificados de acordo com o processo realizado, onde encontramos as argilas expandidas, vermiculita, entre outros. Os dois processos mais utilizados para produção do segundo tipo de agregado citado são a sinterização e forno rotativo. O primeiro processo consiste em submeter o material a altas temperaturas, juntamente com uma porção de combustível, até que o material expanda, em função da formação de gases (GOMES NETO, 1998). Forno rotativo, ou nodulação, consiste em elevar os materiais a altas temperaturas (acima de 1000º C), próximas ao ponto de fusão incipiente, de forma que os gases produzidos permanecem no material (SANTOS, 1986).

Nesse contexto, um agregado artificial que vem ganhando espaço no processo construtivo é a vermiculita, em sua forma expandida (Figura 2). Este mineral, também chamado de vermiculite, é formato de ferro, alumínio, magnésio hidratado e lamelar. O material sofre expansão quando submetido a elevadas temperaturas, transformando-o em flocos de ar aprisionado, o que contribui para sua característica de isolante acústico (BARROS e CARDILLO, 2014). O concreto leve com vermiculita gera uma das menores massas específicas, chegando a 300 Kg/m<sup>3</sup>, possibilitando a conquista de grandes vãos.



Figura 2 - Vermiculita em sua forma expandida

Fonte: BARROS e CARDILLO (2014)

### 3 | USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nos últimos anos tem-se observado a aplicação de concretagem leve em diversos tipos de empreendimentos, tais como plataformas marítimas, pontes e

edifícios de múltiplos andares (ROSSIGNOLO, 2003). Tais estruturas estão expostas a diferentes tipos de ambientes, sendo alguns destes, extremamente agressivos, o que denota a grande versatilidade e durabilidade deste material. Destas aplicações em ambientes com alta agressividade à estrutura, observa-se o crescimento de concreto leve em ambientes marítimos, como pontes e plataformas petrolíferas (PHILEO, 1986; SEABROOK e WILSON, 1988; MAYS e BARNES, 1991; MELBY JORDET e HANSVOLD, 1996). Para o caso de plataformas, o concreto leve apresenta melhoria nas características de flutuação durante o transporte e utilização, tendo em vista a construção das mesmas em doca seca.

A aplicação de concreto leve na construção de edifícios de múltiplos andares, além de reduzir as cargas da fundação, apresenta melhoria no desempenho térmico e de resistência ao fogo, quando comparado ao concreto tradicional (ROSSIGNOLO, 2003). A aplicação do agregado leve vermiculita na construção civil dá-se com as principais finalidades da composição de concreto leve para prover isolamento térmico em lajes e paredes, proteção de impermeabilização em lajes de cobertura, aplicação como enxerto de divisórias e portas corta-fogo, forro decorativo e acústico, entre outras funções. Esse isolamento térmico é possível devido a presença de ar na vermiculita em sua forma expandida, o que contribui para alcançarmos um melhor conforto térmico no interior das edificações, conforme mostrado na Figura 3.

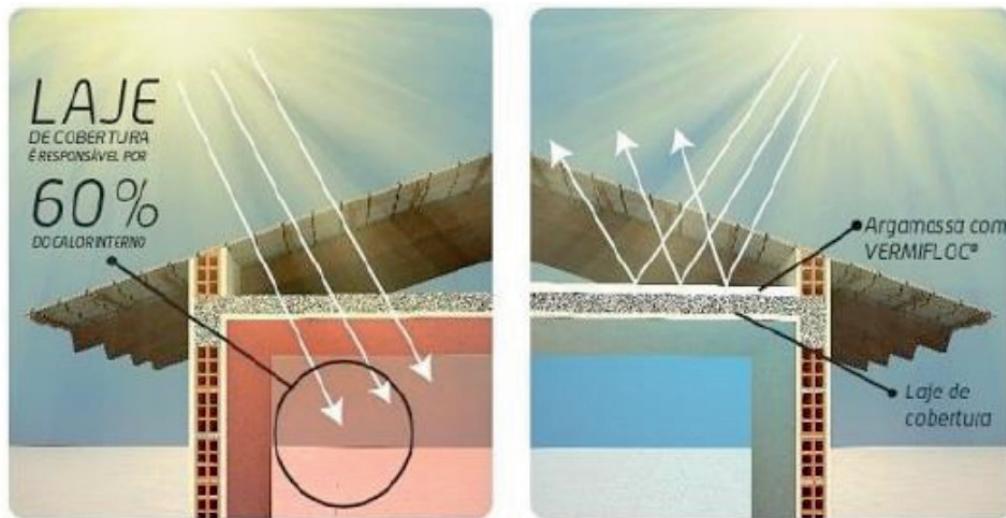


Figura 3 - Vermiculita como isolante térmico

Fonte: BRASIL MINÉRIOS (2016)

O concreto, de modo geral, apresenta grande potencial de emprego em elementos pré-fabricados, principalmente quando comparados aos mesmos elementos construídos com concreto tradicional. Com o agregado leve, há uma redução de custos por transporte de unidade de volume de concreto, podendo variar de 20% a 50% de economia. Permite ainda a execução de estruturas em vãos maiores, possibilidade de produzir peças maiores utilizando o mesmo maquinário já existente

e, por fim, a redução de 25% a 50% no tempo de montagem (ROSSIGNOLO, 2003). Apesar dos benefícios listados, a utilização de concreto leve em empreendimentos brasileiros vem sendo adotada de forma modesta.

Outra possibilidade de utilização de agregados na composição do concreto leve é a utilização de rejeitos de outras indústrias ou da própria construção civil. Os agregados reciclados também apresentam porosidade elevada e menor densidade, assim como a argila expandida (GOMES et al, 2015). Porém, os agregados reciclados são mais heterogêneos (o que dificulta a uniformidade de suas propriedades) e menos resistentes. Além disso, esses agregados possuem teores de finos e/ou materiais pulverulentos mais elevados, e formato mais irregular ou textura superficial mais rugosa (CARRIJO, 2005; TENÓRIO, 2007).

## 4 | RESULTADOS OBTIDOS

Na composição de concreto leve, o agregado vermiculita permite uma redução do valor da massa específica do concreto de até 35%, quando comparado aos concretos com agregados tradicionais (ROSSIGNOLO, 2003). Ensaios encontrados na literatura demonstram bons resultados do uso de vermiculita na composição de concreto leve. Em ensaios realizados em painéis, obteve-se uma melhora de 10% de isolamento térmico em painéis de argamassa maciços contendo o agregado vermiculita (ARAUJO e CÂNDIDO, 2015). Isso pode contribuir para menores variações de temperatura no interior das edificações, acarretando economia com sistemas de refrigeração. Como esperado nos estudos com concreto composto de agregados leves, foi constatado que a vermiculita expandida contribui para a diminuição da resistência mecânica do concreto. Desta forma, alguns autores realizaram experimentos adicionais, utilizando os painéis construídos com concreto com vermiculita expandida reforçados com tela de fibra de vidro, resultando em um aumento positivo da resistência mecânica, atacando assim, a principal deficiência do uso destes agregados.

No aspecto de sustentabilidade, mais precisamente no impacto ambiental do uso de tais agregados, especialmente na construção, requer que o estudo compreenda o processo de produção do material, o processo de construção, consequências no projeto estrutural, manutenção e reciclagem (ROSSIGNOLO, 2003). Considerando todos esses pontos, o concreto leve mostra-se um material de baixo impacto ambiental quando comparado a outros materiais. O Quadro 1 apresenta os valores do consumo de energia para produção de alguns materiais de construção. Nele, observamos que a produção do concreto leve consome cerca de 1,6 vezes mais energia que a produção do concreto tradicional, consequência do alto consumo dos fornos para tratamento dos agregados. Entretanto, a redução da armadura e da energia utilizada

no transporte e no processo construtivo com a utilização do concreto leve, facilmente compensam os gastos extras de energia utilizado na produção dos agregados.

Material	Energia para volume de material produzido (MJ/m <sup>3</sup> )	Tensão de trabalho (MPa)	Relação Tensão/Energia (μPa.m <sup>3</sup> /J)
Concreto tradicional	4.500	14	3.110
Madeira	2.400	7	2.920
Concreto leve	7.500	14	1.870
Aço	57.800	165	285
Plástico rígido	47.300	7	148
Alumínio	981.000	126	128
Vidro	229.000	14	61
Bloco cerâmico	9.000	0.25	22

Quadro 1 - Valores de consumo de energia para produção de materiais de construção comuns

Fonte: BREMMER (1998)

## 5 | CONCLUSÃO

Tendo em vista que a vermiculita é um material alternativo que traz consigo grandes vantagens para construção civil, como a facilidade de uso junto a argamassa, propriedades de isolamento térmico e acústico, além da resistência ao fogo, constata-se que o mineral possui muito somar no processo de construção, sendo, desta forma, importante o aumento na adoção deste material, além de outros agregados, no mercado da construção civil. As principais propriedades da vermiculita, isolamento térmico e acústico, já mostraram excelentes resultados em testes e ensaios aqui referenciados. Desta forma, o agregado demonstra grande potencial de uso na construção civil, adicionando mais eficiência e sustentabilidade à construção.

Espera-se, que a medida que este tipo de agregado ganhe relevância, a adoção de concretos leves por parte do mercado de construção civil brasileiro aumente, possibilitando uma maior gama de estudos. Além da aplicação dos agregados na formulação do concreto leve, os mesmos também podem ser utilizados em construções secas e até mesmo como elemento decorativo nos ambientes.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. ACI-2013R-87. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural: Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland:

preparo, controle e recebimento: Procedimento. Rio de Janeiro, 2006a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NM23 - Agregados Leves para concreto estrutural - Especificações. Rio de Janeiro, 1995.

ARAUJO, D. L., CÂNDIDO, E. S. Painel pré-moldado de argamassa armada com vermiculita expandida e reforçado com fibras de vidro. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vol 10, n 3, 01-18. 2015

BARROS, A. G. A., CARDILLO, H. R. P., Concreto leve com vermiculita expandida. Brasília, 2014, 28p. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil. Universidade Católica de Brasília - DF, 2014.

BRASIL MINÉRIOS. A vermiculita como alternativa para o conforto térmico em edificações. Disponível em <<http://brasilmineros.com.br/2016/06/28/brexit-could-lead-to-significant-construction-job-losses/>>. 28 de junho de 2016. Acessado em 30 de maio de 2017.

BREMNER, T. W., Concreto de agregado leve. 40º Congresso Brasileiro do Concreto - Reibrac, Rio de Janeiro, agosto, 1998.

CARRIJO, P. M. Análise da Influência da Massa Específica de Agregados Graúdos Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto. São Paulo, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ECOPORE. Concreto Celular / Leve. Disponível em <<http://www.ecopore.com.br/aplicacoes/concreto-leve>>. Acessado em 30 de maio de 2017.

GOMES NETO, D. P. Dosagem de micro concretos leves de alto desempenho para produção de pré-fabricados de pequena espessura - Estudo de caso. São Carlos, 1998. 156p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GOMES, P. C. C.; ALENCAR, T. F. F. de; SILVA, N. V. da; MORAES, K. A. de M.; ANGULO, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 31-46, jul./set. 2015.

MAYS, G. C., BARNES, R. A. The Performance of lightweight aggregate concrete structures in servisse. The Structural Engineer, v. 69, n. 20, 1991.

MELBY, K., JORDET, E. A., HANSVOLD, C. Long-span bridges in Norway constructed in high-strength LWA concrete. Enginnering Structures, V. 18, n. 11, 1996.

NETO, J. B. S. S., SOARES, P. F., VANDERLEI, R. D., COELHO, T. M., ARAGÃO, F. V. Inovação no uso de resíduo da indústria sucroalcooleira. Revista Geintec – Gestão Inovação e Tecnologias. ISSN 2237-0722. 2014.

PHILEO, R. E. Lightweight concrete in bridges. Concrete International, V.8, n. 11, 1986

ROSSIGNOLO, J. A., Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - Dosagem, produção, propriedades e microestrutura. Tese de Doutorado. USP. São Carlos. 2003.

SANTOS, M. E. et al. Argila expandida como agregado para concreto leve. Tema livre - Apresentado à Reunião Anual do IBRACON de 1986. São Paulo, 1986.

SEABROOK, P. I., WILSON, H. S. High strength Lightweight concrete for use in offshore structures:

utilisation of fly ash and sílica fume. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, V. 10, n. 3, 1988.

TENÓRIO, J. J. L. Avaliação de Propriedades do Concreto Produzido Com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição Visando Aplicações Estruturais. Maceió, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

## PINUS E EUCALIPTO PARA CONSTRUÇÕES LEVES EM MADEIRA (WOODFRAME) NO BRASIL: COMPARATIVOS, POSSIBILIDADES E DESAFIOS

Data de aceite: 25/11/2019

### **Mirna Mota Martins**

UFBA, Faculdade de Arquitetura  
Salvador – Bahia

### **Júlia Cruz da Silva**

UFBA, Laboratório de Madeiras  
Salvador – Bahia

### **Matheus Fernandes Lima**

UFBA, Faculdade de Arquitetura  
Salvador – Bahia

### **Rita Dione Araújo Cunha**

UFBA, Núcleo de Tecnologia, Projeto e  
Planejamento  
Salvador – Bahia

### **Sandro Fábio César**

UFBA, Departamento de Construção e Estruturas  
Salvador – Bahia

perspectiva dos sistemas “wood frame”. Também se aponta o panorama local da indústria do eucalipto e do pinus bem como da construção civil em madeira, enfatizando as prospecções do uso do eucalipto como alternativa para os sistemas leves em madeira. Como resultados são comparados o pinus e o eucalipto, visando lançar uma reflexão sobre a viabilidade do uso deste último no sistema wood frame, uma vez detectado um maior emprego do pinus neste tipo de sistema em relação ao eucalipto no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pinus. Eucalipto. Wood Frame. Construções leves. Madeira.

## **PINUS AND EUCALYPTUS FOR WOODFRAME LIGHT CONSTRUCTIONS IN BRAZIL: COMPARATIVES, POSSIBILITIES AND CHALLENGES**

**ABSTRACT:** This article discusses the possibilities of the use of Eucalyptus and Pinus in lightweight wood frame construction in relation to the scenario of the wood sector in Brazil and the growing demand for this material in civil construction. The use of these wood genres as structure for this type of construction is approached, through a bibliographical review, observing the advantages of this material and the technological difficulties and gaps of its application from the perspective of wood frame systems. The local panorama of the Eucalyptus

**RESUMO:** Este trabalho traz a discussão das possibilidades do emprego do eucalipto e do pinus em construções leves de madeira do tipo “wood frame” face o cenário do setor de madeira no Brasil e da crescente demanda desse material na construção civil. O emprego desses gêneros de madeira como estrutura para esse tipo de construção é abordado, através de uma revisão bibliográfica, observando-se as vantagens desse material e as dificuldades e lacunas tecnológicas da sua aplicação na

and Pinus industry as well as the civil construction in wood is also pointed out, emphasizing the prospects of the use of Eucalyptus as an alternative for light wood systems. As results Pinus and Eucalyptus are compared, aiming to launch a reflection on the feasibility of using the latter in the wood frame system, once detected a greater use of Pinus in this type of system in relation to eucalyptus in Brazil.

**KEYWORDS:** Pinus. Eucalyptus. Wood Frame. Light Construction. Wood.

## 1 | INTRODUÇÃO

Este artigo de revisão objetiva mostrar as possibilidades das espécies de Eucalyptus em comparação com o uso do Pinus para construções leves em madeira no Brasil, de modo a lançar uma reflexão sobre as potencialidades do primeiro no sistema wood frame.

A madeira apresenta benefícios ambientais superiores a outros materiais tradicionais da construção civil. As construções leves em madeira no Brasil como o sistema wood frame tem ganhado espaço na indústria da construção e o emprego de madeiras de florestas plantadas mostra-se como alternativa viável para esse tipo de construção que tem caráter mais racionalizado e pode ser industrial.

Os dois gêneros de madeira ocupam extensas áreas de plantios florestais no Brasil, prestando-se às mais diversas utilizações, mas a demanda crescente por construções leves no país reforça o estudo das potencialidades do Pinus e do Eucalyptus. Em especial o Eucalipto que apresenta ótimas características mecânicas para a construção, mas alguns desafios a serem superados pela questão da trabalhabilidade e durabilidade. Por outro lado, o aumento da produção de eucalipto em detrimento à de pinus, nos últimos anos, lança a pergunta: por que não empregar o eucalipto no sistema wood frame como se vem tradicionalmente fazendo com o pinus? Esta foi a questão norteadora desse artigo para o qual foram consultados trabalhos relevantes sobre o tema entre livros, anuários, teses, artigos e publicações nacionais e internacionais. As informações encontradas foram relacionadas, objetivando comparar os gêneros Pinus e Eucalipto, analisando sua produção atual, a construção civil em “wood frame” no Brasil e os desafios percebidos relativos a aplicação do eucalipto nesse sistema.

## 2 | O PINUS E O EUCA利PTO E SEUS USOS

O Pinus e o Eucalipto são gêneros de árvores não originárias do Brasil. O primeiro é uma conífera adaptada a baixas temperaturas, podendo ser plantado em solos rasos e pouco produtivos para lavoura. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o pinus é plantado e colhido em rotações entre 13 e 20 anos

para a indústria (IBÁ, 2016). Já o Eucalyptus é um gênero nativo da Austrália, que produz árvores folhosas adaptáveis a diferentes condições climáticas, com rápido crescimento e, conforme a mesma referência, sua colheita pode ser feita a partir de 5 anos, dependendo de sua destinação.

Com muitos modos de utilização, ambos os gêneros podem ser explorados na construção civil tanto em estruturas como em componentes construtivos.

## **2.1 Modos de utilização das madeiras de pinus e de eucaliptos na construção civil**

De acordo com a IBÁ (2016), para a construção civil, as madeiras de Pinus e de Eucaliptos são utilizadas para a produção de carvão, lâminas, madeira serrada, madeira roliça e cavaco. Ainda se cita o uso dessas madeiras tratadas com preservadores em decorrência da diminuição da oferta ou encarecimento de espécies nativas com alta durabilidade natural.

A madeira de Pinus no Brasil foi utilizada inicialmente para a produção de celulose de fibra longa, papel e na indústria de resina, depois se voltou para fabricação de móveis, produção de chapas de madeira aglomerada, compensada e outras, e atualmente é utilizada também na fabricação de madeira serrada para a construção civil, visto que seu cerne é permeável aos tratamentos preservativos existentes (BORTOLETTO e LAHR, 2000).

As espécies de eucalipto encontraram no Brasil boas condições climáticas, tendo desenvolvimento e crescimento rápido e a mais alta produtividade no mundo, sendo consideradas de usos múltiplos, fazendo parte de diversos segmentos industriais, além de serem fontes de energia (LONGUE e COLODETTE 2013). Na construção civil, o eucalipto é muito usado como madeira roliça, em estruturas “heavy timber” do tipo pilar-viga e “log house”, pelo menor grau de processamento das toras em comparação com a madeira serrada, pela possibilidade de tratar o alburno com preservativos e pela maior dimensão das peças (CALIL e BRITO 2010).

Comparando-se a madeira de pinus com a de eucalipto, a primeira é mais demandada para a indústria da madeira serrada, seguida da de celulose de fibra longa e de painéis reconstituídos (compensados), como mostra o gráfico da figura 1. Este ainda mostra que a maior demanda industrial para o eucalipto é para celulose e papel, seguida de lenha e carvão.

Para analisar o uso desses gêneros na construção e em particular no sistema wood frame (observando que o emprego desse sistema vem crescendo nos últimos anos), é necessário analisar o panorama da produção do pinus e eucalipto no Brasil nas últimas décadas.

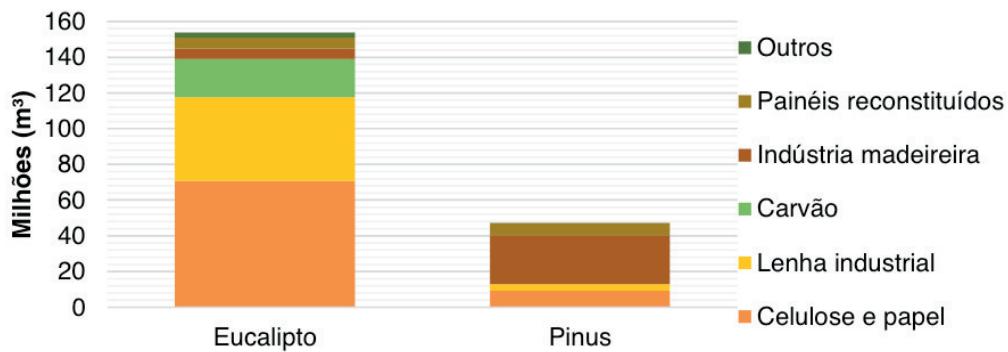


Figura 1 - Comparação do consumo das madeiras de Eucalipto e Pinus para uso industrial

Fonte: Adaptado de IBÁ (2017); CARMO et al. (2015)

### 3 | PANORAMA DA PRODUÇÃO DO PINUS E DO EUCALIPTO NO BRASIL

A produção de floresta plantada no Brasil, segundo a IBÁ (2017), vem crescendo nas últimas décadas e, em 2016, o país atingiu cerca de 7,84 milhões de hectares em área de florestas plantadas, sendo 72,3% de Eucalipto (cerca de 5,67 milhões de hectares), 20,2% de Pinus (1,58 milhões de hectares) e 7,5% de culturas de outras espécies (0,59 milhões de hectares) como se observa no gráfico da figura 2. O crescimento total, no entanto, deve-se mais ao aumento da área da cultura de Eucalipto, desde 2010, uma vez que a plantação de Pinus vem tendo um decréscimo, proveniente da conversão de algumas áreas de plantio de pinus em plantios de eucalipto, principalmente no estado do Paraná (IBÁ, 2016).

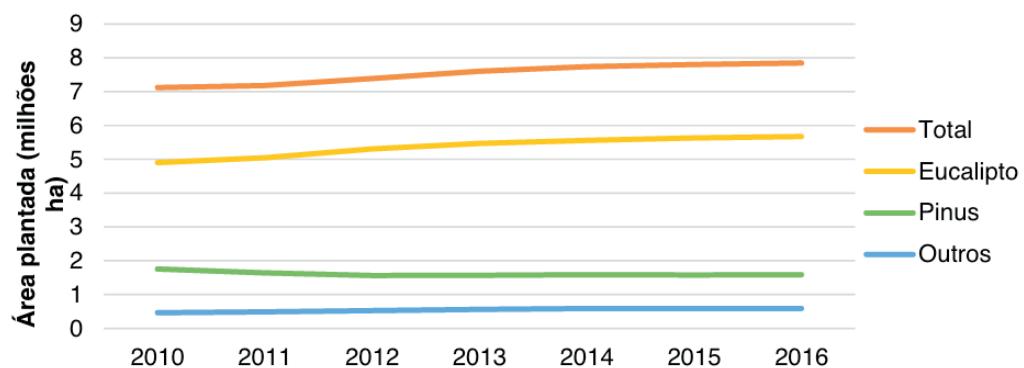


Figura 2 - Área de floresta plantada por cultura e ano.

Fonte: Adaptado de IBÁ (2017); SNIF (2017)

Já com relação à produtividade florestal que se refere ao volume de área de madeira que é produzida por unidade de área ao ano, os três últimos anuários da IBÁ (IBÁ 2014, IBÁ 2015, IBÁ 2016) revelam uma queda de produtividade tanto para o eucalipto como para o pinus: em 2016, comparado à produtividade em 2014, houve um decréscimo de 3,3 m<sup>3</sup>/ha.ano para o eucalipto e de 0,5 m<sup>3</sup>/ha.ano para o pinus. Apesar da queda, o setor brasileiro de floresta plantada, em 2016, apresentou

a maior produtividade florestal do mundo, sendo as médias de 35,7 m<sup>3</sup>/ha ao ano para as plantações de eucalipto e de 30,5 m<sup>3</sup>/ha ao ano para as de pinus (IBÁ, 2017).

Outro aspecto relevante da produção desses gêneros é a rotação que é equivalente ao tempo transcorrido entre plantio e colheita das árvores. Segundo a mesma referência (OP. CIT., 2017), o setor de floresta plantada também apresentou a menor rotação, em 2016, estando abaixo dos 5 anos para o eucalipto e 10 anos para o pinus.

### 3.1 Produção de madeira em toras e serrados

Em relação à produção nacional de madeira em toras, no gráfico da figura 3 tem-se um comparativo entre a produção proveniente de florestas nativas e de florestas plantadas em intervalos de 5 anos. Percebe-se uma diminuição da produção de madeira em toras de florestas naturais, passando de 23% da produção, em 2000, para 9%, em 2015, devido a substituição da madeira nativa pela madeira de florestas plantadas. Isso mostra que a silvicultura influencia na diminuição da pressão exploratória sobre as espécies nativas.

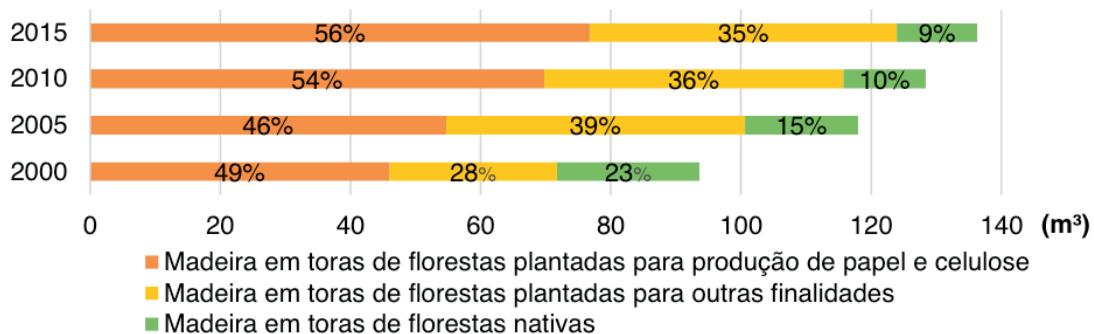


Figura 3 - Produção nacional de madeira em toras no período de 2000 a 2015

Fonte: Adaptado de IBGE (2001); IBGE (2006); IBGE (2011); IBGE (2016)

Também é observado pela IBÁ (2017) a influência da desaceleração da construção civil no consumo de madeira serrada no mercado nacional, que, em 2015, era 7,2 milhões de m<sup>3</sup> e, em 2016, foi de 6,4 milhões de m<sup>3</sup>. Devido a isso, a produção de serrados no Brasil oriundos de árvores plantadas foi de 8,8 para 8,6 milhões de m<sup>3</sup> de 2015 para 2016. O ano de 2016 apresentou o menor valor para consumo e produção, desde 2010, como mostra o gráfico da figura 4.

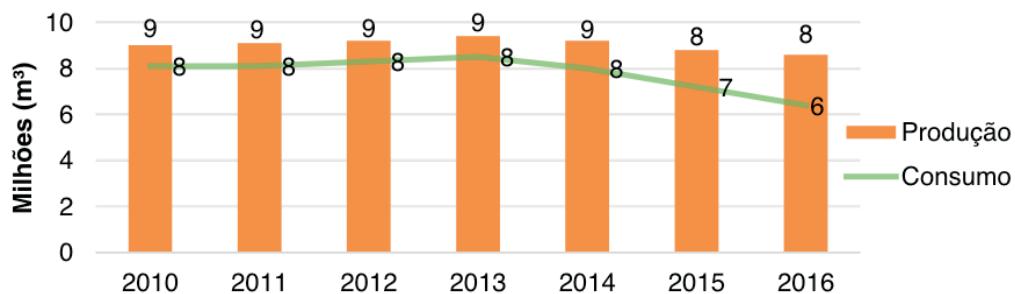


Figura 4 - Histórico da produção e consumo nacional de madeira serrada (2010-2016)

Fonte: Adaptado de ABRAF (2013); IBÁ (2015); IBÁ (2017)

Uma alternativa para incrementar a produção da indústria de serrados e chapas pode ser o desenvolvimento das construções leves de madeira no Brasil como o wood frame. Isso também será influenciado pela busca de melhorias no manejo, melhoramento genético e técnicas produtivas na indústria da madeira.

#### 4 I CONSTRUÇÕES LEVES EM WOOD FRAME NA AMÉRICA DO SUL E NO BRASIL

O wood frame é um sistema construtivo que usa montantes leves em madeira para construção de quadros estruturais que atuam em conjunto como elemento estruturante de uma edificação. Pode ser montado no sistema balão ou plataforma, sendo o último o mais difundido e também permite tanto a autoconstrução quanto a pré-fabricação. Na América do Sul esse sistema está aos poucos começando a ser mais conhecido e utilizado por causa de suas inúmeras vantagens e como alternativa a sistemas tradicionais de construção mais demorados e que geram mais resíduos. O grupo de pesquisa argentino do Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) levou pesquisadores para o Canadá para aprenderem o modo de produção do wood frame canadense e aplica-lo na Argentina.

Na experiência argentina de wood frame se utiliza o *Eucalyptus grandis* ou *E. saligna* na estrutura. Admite-se defeitos, porém sempre levando em consideração a classificação das madeiras de acordo com os defeitos apresentados e os usos a que são destinadas (INTA, 2017). O sistema do INTA não se restringiu à Argentina, sendo disseminado também no Uruguai.

No Chile, outro país sul-americano onde se desenvolveu o sistema wood frame, este se assemelha ao sistema alemão, tendo o máximo possível da montagem industrializada e depois transportada para a obra (MOLINA e CALIL Jr, 2010). O projeto em wood frame mais conhecido do Chile é o conjunto Villa Verde da Elemental, que se trata de habitações evolutivas, compostas de uma unidade embrião que prevê um crescimento progressivo feito pelos moradores (ARAVENA et al. 2013). No Chile

a espécie de reflorestamento mais comum é o *Pinus radiata* e depois o *Eucalyptus globulus*, mas para o Villa Verde, segundo os mesmos autores, a madeira utilizada foi a de *Pinus*.

Já no Brasil, a trajetória do sistema wood frame se deu paulatinamente, desde a década de 70 do século XX, usando prioritariamente o *Pinus* como montantes estruturais, sendo que, na última década, deu-se uma arrancada no crescimento desse tipo de construção com o estabelecimento de empresas especializadas no setor.

#### 4.1 Construções leves em wood frame no brasil

Embora ainda pouco difundido, em comparação a outros sistemas construtivos utilizando materiais tradicionais como alvenaria, concreto e aço, o sistema wood frame já havia sendo utilizado com outros nomes no Brasil, desde a década de 70, segundo Espindola (2017). No quadro 1 observam-se alguns dos sistemas baseados no wood frame vistos no Brasil, até a última década.

Empresa	Localidade	Ano	Denominação do Sistema	Madeira empregada
<b>EPOTEC Paraná Indústria e Comércio de Casas Pré-Fabricadas Ltda</b>	Piraquara, Paraná.	1972 - 1994	Epotec-Fertighaus	Não especificada, mas preservada
<b>Battistella Indústria e Comércio Ltda.</b>	Curitiba, Paraná	1988 - 1994	Stella	Madeira de floresta plantada e tratada em autoclave
<b>Madezatti</b>	Caxias do Sul, Rio Grande do Sul	1970/80 - 1996	Painéis portantes e ossatura de madeira	Não especificada
<b>Malacon</b>	Curitiba, Paraná	Meados de 2000	US Home	Madeira de araucária tratada em autoclave
<b>Battistella e C. Palermo UFSC</b>	Santa Catarina	2002/3	Stella-UFSC	Madeira de <i>Pinus</i> preservada
<b>Tecverde</b>	Curitiba, Paraná	2010/3	Tecverde	Madeira de pinus e tratada em autoclave

Quadro 1 – Sistemas wood frame produzidos no Brasil.

Fonte: adaptado de Espindola (2017)

Em 2009, o SENAI-PR em parceria com o Ministério das Finanças e Economia do Estado Baden-Württemberg da Alemanha promoveram ações conjuntas para impulsionar o sistema wood frame no Brasil. Isto possibilitou a transferência da tecnologia específica do sistema para o país, facilitando a implementação do mesmo (ESPINDOLA 2017). Conforme a autora, essas ações permitiram avaliar

como poderia ser aplicado o wood frame alemão no contexto, formando-se então a Comissão Casa Inteligente, primeiro grande passo para a promoção do wood frame no Brasil.

O sistema wood frame não tem norma técnica no Brasil e uma das contribuições, partindo desta comissão foi a publicação da Diretriz SINAT nº 005 / 2011 com referências e diretrizes técnicas para o wood frame aqui produzido. A partir de então várias empresas construtoras no sistema wood frame foram consolidadas, entre elas, a Tecverde, a primeira empresa brasileira criada para produção do wood frame através da aplicação de métodos industrializados, usando em seu sistema o *Pinus elliottii* tratado com CCA. Muitas construtoras que trabalham com o sistema wood frame se estabeleceram no sul e sudeste do Brasil, a exemplo da Tecverde, Shintec e Bolsoni Construtora. Em relação a divisão por estado das principais empresas produtoras do sistema wood frame no Brasil, observa-se que a grande maioria se localiza principalmente nas regiões sul e sudeste, com 44% em São Paulo, 26% no Paraná e 11% em Santa Catarina (ARAUJO et al., 2016).

No Brasil o sistema wood frame atualmente é produzido tanto para habitações de alto padrão, quanto para habitações de interesse social através de diversas empresas e construtoras. Exemplos de casas construídas pela Tecverde podem ser vistos nas figuras 5 e 6. A primeira trata-se do residencial Haragano, construído em uma parceria da Tecverde com a construtora Roberto Ferreira, sendo o primeiro conjunto habitacional em wood frame do programa Minha Casa Minha Vida, localizado em Pelotas no Rio Grande do Sul.



Figura 5 - Residencial Haragano em Pelotas, RS

Fonte: FIEP (2013)

Figura 6 - Casa modelo Slim em Pinhais, PR

Fonte: OLIVEIRA (2016)

Figura 7 - Casa luxuosa em Nova Lima, MG

Fonte: ARAUJO (2016)

A segunda é a casa modelo Slim construída em 2010 em Pinhais no Paraná pela Tecverde. A figura 7 mostra uma casa de alto padrão construída em Nova Lima, Minas Gerais, em uma parceria das empresas VC Construtora e Stamade.

A madeira de *Pinus* é a mais utilizada para os sistemas wood frame no Brasil, mas o eucalipto também já foi empregado a exemplo do protótipo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT, em São Paulo, construído no final dos anos 1990, e

o do “Morar melhor” construído pela construtora Roberto Ferreira, em Pelotas, em 2011, mostrados na figura 11.



Protótipo do IPT



Protótipo do “Morar Melhor”

Figura 11–Construções wood frame com eucalipto

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2016) e ESPINDOLA (2017)

De alguma forma o eucalipto foi empregado em algumas das experiências com wood frame no Brasil, mas nenhuma referência apontou vantagens ou desvantagens em empregar essa madeira nos entramados estruturais das construções citadas.

## 5 | COMPARATIVOS ENTRE O PINUS E O EUCALIPTO VISANDO SEU EMPREGO EM WOOD FRAME

Faz-se aqui uma comparação do emprego do Pinus e do Eucalipto em wood frame sob os aspectos da preservação e das características mecânicas e ambientais e da produção local dos dois gêneros, buscando observar as vantagens de empregá-los na indústria da construção leve em madeira.

Um conceito importante é a tratabilidade da madeira, que varia entre as espécies, com a maior ou menor penetração do preservativo principalmente no cerne. O pinus apresenta alta permeabilidade ao tratamento preservativo em relação à madeira de eucalipto. A madeira de Pinus tem o cerne tratável e o Eucalipto por ser uma madeira com maior densidade só é penetrável no alburno. No sistema Wood Frame utilizado no Brasil é recomendado o uso de madeira preservada em toda a construção (SINAT 005/17). Sob este aspecto e segundo esta instrução da SINAT, o eucalipto está em desvantagem em relação ao pinus.

Mesmo tendo o pinus mais vantagem em relação à penetração do produto preservador em relação ao eucalipto, este enfrenta a tendência mundial em restringir o CCA (Arsenato de cobre Cromatado) atual e mais tradicional composto preservador utilizado no Brasil para tratamento de madeiras.

Outro aspecto relevante quanto a comparação dos dois gêneros, visando o emprego em wood frame, refere-se às propriedades físicas e mecânicas da

madeira. As espécies de Eucalipto têm maiores massas aparentes em relação ao Pinus. Considerando as espécies apresentadas na NBR 7190, das 17 espécies de Eucalipto e das 6 espécies de Pinus os valores de massas específicas aparentes a 12% de umidade varia, de 640 a 1087kg/m<sup>3</sup> para o eucalipto e de 535 a 645kg/m<sup>3</sup> para o pinus. Em relação à resistência mecânica dos dois gêneros, as espécies cultivadas de eucalipto tendem a ter resistências maiores com relação às espécies cultivadas no Brasil para o gênero Pinus. Superando o Pinus em relação às mais altas resistências, o Eucalipto demonstra sua viabilidade em atender aos esforços estruturais na construção em wood frame com as mesmas aplicações que o Pinus.

Quanto ao aspecto ambiental da madeira, Calil Jr e Brito (2010) afirmam que um dos critérios fundamentais na análise do benefício eco ambiental de uma espécie é o potencial de sequestro de CO<sub>2</sub> e que as árvores que mais consomem CO<sub>2</sub> são aquelas em fase de crescimento. Os autores também dizem que, quanto maior é a rotatividade, mais efetivo é esse processo. Considerando a alta rotatividade do gênero *Eucalyptus*, em torno de metade da rotatividade do pinus, é possível inferir que o primeiro é protagonista entre as espécies de reflorestamento no sequestro de CO<sub>2</sub> no Brasil.

Com relação à produção local, já foi evidenciada a tendência em se produzir mais eucalipto do que pinus no território brasileiro. O pinus se desenvolveu melhor no sul e sudeste do Brasil, concentrando-se as plantações de florestas nestas regiões. Por outro lado, também nestas regiões atualmente se concentram as indústrias e empresas especializadas em construções no sistema wood frame, persistindo a utilização do pinus para esta finalidade construtiva. Nesse quesito, o pinus é vantajoso pela sua produção estar situada próxima às unidades consumidoras (empresas de wood frame).

Os desafios para inserção do eucalipto no sistema wood frame são vários, incluindo a sua durabilidade e usinagem, uma vez que o eucalipto em geral apresenta características de retratibilidade que influenciam na sua secagem e nos processos de desdobra e serragem. Há algumas décadas, a não uniformidade da produção de eucalipto para a indústria da madeira e da construção trazia desvantagens em relação à produção do pinus. Nos anos 1990, grande parte dos plantios de eucalipto objetivava a produção para indústria de celulose de fibra curta e carvão vegetal, tornando difícil o aproveitamento dessa madeira para a indústria moveleira e serrarias, gerando uma oferta de matéria prima inconstante quanto a suas características e consequentemente preconceitos relacionados à madeira serrada de eucalipto (PONCE, 1995).

A maior preocupação com o manejo do Pinus do que com o do eucalipto, favorecia a produção do Pinus, pois as técnicas para seu processamento mecânico já eram concebidas visando a qualidade final do produto. Na tentativa de superar isso,

buscou-se a manipulação genética e criação de clones de Eucalipto, que juntamente com o desenvolvimento de práticas de manejo adequadas para a serraria geram produtos com melhor qualidade, uniformes e apropriados para a produção de madeira serrada. De acordo com a IBÁ (2014) a adoção do melhoramento genético foi um avanço significativo que garantiu o aumento da produtividade e competitividade da indústria, tendo como objetivo a seleção de árvores com as melhores características, tanto no aspecto florestal quanto industrial, como vigor, forma, resistência a doenças e pragas, qualidade e rendimento da madeira.

Ainda com relação ao sistema wood frame, no Brasil não existe uma norma técnica específica para a regulamentação do mesmo, existindo a diretriz SINAT 005, responsável por definir diretrizes para a produção do sistema. Esta diretriz, que anteriormente aceitava as folhosas para montantes de madeira serrada, em sua revisão, em 2017, deixa de considerar as folhosas para esse uso e com isso as espécies de Eucalipto. Torna-se então necessária a elaboração de pesquisas e trabalhos que comprovem as possibilidades dessa madeira e endossem a utilização da mesma.

## 6 | CONCLUSÕES

As madeiras de pinus e eucalipto representam a alternativa para construções leves em madeira no Brasil, apresentando ambos os gêneros características adequadas a esse tipo de sistema nos aspectos ambientais e de características mecânicas. Ocorre, no entanto, uma predileção pelo emprego do pinus tanto pela concentração de florestas como de empresas especializadas no Sul e Sudeste do Brasil, mesmo com o incremento de florestas de eucalipto e diminuição de áreas plantadas de pinus no país. Se existe uma tendência no aumento de áreas plantadas de eucalipto, este deve ser avaliado também como alternativa para construção civil e para construções em wood frame. Em regiões onde seu desenvolvimento é mais propício por aspectos climáticos e de solo, a exemplo do Nordeste, são necessários estudos de viabilidade técnica voltados para o wood frame em substituição à madeira de pinus.

O eucalipto tem um potencial mecânico superior ao do pinus e pode ser pensado para compor montantes estruturais com dimensões específicas e diferenciadas das utilizadas com pinus, para compensar a questão da tratabilidade que é mais difícil para este gênero em relação ao pinus.

Precisa-se produzir normas de construções leves para pinus e eucalipto e não só considerar as coníferas como espécies adequadas ao sistema wood frame como o faz a SINAT em sua mais recente versão. Sublinha-se que a formulação de um

sistema wood frame adaptado para as características do Eucalipto constituem um trabalho mais longo e específico. Tal elaboração fica como sugestão para estudos mais profundos para subsidiar a viabilização para a adoção formal desse gênero nas construções leves em madeira.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 142p.

ALMEIDA DE ARAUJO, V. et al. Woodframe: light framing houses for developing countries. **Revista de la Construcción**, Santiago, v. 15, n. 2, p. 78-87, agosto 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2016000200008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2016000200008&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 10 ago. 2017.

ARAVENA, A. et al. PROYECTO VILLA VERDE CONSTITUCIÓN, CHILE ELEMENTAL. **ARQ**, Santiago, v.84, p.48-51, agosto 2013. Disponível em: <[http://www.redalyc.org/articulo\\_oa?id=37528909007](http://www.redalyc.org/articulo_oa?id=37528909007)>. Acesso em: 26 set. 2017.

BORTOLETTO Jr., G.; LAHR, F.A.R. Aplicação da madeira de Pinus na construção Civil. **Madeira: arquitetura e engenharia**, n. 2, p. 13-18, agosto 2000.

CARMO, E.R. et al. O uso da madeira reflorestada como estratégia competitiva para uma indústria madeireira. In: **I Conferência Internacional em Gestão de Negócios**, 2015, Cascavel. Paraná, UNIOESTE, 2015,16p.

CALIL JUNIOR, C.; BRITO, L. D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças rolíças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: EESC, 2010. 312p.

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. São Paulo: Pini, 2010. 208p.

ESPÍNDOLA, L. R., INO, A. (2014). **Inserção e financiamento do sistema wood frame no programa habitacional Minha Casa Minha Vida**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

ESPÍNDOLA, L.R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. Tese (Doutorado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.331p.

FIEP. (2013). Federação das Indústrias do Estado do Paraná. Visita residencial Haragano- Pelotas. Conselhos temáticos e setores da FIEP:19 JUL 2013. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/para-empresas/conselhos/visita-residencial-haragano---pelotas-11-3998-220564.shtml>>Acesso em 14 set. 2017

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da indústria brasileira de árvores**: ano base 2014. Brasília: IBA, 2015. 80p.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da indústria brasileira de árvores**: ano base 2015. Brasília: IBA, 2016. 100p.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da indústria brasileira de árvores**: ano base 2016. Brasília: IBA, 2017. 80p.

IBGE –INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal**

**e da silvicultura 2000.** Rio de Janeiro, v.61, 2001. Disponível em:< [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb\\_2001.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2001.pdf) > Acesso: 12jul.2017.

**IBGE –INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2005.** Rio de Janeiro, v.66, 2006. Disponível em:< [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb\\_2006.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2006.pdf) > Acesso: 12jul. 2017

**IBGE –INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2010.** Rio de Janeiro, v.71, 2011. Disponível em:< [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb\\_2011.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2011.pdf) > Acesso: 12jul. 2017

**IBGE –INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2015.** Rio de Janeiro, v.76, 2016. Disponível em:< [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb\\_2016.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2016.pdf) > Acesso: 12jul. 2017

**INTA–INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA.** Taller: Construcción en madera sustentable y de alta prestación “Sistema Canadiense aplicado en Argentina”, junho, 2017.

LONGUE Junior, D.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade de reflorestamento para produtos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.76, p. 429-438, 2013.

OLIVEIRA, L.A. Estudo prospectivo do Sistema Light Wood Frame em edifícios de até quatro pavimentos no Brasil. In: ENCONTRO TÉCNICO - SINDUSCON, 2016, Curitiba. **Comunicação técnica**.São Paulo, IPT, 2016. 66p.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo.**Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 50-58.

SINAT – Sistema Nacional de Aprovações Técnicas. **Diretriz SINAT nº 005/17 - Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”).** 2<sup>a</sup> rev., Brasília, 2017.

SNIF –Sistema Nacional de Informações Florestais. **Produção florestal.** Boletim SNIF 2016. v.2, n.2, 2016, 10p.

## ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DO DESLIZAMENTO PINO SOBRE DISCO DO AÇO ISI 4140 X H13

Data de aceite: 25/11/2019

**José Maria do Vale Quaresma**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

### **Eric Elian Lima Espíndola**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Andrey Coelho das Neves**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Beatriz Seabra Melo**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Vinicio Silva dos Reis**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Milena Cristina Melo Carvalho**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Brenda Thayssa Figueira Daniel**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Rodrigo Ribeiro Lima**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

### **Edgar Costa Cardoso**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Aélcio de Jesus Monteiro dos Santos**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

### **Emerson Rodrigues Prazeres**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat  
Belém – Pará

**RESUMO:** Este artigo tem como objetivo apresentar a análise sobre a resistência ao desgaste por um par seco de aço x aço quando ocorre variação de força normal. O método utilizado para realizar os testes de desgaste deslizante foi o teste pino sobre disco, mantendo constante a dureza do pino e do disco (340 e 380 HV, respectivamente), com 05 testes para cada par pin-pará-disco, em função de 02 (dois) valores de carga normal (35 N e 70 N). Para a realização dos ensaios foram utilizados pinos de aço ABNT 4140 com 5 mm de diâmetro por 15 mm de comprimento e discos de aço ABNT H13 medindo 76 mm de diâmetro por 4 mm de espessura. O estudo mostrou que com o aumento da força normal os fatores analisados também apresentaram crescimento, os pinos, principalmente, com a carga aplicada de 70 N sofreram um aumento muito alto atingindo uma diferença de 120% no nível de endurecimento quando comparado com o material antes do teste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coeficiente de atrito, Desgaste deslizante, Carga normal.

**ABSTRACT:** This paper aims to present the analysis about the resistance to wear by dry a steel x steel pair when normal force variation occurs. The method used to perform the sliding wear tests was the pin-on-disk test, keeping the pin and disk hardness constant (340 and 380 HV, respectively), with 05 tests for each pin-to-disk pair, as a function of 02 (two) normal load values (35 N and 70 N). To perform the tests were used ABNT 4140 steel pins with 5 mm diameter for 15 mm in length and ABNT H13 steel discs measuring 76 mm in diameter by 4 mm in thickness. The study showed that with the increase of normal force the analyzed factors also presented growth, the pins, mainly, with the applied load of 70 N suffered a very high increase reaching a difference of 120% in the level of hardening when compared with the material before the test.

**KEYWORDS:** Coefficient of friction, Sliding wear, Normal load.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aprofundamento dos fenômenos tribológicos facilita e esclarece a maneira pela qual o desenvolvimento da saúde industrial dos sistemas mecânicos deve ser tratado, através da quantificação de parâmetros e sistematização de métodos de prevenção de falhas tribológicas.

Holmberg and Folkesson (1991) apontam que falhas mecânicas de componentes e especialmente falhas tribológicas, como falhas de desgaste e atrito, são uma das principais causas de parada e indisponibilidade de sistemas de produção.

Como dito pela NADCA (1997). O aço H13 utilizado para moldes de injeção e extrusão de metais a quente como alumínio, zinco e cobre, com também no processo de conformação a quente em prensas e martelos. A composição química do aço H13 mostra: grande temperabilidade, boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas, excelente tenacidade, grande resistência ao amolecimento pelo calor, boa usinabilidade na categoria de aços ferramenta, excelente resistência à choques térmicos devidos à aquecimentos e resfriamentos contínuos, de tal forma que o aparecimento trincas térmicas seja reduzido.

As características do aço AISI H13 ditas pela ASM (1992) ajudam a manter a dureza e resistência ao desgaste a temperaturas elevadas, visto que o mesmo faz parte de uma classe de aços de médio carbono com elementos de liga adicionais. Todos os graus contem cromo; graus H20 a H39 contém tungstênio e H42 contém 5wt % Mo. Todos os aços para trabalho a quente são profundamente endurecíveis. Aplicado normalmente em elevadas temperaturas, como em ferramentas de forjamento e extrusão, dummy blocks, etc.

Segundo Rocha (2004) o aço SAE 4140 empregado em componentes que

precisam de elevada dureza, resistência e tenacidade em operação, sendo de uso recorrente na fabricação de automóveis, aviões, virabrequins, bielas, eixos, engrenagens, armas, parafusos, equipamentos para petróleo, dentre outros. Visto que possui características tais como alta temperabilidade, má soldabilidade e usinabilidade razoável; além disso, este aço apresenta boa resistência mecânica em atividades de torção e fadiga, e a dureza na condição temperada varia de 54 a 59 HRC (677 a 579 HV).

As características apontadas pela ASM (1992) e por ROCHA (2004) mostram que a interação entre o aço AISI H13 e AISI H13 é de interesse para melhores análises do desgaste dos materiais, visto as situações no qual são empregados na indústria.

Dessa forma, a pesquisa é importante porque o tipo de teste utilizado neste trabalho, pino-em-disco, é relevante, a aplicação do mesmo na indústria é comumente vista, especialmente em equipamentos onde o contato é contínuo como em materiais de usinagem e processos de trefilação.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de trabalho dos experimentos foi dividida em duas fases, sendo a primeira composta pelos testes realizados na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), onde foram realizadas todas as etapas de coleta de dados para a análise.

Os pinos utilizados nos testes, adquiridos na condição temperada (com dureza em torno de 440 HV), foram padronizados para obter a dureza média de 340 HV, com 5 mm de diâmetro por 15 mm de comprimento proposta pelos parafusos de aço ABNT 4140 de alta resistência. para os testes. Os discos utilizados nos ensaios foram obtidos a partir de uma barra de aço redonda ABNT H13 (aço ferramenta), medindo 76 mm de diâmetro por 4 mm de espessura, na qual foram submetidos a tratamento térmico para obtenção de dureza (380 HV). Figura 1 mostra um pino e um disco após o ensaio.



Figura 1. Pino e disco utilizados no ensaio.

Fonte: GRUPO GPEMAT

Os corpos de prova após o tratamento térmico de têmpera mais revenido, com austenitização em 1050 °C por 1 hora, variando-se as temperaturas e os tempos de revenido para obter dureza (380 HV) foram usinados, medindo-se a dureza dos corpos, sendo o corpo de menor dureza (mais macio): pinos de aço ABNT 4140 e corpo mais duro: discos de aço ABNT H13. Antes do teste pino-sobre-disco, o equipamento foi calibrado, após dez (10) etapas de teste, com 05 testes para cada par pino-disco, em função de 02 (dois) valores de carga normal (35 N e 70 N). Assim, os valores de força de atrito e coeficiente de atrito em função do tempo para cada teste foram calculados por meio de um programa específico e a perda de massa para cada corpo de prova foi medida, para os ensaios de desgaste foram utilizadas as recomendações da norma ASTM G-99 (G-99-90, 1992).

A figura 2 mostra uma ilustração esquemática do ensaio pino sobre disco. O equipamento funciona por um eixo acoplado a um motoredutor que proporciona um movimento rotativo induzido em um disco que possui. A máquina, desenvolvida pelo grupo, possui um braço de alavanca no qual tem finalidade de fixar o pino, o qual pode ser colocado em contato com o disco rotativo, que gira em uma rotação constante de 40 rpm e velocidade tangencial constante de 0,1 m/s. Apresenta também a funcionalidade de aplicação da carga normal sobre o pino, por meio do braço de alavanca, seja através de placas circulares ou peso morto. Por último, o equipamento apresenta células de carga para medir a carga normal e a tangencial (atraito). Os dados registrados pelas células de carga são monitorados e armazenados em um computador, equipado com um programa que faz a leitura e registra os dados de força de atrito a cada segundo, durante o ensaio.

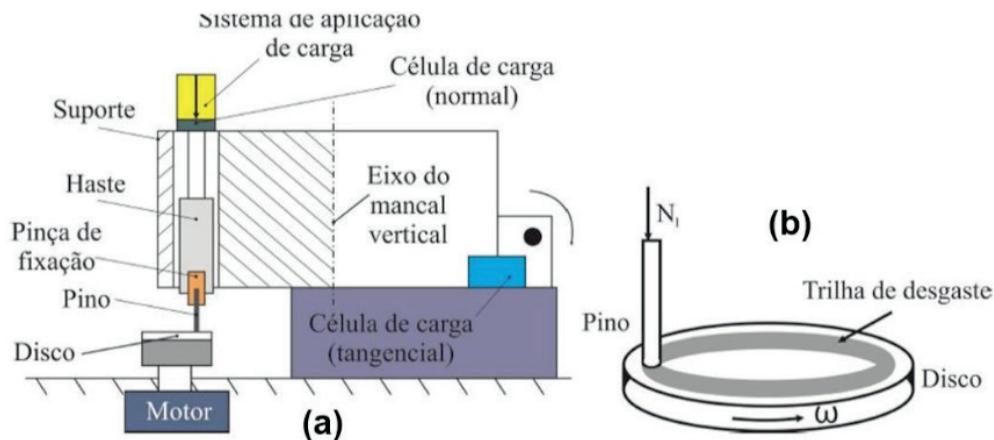


Figura 2. Esquema ilustrado do equipamento a) e do contato e b) do ensaio pino disco.

Fonte: VIÁFARA, 2010.

A base das atividades na segunda fase foi a Universidade Federal do Pará e o Museu Emílio Goeldi (CNPq), onde foram tratados os dados coletados e a análise dos resultados obtidos.

A taxa de desgaste das amostras foi calculada, de modo que o efeito do desgaste nos corpos submetidos aos testes de deslizamento foi medido por meio de medidas de perda de massa dos pinos e discos desgastados, com o auxílio de uma escala especial com uma precisão de 0,00001 g. Medições de microdureza em superfícies desgastadas e não testadas ocorreram em um microdurômetro digital, fabricado pela Microtest S.A sendo o modelo HV-1000B, com carga de 50 g, para estipular o endurecimento sofrido por partes desgastadas da superfície nos testes.



Figura 4. Microdurômetro.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

A figura 3 mostra um esquema das quatro regiões em que serão feitas as

medidas de microdureza nos pinos e discos.

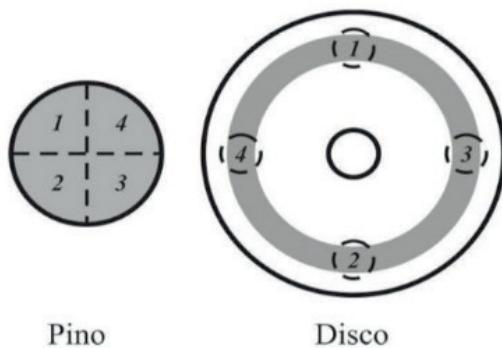


Figura 3. Esquema ilustrativo das regiões das medições de microdureza.

Fonte: VIÁFARA, 2010.

Utilizando o recurso de MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), realizou-se a caracterização das superfícies desgastadas, nas quais é possível perceber a mudança no comportamento de desgaste das superfícies, com a variação normal de força aplicado.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos testes foram utilizados para determinar parâmetros para a pesquisa como: curvas de coeficiente de atrito em função do tempo, curvas de perda de massa, curvas de desgaste, micrografias de superfícies de MEV, perfis e parâmetros de rugosidade e microdureza (HV). A partir desses dados, o comportamento dos espécimes foi analisado pela aplicação de diferentes cargas.

Os períodos de rodagem são observados no início da interação entre duas superfícies e um regime de atrito permanente, no qual o coeficiente de atrito tende a ser constante. A Figura 5 mostra o gráfico todas as curvas de coeficiente de atrito em função do tempo de deslizamento (3.600 s) para a carga normal de 35 N e dureza de disco e pino de 380 HV e 340 HV, respectivamente.

Pode-se observar também que os períodos de running-in, que acontece no início da interação entre duas superfícies, no qual ocorre nos primeiros 400s no gráfico e de regime permanente de atrito, característica dos ensaios de desgaste por deslizamento. O período de running-in foi considerado como aquele que marca o começo da estagnação do comportamento crescente do coeficiente de atrito. A Figura 5 também mostra curvas de coeficiente de atrito em função do tempo de deslizamento (900 s) para a carga normal de 70 N.

A diminuição do tempo de deslizamento para a carga de 70 N, em comparação com a carga de 35 N, ocorreu devido à alta taxa de desgaste do pino durante o teste, assim evitando a perda total de o pino testado.

Para uma análise mais detalhada, apenas um teste será referenciado para cada carga. A Figura 6 mostra que com o aumento da carga aplicada, de 35 N para 70 N, o período de amaciamento se torna menor, o regime de atrito permanente apresenta maiores valores de coeficiente e apresenta menor variação. Observa-se também que a amplitude do coeficiente de atrito torna-se menor com o aumento da carga aplicada, conforme mostrado por uma região marcada.

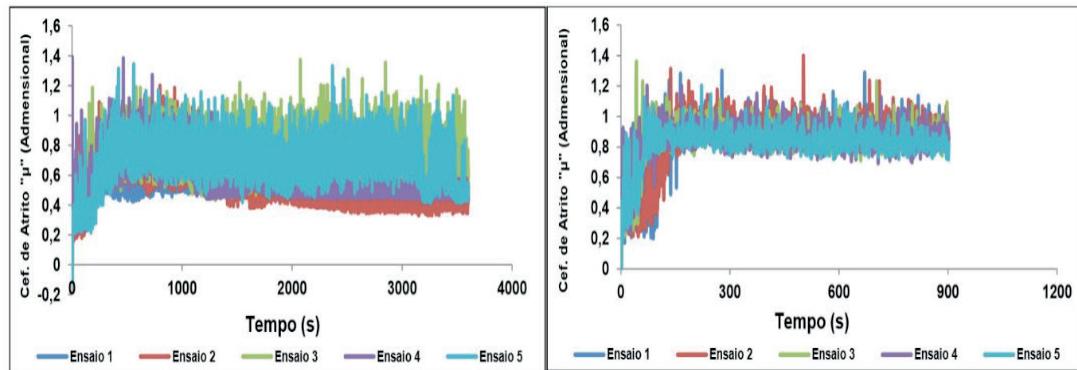


Figura 5. Curvas de coeficiente de atrito em função do tempo de deslizamento sob uma carga normal de 35 e 70 N, respectivamente.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

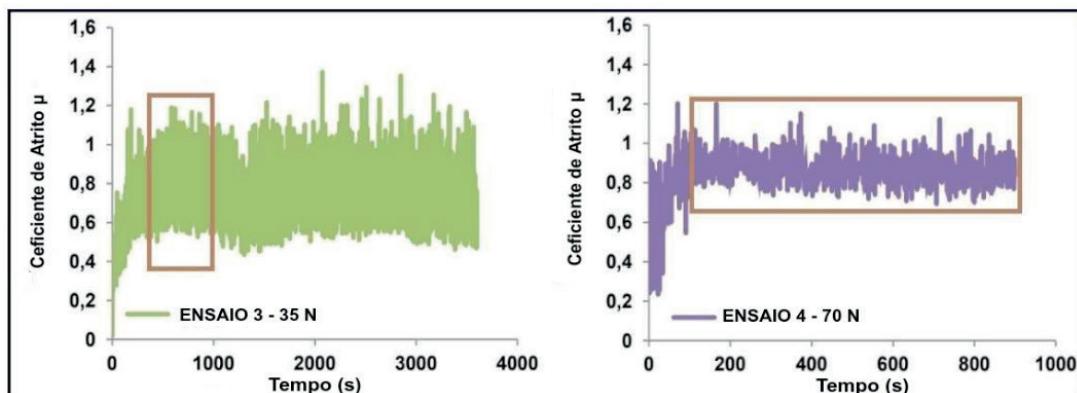


Figura 6. Valores do coeficiente de atrito para os ensaios 3 e 4 em função do tempo de deslizamento sob uma carga normal de 35 N e 70 N, respectivamente.

Fonte: GPEMAT GROUP.

A tabela 1 faz um resumo dos valores calculados do coeficiente de atrito no regime permanente para cada ensaio, bem como a média e o desvio padrão (DesvPad), em seguida a fig. 7 apresenta um gráfico comparando esses valores.

PINO 340 HV X DISCO 380 HV		
	Coeficiente de atrito ( $\mu$ )	
Ensaio	35 N	70 N
1	0,50	0,90
2	0,53	0,92
3	0,75	0,87
4	0,57	0,87
5	0,70	0,85
<b>Média</b>	<b>0,61</b>	<b>0,88</b>
<b>DesvPad</b>	0,11	0,03

Tabela 1. Coeficientes de atrito médios no regime permanente para cada ensaio estudado.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

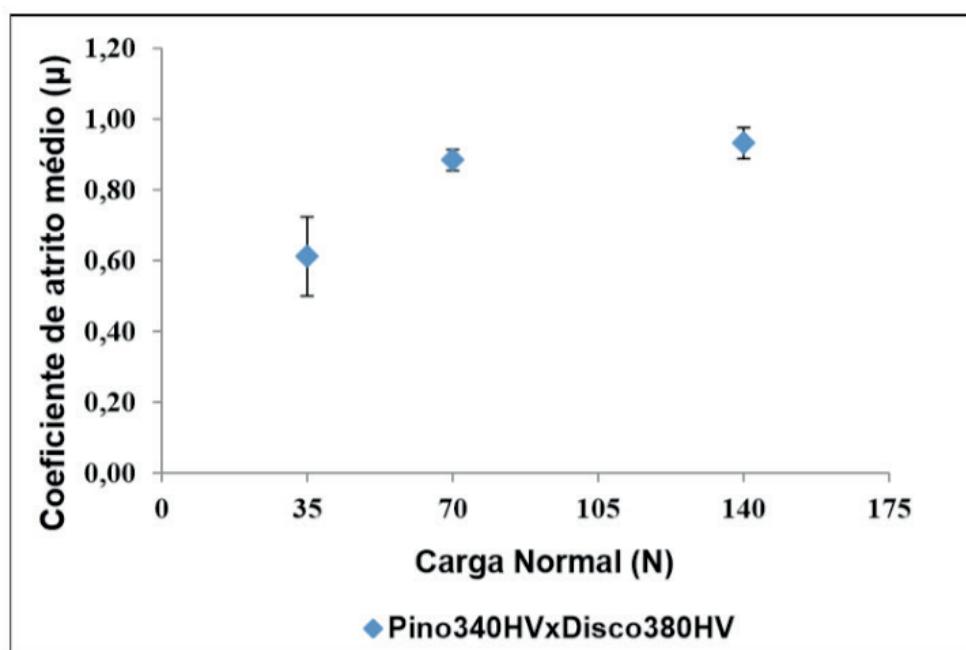


Figura 7. Comparação dos coeficientes de atrito médio no regime permanente para cada ensaio estudado.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

### 3.1 Desgaste

O efeito de desgaste nas amostras submetidas aos testes de deslizamento é representado pelas medições de perda de massa de pinos e discos desgastados. Para a carga normal de 35 N, o tempo de escorregamento foi de 3.600 s. O desgaste é muito pronunciado durante o teste 4 para a carga de 70N, o dobro do usado no teste 3, o que reduziu o tempo de escorregamento para 900s. Como a carga normal de 70 N, duas vezes a usada no teste 3, era muito alta para o teste, decidiu-se reduzir o tempo de escorregamento para 900 s nos outros quatro testes.

Os gráficos da fig. 8 mostram os resultados da perda de massa média (em mg / m) para os pinos e discos, após cinco repetições de testes de deslizamento, para as

duas cargas normais aplicadas. Observa-se que os gráficos mostram comportamento similar, a perda de massa para os pinos é maior que nos discos. Com a força de 70 N, a perda de massa do pino começa a obter valores maiores em relação ao disco.

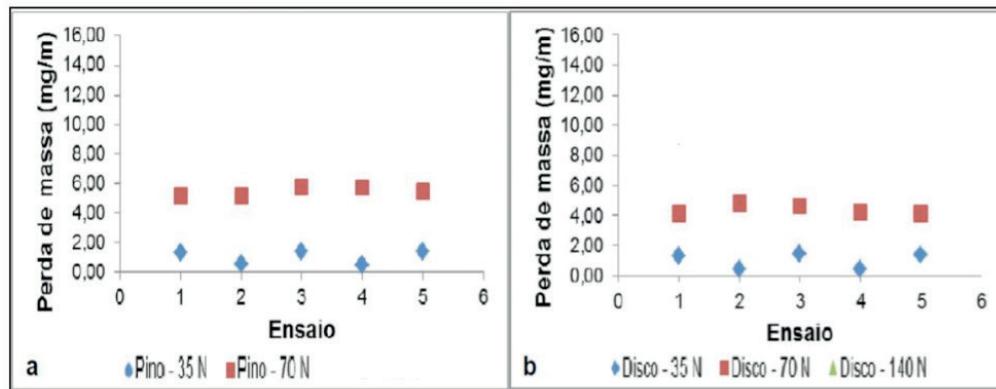


Figura 8. Resultados da perda de massa dos pinos (a) e discos (b) após os cinco testes de desgaste deslizante, com uma dureza de 380 HV.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

A tabela 2 faz um resumo e mostram os valores de perda de massa para cada ensaio, bem como a média e desvio padrão. Nelas percebe-se a variação em cada condição, confirmando o comportamento apresentado no gráfico anterior.

PERDA DE MASSA (mg/m) DOS PINOS (340HV) E DISCOS (380 HV)				
Ensaios	Carga 35 N		Carga 70 N	
	Pino	Disco	Pino	Disco
1	1,35	1,35	5,17	4,17
2	0,55	0,46	5,19	4,83
3	1,38	1,44	5,79	4,61
4	0,53	0,42	5,75	4,25
5	1,40	1,42	5,48	4,18
<b>Média</b>	<b>1,04</b>	<b>1,02</b>	<b>5,48</b>	<b>4,41</b>
<b>Desvpad</b>	0,46	0,53	0,29	0,30

Tabela 2. Resultados de perda de massa (em mg/m) de todos os ensaios pino 340 HV x disco 380 HV, para as três cargas normais aplicadas.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

### 3.2 Análise da superfície desgastada

O estudo das superfícies dos espécimes foi feito por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Um par pin-para-disco foi usado para cada condição de teste. Nestas imagens é visto como a mudança no comportamento de desgaste das superfícies é afetada com o aumento da força normal aplicada.

A figura 9 mostra imagens do MEV de um par pino-disco, pode-se ver nas imagens dos pinos as marcas de deformação plástica que são melhor evidenciadas (a) na imagem, no aumento da carga a imagem ( b) mostra além da deformação plástica também a formação das bordas laterais (c) e (d) removidas no modo de elétrons secundários (es) mostra maiores expansões da região de desgaste com a variação da carga aplicada.

A superfície do disco (e) mostra a presença de partículas removidas do pino (mais macio) juntamente com marcas de deformação plásticas, menos evidentes do que na superfície do pino. Com o crescimento normal da força, a superfície do disco (f) mostra marcas muito mais pronunciadas de adesão e deformação plástica.

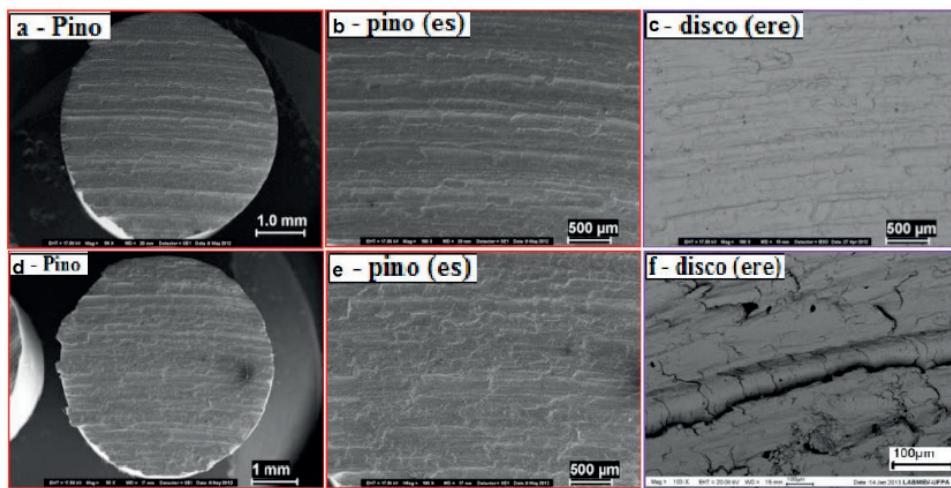


Figura 9. Imagens (MEV) das superfícies desgastadas de um par de discos de 340 pinos x 380 HV, carga normal de 35 N e 70 N, (a) e (b) superfícies de pinos com cargas diferentes. Imagens do pino em elétrons secundários em (c) e (d). Imagens do disco em elétrons retro espalhados (e) e (f).

Fonte: GRUPO GPEMAT.

Para mostrar de forma resumida como o desgaste afeta o deslizamento nas superfícies ensaiadas, construiu-se um quadro comparativo na fig. 10 com as micrografias do MEV destacando as principais diferenças entre os mecanismos de desgaste atuantes nos pinos e discos.

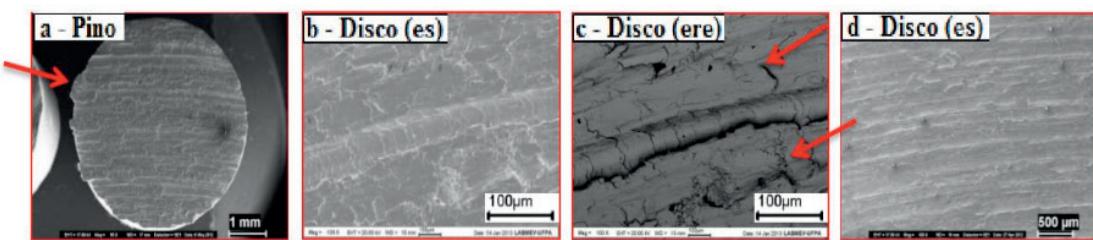


Figura 10. Comparação das micrografias do MEV das superfícies desgastadas. (a) Pino ensaiado com carga de 70 N; (b) Disco ensaiado com carga de 70 N (modo elétrons secundários); (c) Disco ensaiado com carga normal de 70 N (modo elétrons retro espalhados); (g) Disco ensaiado com carga de 35 N (modo elétrons secundários).

Fonte: GRUPO GPEMAT.

Analisando a fig. 10, observam-se claramente as principais diferenças nas micrografias. Nas micrografias “a” e “b” têm-se um pino e um disco, respectivamente, do mesmo ensaio. Neles são percebidas fortes marcas de deformação plástica, típicas de um mecanismo severo de desgaste, criando bordas nas laterais do pino (seta vermelha) e marcas de desgaste acentuadas no disco. Outras características importantes são mostradas na micrografia “c”. Trata-se de imagem do disco no modo elétrons retro espalhados, nas quais é possível de perceber trincas de deformação (seta vermelha) na micrografia, causadas provavelmente pelo contato metálico contínuo entre o pino e o disco, em uma carga normal alta (70 N). A micrografia “d” é de um disco ensaiado com carga normal 35 N, onde pode-se observar marcas de deformação plástica e pequenas partículas de adesão.

### 3.3 Medidas de microdureza

As superfícies desgastadas foram caracterizadas por medidas de microdureza nas trilhas de desgaste. A figura 11 (a) mostra um gráfico de microdureza em função da carga normal aplicada. Os valores de microdureza para a carga normal 0 N correspondem aos valores nas regiões dos corpos de prova que não foram submetidos aos testes, de modo que foi possível comparar quanto a dureza foi modificada após o desgaste.

O gráfico da fig. 11 (a) mostra que os valores de microdureza dos pinos são próximos aos dos discos e que aumentaram com o aumento da carga normal aplicada. Este aumento na dureza pode estar relacionado a uma deformação plástica a frio.

Para fazer uma comparação da magnitude do endurecimento nas superfícies desgastadas, foi estipulado o incremento da microdureza em termos percentuais. Os resultados mostraram que o disco apresentou uma microdureza maior que a do pino nas duas cargas normais aplicadas, embora o pino tenha mais enrijecimento (média de 101%) que o disco (média de 45%) em todas as cargas aplicadas. Além disso, observa-se que os pinos possuem maior variação de dureza do que os discos para as cargas normais aplicadas.

A figura 11 (b) mostra o gráfico da plotagem de endurecimento de pinos e discos para cada carga normal aplicada no disco rígido de 380 HV, os resultados foram calculados por meio medida a dureza antes e pós ensaio, a variação da dureza é o encruamento. Acredita-se que o pino apresenta uma variação de dureza maior quando comparado ao disco por ter sido flexionado excessivamente durante seus ciclos do ensaio, sendo exposto além de seus parâmetros de projeto.

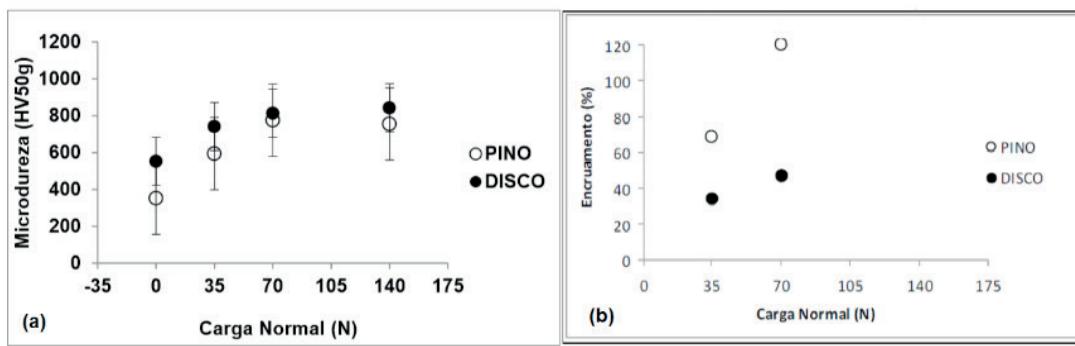


Figura 11. Gráfico de microdureza das superfícies do disco do pino 340 HV x 380 HV em função da carga normal (a) e Variação do encruamento nas superfícies do par pino 340 HV x disco 380 HV em função da carga normal (b).

Fonte: GRUPO GPEMAT.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia o comportamento comum entre os parâmetros, com o aumento da carga normal aplicada há o crescimento dos valores de coeficiente de atrito, perda de massa, microdureza e maior desgaste mostrado pelo MEV. Há uma considerável diferença entre elas na diminuição da rodagem, isto é, devido ao fato de uma forte aderência das superfícies, em que se provoca uma deformação plástica dos pinos.

O valor do coeficiente de atrito no regime permanente apresenta as mesmas características de acordo com o aumento da força normal, visto que a média dos coeficientes de atrito é de 0,61 e 0,81 para as cargas de 35 N e 70 N, respectivamente. O aumento ocorre em consequência à diminuição do tempo de amaciamento.

Note que com o aumento da carga, a perda de massa dos pinos aumenta em relação aos discos do mesmo teste, nas cargas de 35, 70 N os discos tiveram média de 1,02 e 4,41 mg/m, respectivamente, enquanto os pinos tiveram medias de 1,04, 5,48 mg/m, respectivamente, pode-se observar que os pinos sofreram uma taxa de desgaste (perda de massa), mas acentuada do que os discos, devido ao fato de o pino apresentar menor dureza que o disco.

A micrografia apresenta, com o aumento da carga aplicada, marcas notáveis de deformação plástica e de adesão, característica de um mecanismo de desgaste severo, assim foram cada vez mais evidentes o surgimento de sulcamentos e trincas causadas pelo forte contato metálico contínuo.

Os resultados de microdureza mostram pouca variação quando a carga aplicada aumenta. Para os discos houve ligeiro aumento de endurecimento, já que os pinos no teste com a força de 70 N obtiveram muito maior endurecimento, o alto encruamento nos pinos, visto que o aumento percentual médio foi de 101 %, bem elevado em comparação ao disco que teve um aumento médio de 45%, está

possivelmente relacionado a uma maior interação com as asperezas.

## AUTORIZAÇÃO/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores Eric Elian Lima Espíndola, Matheus José Aráujo de Souza, Beatriz Seabra Melo, Vinicius Silva dos Reis, Clóvis Iarlande Oliveira Santana, Carlos Vinicius de Paes Santos, Emerson Rodrigues Prazeres, José Maria do Vale Quaresma tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

## REFERÊNCIAS

ASM HANDBOOK. **Friction, Lubrication, and Wear Technology**, vol. 18. ASMInternational Handbook Committee, EUA, 1992.

HOLMBERG, K; FOLKESSON, A. **Operational reliability and systematic maintenance**. London: Elsevier Applied Science, 1991.

LEITE, M.V. **Conformação mecânica: efeito da topografia na transferência de material e no atrito**. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2010.

NADCA. **Recommended Procedures for H13 Tool Steel**, EUA, 1997.

ROCHA, M. A. C. **Análise das propriedades Mecânicas do aço SAE 4140 com estrutura bifásica**. 2004. 10f. Artigo (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

VIÁFARA, C.C., SINÁTORA, A. **The effect of hardness of sliding bodies on the wear regime transition of steels**. First International Brazilian Conference on Tribology TriboBr, 2010, Rio de Janeiro, Brazil.

## APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO TIPO COSTANEIRAS DE *CORYMBIA CITRIODORA* PARA APLICAÇÃO EM MÓVEIS E COMPONENTES DECORATIVOS

Data de aceite: 25/11/2019

### Matheus Fernandes Lima

UFBA, Faculdade de Arquitetura  
Salvador – Bahia

### Mirna Mota Martins

UFBA, Faculdade de Arquitetura  
Salvador – Bahia

### Julia Cruz da Silva

UFBA, Laboratório de Madeiras  
Salvador – Bahia

### Sandro Fábio Cesar

UFBA, Departamento de Construção e Estruturas  
Salvador – Bahia

### Rita Dione Araújo Cunha

UFBA, Núcleo de Tecnologia, Projeto e  
Planejamento  
Salvador – Bahia

**RESUMO:** Dentro do processo produtivo de madeira sólida de *Corymbia citriodora*, as etapas de serragem produzem um subproduto denominado de costaneira e caracterizado como resíduo. O destino da costaneira de modo geral é o descarte, quando não relegada como lenha para queima em olarias, padarias e outros como Trituração para fabricação de briquetes. De todo modo, as peças de costaneira possuem um baixo valor agregado em relação aos demais produtos oriundos da serragem de *Corymbia*

*citriodora*. O volume de resíduo de costaneiras é muito grande em relação ao volume do tronco, o que torna um desafio a transformação da costaneira num produto de maior valor agregado para combater o desperdício de madeira. Este trabalho objetivou estudar o aproveitamento de peças de costaneira para a composição de painéis, visando o seu emprego em componentes decorativos e mobiliário. A partir do levantamento dos defeitos de formação natural da madeira e decorrentes da secagem, foram estudados cortes de costaneira com o intuito de aumentar o aproveitamento do tronco e, com isso, reduzir o volume de resíduo gerado. Em seguida, realizaram-se composições com os segmentos cortados, tendo em vista a criação de painéis para serem aplicados como forros, pisos, revestimentos de paredes e como chapas para produção de mobiliário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aproveitamento de costaneira. *Corymbia citriodora*. Resíduo de madeira. Painéis de madeira.

### REPURPOSING OF *CORYMBIA CITRIODORA* SLABWASTE FOR APPLICATION ON FURNITURE AND DECORATIVE COMPONENTS

**ABSTRACT:** Within the productive process of solid wood of *Corymbia citriodora*, the sawing phases produce a by-product called slab and

characterized as residue. The destination of the slab in general is the disposal, when not relegated as firewood for burning in potteries, bakeries and others as crushing for the manufacture of briquettes. In any case, the slabs have a low added value in relation to other products from the sawing process of *Corymbia citriodora*. The slab waste's volume is very large in comparison to the trunk's total volume, which makes it a challenge to transform the slab into a product of greater added value to combat the waste of wood. This work aimed to study the use of pieces of slab for the composition of panels, aiming at their use in civil construction and furniture. From the data collection on wood defects, both natural and derivative of the wood drying process, cuts of the slab pieces were studied in order to increase the use of the trunk and, therefore, reduce the amount of waste. Then, compositions were made with the cut segments, in order to create panels to be applied as linings, floors, walls and as sheets for furniture production.

**KEYWORDS:** Slab use. *Corymbia citriodora*. Wood residue. Wood panels.

## 1 | INTRODUÇÃO

A geração de resíduos na indústria madeireira é um tema que precisa ser discutido na busca por uma maior redução no desperdício e no impacto ambiental causado. O resíduo é considerado como algo que não tem valor diante dos demais produtos obtidos com valor comercial, sendo assim descartado. Na indústria madeireira, todo material gerado do processamento da madeira e que não é utilizado na produção do produto final é considerado resíduo.

Os estudos sobre rendimento no processamento de madeira no Brasil apontam para uma geração de resíduos que comumente varia de 20% a 40% (FINOTTI et al., 2006), podendo ultrapassar os 50%, no caso do eucalipto (BARATA et al., 2016). Assim, mesmo no melhor cenário indicado pelos estudos, de 80% de aproveitamento da tora, existe a perda de uma tora inteira, na forma de resíduos, para cada cinco que passam pelo processamento na indústria. Segundo Cerqueira et al. (2012), em estudo realizado na cidade de Eunápolis, no interior da Bahia, a maior parte do resíduo gerado na indústria local (55%), cuja matéria prima utilizada é o eucalipto, é vendida para fins energéticos, enquanto 24% é destinada à doação ou descarte e apenas 2% é utilizada na confecção de novos produtos. De modo geral, o principal destino dos resíduos de madeira no Brasil é mesmo a geração de energia, como também afirmam Hilling et al. (2006), sendo a produção de novos artigos com este material ainda muito incipiente.

Esse cenário reforça a necessidade de se fomentar o uso dos resíduos, através da criação de novas possibilidades de usos para este tipo de material, inclusive dentro das próprias serrarias, que possam despertar o interesse do mercado. A utilização de resíduos de madeira a partir de sua reinserção no processo produtivo

encontra respaldo nos campos ambiental, econômico e social, como elucida César et al. (2010).

Neste trabalho buscou-se agregar valor às peças de costaneira da *Corymbia citriodora* através da elaboração de produtos que pudessem utilizar o seu potencial estético, principalmente na forma de painéis para componentes decorativos e móveis.

## 2 | RESÍDUOS E DEFEITOS DE MADEIRA

### 2.1 Resíduos e Aproveitamento

Os diferentes tipos de resíduos podem ser classificados, segundo Fagundes (2003) como: **cascas**, o revestimento externo das toras; **destopos (ou cavacos)**, sobras referentes à uniformização dos comprimentos das peças; **costaneiras**, peças externas da tora resultantes do processamento primário da madeira; **serragem**, resíduo gerado pelo atrito da serra com a madeira, na forma de pó; **maravalha**, resíduo deplainamento de faces da madeira. Em termos de volume, os resíduos mais significativos são a serragem e a lenha (composta por costaneiras e cavacos), respectivamente na ordem de 36% e 25% do volume total de resíduos (CERQUEIRA et al., 2012).

Diversos trabalhos sobre aproveitamento de resíduos para elaboração de produtos já foram realizados, produzindo mobiliário, painéis de madeira aglomerada, painéis para divisórias e painéis decorativos (CHAHUD et al., 2012; CÉSAR et al., 2012; ARAÚJO et al., 2015). Nesses estudos, o aproveitamento se dava com sobras de peças, resíduos de podas de árvores e resíduos de produção de serrarias e de produção de cruzetas, demonstrando a necessidade de minorar o descarte e a importância de reciclar o resíduo e transformá-lo em matéria prima para novos produtos. Em muitas destas experiências, uma forma de elevar o valor agregado ao resíduo era aproveitar peças com defeitos e valorizar os defeitos naturais ou de secagem da madeira como um aspecto estético aceitável a depender do produto final, como também se dá neste trabalho em particular.

### 2.2 Defeitos

Os defeitos são características naturais ou decorrentes da manipulação da madeira que podem alterar negativamente suas propriedades físicas e mecânicas, sendo considerados um problema na produção de muitos produtos, principalmente com função estrutural. De acordo com Calil Junior et al (S/D) a classificação de defeitos pode ser realizada de maneira visual, podendo ser de origem anatômica, por ataque biológico, decorrentes de processos de secagem ou resultantes do processamento da madeira.

Entre os defeitos naturais, estão os nós (relativos aos núcleos aparentes dos locais onde se desenvolviam ramos ou galhos da árvore) e as bolsas de resina (formações anelares anormais na madeira que provocam descontinuidade no lenho), (REMADE, 2001). São muito comuns em espécies de reflorestamento como a *Corymbia citriodora*. Os defeitos por ataque biológico são originados pela ação de fungos, resultando em manchas e podridão ou de insetos xilófagos, resultando em perfurações e galerias internas nas madeiras. No entanto, neste trabalho peças atacadas por agentes biológicos foram descartadas.

Já os defeitos como empenamentos e rachaduras surgem como consequência de secagem inadequada. As peças com rachaduras e pequenos empenamentos foram aceitas no processo de seleção das costaneiras usadas na confecção dos painéis. Os defeitos resultantes do processamento da madeira decorrem da manipulação ou desdobro da madeira. No caso específico das costaneiras estudadas, foram observadas apenas pequenas marcas resultantes de danos no processo da serragem primária das toras que lhe deram origem.

Visando à redução do desperdício, é importante dar maior atenção aos defeitos, explorando suas possibilidades de uso para produtos específicos, onde seus efeitos adversos não sejam prejudiciais. Com o devido tratamento, os defeitos podem ser utilizados inclusive para valorizar produtos, como demonstrou Araújo et al. (2015) ao abordar a perspectiva estética proporcionada pela presença de nós e rachaduras no desenvolvimento de painéis, obtendo resultados satisfatórios. Neste trabalho também foram considerados os defeitos naturais como nós e bolsas de resina e as rachaduras provenientes do processo de secagem da espécie *Corymbia citriodora*, uma vez que a proposta do produto final desenvolvido não tem propósitos estruturais, mas somente decorativos ou compositivos para móveis.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em função da elaboração de possibilidades de uso para os resíduos do tipo costaneira de *Corymbia citriodora*. Neste sentido, conhecendo-se previamente as características gerais que este tipo de material apresenta, relacionadas à predominância de alburno e decorrentes do processamento, que são o grande número de defeitos (rachaduras e nós) e a variabilidade de textura e de cor, entre outras, decidiu-se pela elaboração de produtos do tipo painel. Os painéis foram pensados como composições de peças aparelhadas, feitas com as costaneiras, coladas em uma chapa estruturante de madeira compensada, com o intuito de minimizar os efeitos negativos provocados pelos defeitos, relacionados principalmente à deformação e consequente danificação de produtos. Utilizou-se o

defeito aqui de forma positiva como partido estético. Assim, a proposta de uso para as costaneiras neste trabalho foi relativa a painéis para componentes decorativos e móveis.

### 3.1 Costaneiras

As costaneiras usadas neste trabalho originaram-se de peças roliças de *Corymbia citriodora* empregadas em outras experiências desenvolvidas no Laboratório de Madeiras da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Tratavam-se, portanto, de resíduos gerados das citadas peças que, por sua vez, provinham de árvores jovens, com cerca de 7 anos de idade. Todo material das costaneiras apresentava defeitos, os principais sendo rachaduras, nós e bolsas de resina, oriundos tanto de formação natural quanto de secagem. Para a elaboração dos estudos, foram escolhidas 15 costaneiras, compondo um lote, com características visuais diversas, respeitando, contudo, um critério mínimo de seleção que excluía unidades atacadas por agentes biológicos ou com grau avançado de degradação física. Desse modo, foram escolhidas costaneiras que apresentaram defeitos visíveis, pois, entendendo-se que esta é uma característica própria de resíduos e que estava fortemente presente nas costaneiras, sua exclusão reduziria o aproveitamento da madeira e iria de encontro à proposição inicial do trabalho.

Observa-se que a costaneira é um resíduo caracterizado por um lado côncavo e outro plano, e a sua seção em forma de meia lua não é regular, apresentando algumas peças mais volume de madeira e outras menos, a depender de como foi cortada a peça que lhes deu origem. Também sendo proveniente de peças roliças, e observando o aspecto da conicidade do tronco, a costaneira apresenta sempre uma extremidade mais grossa do que a outra, que neste trabalho foi denominada de base (a extremidade mais larga) e de topo (a extremidade menos larga). A foto A da Figura 1 mostra uma das costaneiras selecionadas no estudo e exemplifica a presença de defeitos na madeira.



A - Superfície plana da costaneira



B - Seção de base da costaneira 12

Figura 1 – Superfície e seção de uma das costaneiras selecionadas

Fonte: Dos autores

Junto à seleção da matéria-prima, foi realizada a identificação de cada costaneira a partir de numeração, de 1 a 15, marcadas nas seções de topo, identificadas com a letra A, e nas seções de base, identificadas com a letra B, como ilustra a foto B da Figura 1.

Em simultâneo, foram medidas a altura e a largura de cada seção, o que evidenciou uma variação dimensional entre as peças do lote. A diferença entre a maior e a menor largura foi de 1,5 cm, para o topo, e de 2,3 cm, para a base, já entre as alturas foi de 1,3 cm, para o topo, e de 1,9 cm para a base. Para as peças individualmente, uma diferença de quase 0,5 cm é verificada entre base e topo na largura, enquanto, para a altura, a diferença é de mais de 0,6 cm, em média. Em virtude da heterogeneidade verificada, e visando a trabalhabilidade no processamento das peças para os painéis, fez-se necessário um estudo mais acurado de dimensões que viabilizasse a produção de peças no referido lote.

### 3.2 Estudo do conceito dos painéis

Para o estudo de elaboração das peças, foram tiradas fotografias da base e do topo de todas as costaneiras que, em consonância com as medições realizadas anteriormente, serviram de referencial para a construção de representações gráficas das seções das peças. Utilizou-se o software AutoCAD 2017 para a realização dos desenhos, obtidos a partir da sobreposição do traço vetorial do programa sobre a fotografia digital das peças, com escala referenciada nas medições prévias. Assim, foi possível catalogar, com boa aproximação (no máximo, 1 mm de diferença entre medição e desenho), as seções de topo e base de todas as costaneiras do lote num ambiente virtual, que proporciona um estudo mais irrestrito, a partir da manipulação livre dos elementos. A Figura 2 exemplifica o resultado do processo, em comparação à fotografia original, para a peça 11, seção de base.

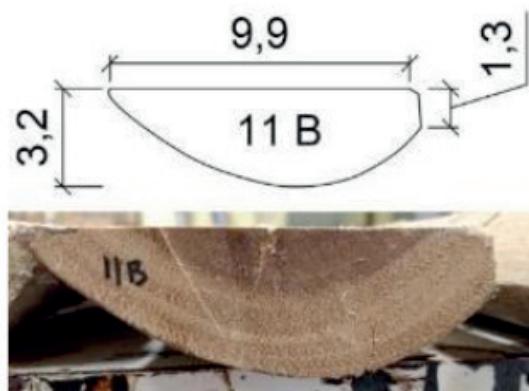


Figura 2 – Comparativo entre a catalogação digital e a fotografia para a seção 11B

Fonte: Dos autores

Com o levantamento gráfico das seções de todas as costaneiras, elaborou-

se o estudo para definir as peças a serem produzidas. Os testes foram realizados de forma manual, a partir da verificação de compatibilidade entre seções com larguras diversas em função da espessura de 1 cm, estipulada como adequada para a produção dos produtos almejados, e as seções das costaneiras, como ilustra a Figura 3, onde, em verde, está a seção a ser extraída.

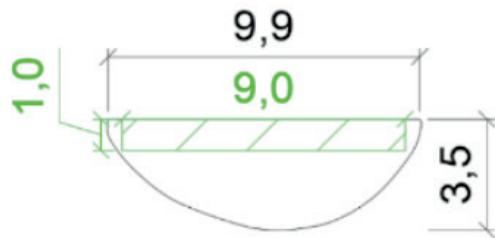


Figura 3 – Verificação da compatibilidade de seções

Fonte: Dos autores

O estudo indicou a largura de 7,5 cm como possível de ser extraída de todas as unidades do lote, para a espessura de 1 cm, e foi adotada como ponto de partida para a idealização das peças. A necessidade de se trabalhar com uma mesma seção padrão parte da praticidade no corte, pensando num possível processo produtivo/industrializado. Assim, partindo da seção máxima de 7,5 cm x 1 cm, o estudo seguiu para uma análise estética sobre modulações e composições possíveis. Nesta etapa, foi utilizado o software Sketchup para a elaboração das composições em 3D, possibilitando a visualização dos produtos e uma melhor avaliação das peças. Alguns protótipos foram desenvolvidos, de forma livre, antes da definição das dimensões, com base em produtos bem conhecidos de mercado (pisos de parquet, tacos e painéis de parede, de modo geral), como o exemplo ilustrado na Figura 4 (para parquet e taco). As cores e texturas foram obtidas a partir das fotografias das peças, como forma de melhor avaliar as possibilidades virtualmente.



Parquet

Taco

Figura 4 – Duas das composições propostas em software

Fonte: Dos autores

Uma das principais características visuais verificáveis nos modelos conceituais deveu-se ao uso dos defeitos da madeira nas composições. Os protótipos permitiram uma definição das dimensões a serem adotadas, em função da avaliação visual, que considerou a proporção, a cor e a textura, elementos fundamentais na aceitação de um produto pelo consumidor. Então, foram estipuladas três seções básicas para modulação: 7,5 cm x 1 cm; 5 cm x 1 cm; e 4 cm x 1 cm. Os módulos constituíram-se de comprimentos obtidos a partir de variações da largura em proporções de uma, duas ou três vezes, a exemplo: 7,5 cm x 7,5 x 1 cm; 5 cm x 10 x 1 cm; 4 cm x 12 x 1 cm. Assim, para um mesmo módulo, houve a possibilidade de mais de uma composição, como ilustra a Figura 5. Foram adicionadas aos modelos digitais as chapas de estruturação, como previstas inicialmente.



Figura 5 – Três exemplos de composições com peças de 7,5 cm x 15 cm

Fonte: Dos autores

A partir deste estudo, elaborou-se a Tabela 1, apresentando as peças discriminadas por seção, bem como os valores de comprimento total necessário para sua produção.

Seção	Largura (cm)	7,5			5			4		Total
	Comprimento (cm)	7,5	15	22,5	5	10	15	8	12	
	Quantidade (un.)	32	60	36	32	48	36	18	27	289
	Comprimento Total (cm)	240	900	810	160	480	540	144	324	3598

Tabela 1 – Quantitativo de peças a serem produzidas

Fonte: Dos autores

### 3.3 Adesivo e chapa

Finalizada a determinação das peças, iniciaram-se os estudos para escolha dos demais elementos envolvidos na produção dos painéis, entre eles a chapa de estruturação e a cola. A chapa de estruturação foi adotada em compensado naval, por apresentar resistência à umidade (característica fundamental para aumentar a aplicabilidade dos produtos), cujas dimensões de mercado são 2,20 m x 1,60 m,

e espessuras disponíveis de 10 mm, 15 mm, 18 mm e 20 mm, dentre outras. Foi escolhida a chapa de 10 mm em razão de sua proximidade dimensional com as peças (ambas possuem 1 cm de espessura). Para os painéis previstos na pesquisa, que somaram 21 unidades, era necessária uma área de compensado naval para a sua estruturação de 2,87 m<sup>2</sup>. Assim, foi adquirida uma única chapa de compensado naval, encontrada no mercado com 3,52 m<sup>2</sup>.

Em seguida, partiu-se para a escolha da cola. Assim como no caso da chapa, a resistência à umidade foi um dos principais fatores a serem considerados, ao lado de rendimento, resistência do adesivo e expansividade. Com base num levantamento de mercado, a cola PU Tec da Mastertec foi escolhida por ser descrita como a prova d'água, não-expansiva e apresentar bom rendimento. Um balde de cola PU Tec foi suficiente para o estudo, uma vez que seu rendimento previsto era de 4,17 m<sup>2</sup>.

### **3.4 Produção dos painéis**

A produção dos painéis ocorreu conforme as etapas:

**1<sup>a</sup> Etapa – Segmentação da costaneira em três peças para pesagem e trabalhabilidade** – As costaneiras utilizadas apresentavam por volta de 2,50 m de comprimento. Com o intuito de possibilitar uma melhor trabalhabilidade das peças no local de produção e reduzir a influência do empenamento longitudinal, todas as costaneiras foram seccionadas em três partes aproximadamente iguais, com mais ou menos 83 cm cada.

**2<sup>a</sup> Etapa – Desempeno dos segmentos** - Foi realizado o desempeno no lado plano dos três segmentos obtidos com o objetivo de nivelá-los, resultando em uma face longitudinal uniforme que pôde ser utilizada como referência para os cortes subsequentes.

**3<sup>a</sup> Etapa – Corte dos segmentos para obtenção da largura de 8,5 cm** – Os segmentos foram cortados em função da largura máxima estipulada nos estudos prévios, de 7,5 cm. Visando o aparelhamento futuro, foi estabelecida uma folga de 1 cm nesta dimensão, o que acarretou uma largura de 8,5 cm para o corte. Visto que a menor largura dentre as costaneiras selecionadas era exatamente de 8,5 cm, todos os segmentos puderam ser produzidos dentro do estabelecido. Esta etapa gerou subprodutos classificados neste estudo como ripas (taliscas), passíveis de futuro aproveitamento, e serragem.

**4<sup>a</sup> Etapa – Corte dos segmentos para obtenção da espessura de 1,5 cm** – Os segmentos da etapa anterior foram serrados a 1,5 cm da face plana para posterior aparelhagem acurada à espessura de 1 cm, determinada nos estudos precedentes para as peças. Nesta etapa obteve-se além de serragem um subproduto também do tipo costaneira, nomeado neste trabalho como costaneira 2, que poderá ser utilizado

posteriormente em outros estudos de aproveitamento.

**5<sup>a</sup> Etapa – Desbaste das peças para obtenção de 1 cm de espessura** – Esta etapa consistiu em aparelhar os segmentos para a sua espessura final, determinada em 1 cm nos estudos anteriores. O principal resíduo desta etapa foi a maravalha.

**6<sup>a</sup> Etapa – Corte dos segmentos para obtenção do comprimento da peça**

– A última etapa ocorreu após a análise dos segmentos, quando se verificou a viabilidade de uso de cada um para a produção das peças estipuladas, conforme a Figura 6. Por exemplo, a presença de uma rachadura longitudinal com 10 cm de extensão poderia acarretar o seccionamento de uma peça de 7,5 x 7,5 cm no ato do corte, originando duas peças com mesmo comprimento e espessura, mas larguras indesejadas. No entanto, esse mesmo segmento com uma rachadura de 10 cm de extensão pode ser viável para o corte de peças menores como, por exemplo, aquelas para composição de parquets.



Etapa 4



Etapa 5



Etapa 6

Figura 6 – Fotografias de peças obtidas nas diferentes etapas de produção

Fonte: Dos autores

**7<sup>a</sup> Etapa – Produção dos painéis** – Terminado o corte das peças, deu-se prosseguimento à produção dos painéis. O compensado naval foi cortado em chapas menores, de acordo com o planejamento prévio, e as peças coladas.

## 4 | RESULTADOS

Neste trabalho, foram produzidos 21 painéis distintos, dos quais apresentam-se seis exemplos de composição na Figura 7. A grande variação de cores aliadas a defeitos e texturas dos painéis produzidos está associada ao número de costaneiras utilizadas como matéria prima que proporcionou uma maior combinação de diferentes características nas composições. Também o objetivo de aumentar a variação dimensional das peças compostivas dos painéis contribuiu fundamentalmente para agregar-lhes valor estético.

Em termos de execução os painéis compostos de peças de 5 cm x 5 cm apresentaram dificuldades de trabalhabilidade tanto pelos cortes, como na montagem e colagem dos componentes. Porém esses painéis conseguiram aglomerar uma maior

quantidade de características estéticas, englobando cores e texturas diferentes, além dos defeitos propositalmente incorporados.

O painel “f” da figura 7, por exemplo, demonstra que, mesmo a disposição linear das peças, embora mais comum e assemelhada a produtos já existentes no mercado, pode se destacar esteticamente pela movimentação promovida pela dinâmica das cores emprestadas pelas peças de 5 cm x15 cm individualmente. Isto foi observado em outros modelos de painéis executados, reforçando que o uso dos resíduos possibilita atribuir uma autenticidade a produtos tradicionais, sem impactar ainda mais o ambiente por empregar materiais que seriam possivelmente descartados.

Os resultados obtidos atenderam às expectativas estéticas decorrentes das simulações em software. O uso dos defeitos presentes nas costaneiras, aliados com a variação de cor e textura que apresentam, possibilitou a produção de peças únicas. Essas peças garantiram um novo aspecto às composições já tradicionais no mercado, gerando painéis de revestimento com grande potencialidade de aplicações, como em pisos, móveis e painéis de parede, devido a seu apelo estético que pode ser considerado rústico ou mesmo exótico.



(a) Composição com peças de 7,5 cm x 15 cm



(b) Composição com peças de 7,5 cm x 7,5 cm



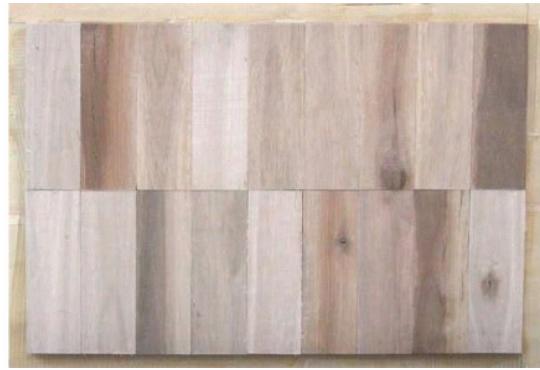
(c) Composição com peças de 7,5 cm x 22,5 cm



(d) Composição com peças de 5 cm x 10 cm



(e) Composição com peças de 5 cm x 10 cm



(f) Composição com peças de 5 cm x 15 cm

Figura 7 – Exemplos de alguns dos painéis produzidos

Fonte: Dos autores

## 5 | CONCLUSÃO

Os materiais considerados resíduos de madeira podem apresentar grande potencial de uso com planejamento, criatividade e esforço adequados. É importante explorar cada vez mais esse potencial com o intuito de combater o desperdício de madeira e a degradação ambiental que dela pode decorrer, além de fomentar econômica e socialmente a produção madeireira, tanto na grande indústria quanto na manufatura.

Neste trabalho, foram produzidos 21 painéis distintos utilizando como principal matéria-prima a costaneira, um resíduo de madeira, da *Corymbia citriodora*. A metodologia empregada visou elaborar peças que pudessem ser extraídas de todo o lote selecionado e valorizar as características particulares do material, colocando-as em lugar de destaque como atrativo visual para os produtos, buscando afastá-las do aspecto negativo de resíduo. O emprego da costaneira como painéis foi uma das soluções adotadas para elevar o aproveitamento do material, a partir da mitigação dos impactos que os defeitos aproveitados podem ocasionar, já que os produtos não possuem caráter estrutural. Os painéis elaborados apresentaram semelhança compositiva com muitos existentes no mercado, como parquets ou tacos, por exemplo, decisão que encontra respaldo no aumento da probabilidade de aceitação dos produtos, devido à familiaridade, e na aproximação com o processo produtivo usual das serrarias, promovendo uma reinserção do resíduo na cadeia produtiva. Por outro lado, isto também implicou na geração de subprodutos, notavelmente as taliscas e as costaneiras 2, tornando fundamental a realização de mais estudos sobre aproveitamento para complementar a cadeia de uso do material.

Esteticamente, os painéis apresentam características únicas, em decorrência da variação de cor, textura e dos nós e rachaduras, que devem levar à valorização dos produtos e, consequentemente, agregar valor também às costaneiras.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. Y. F. et al. **Desenvolvimento de painéis visando o aproveitamento de resíduos da usinagem da madeira de corymbia citriodora**. In: XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2015, Curitiba.
- BARATA, T. Q. F. et al. **Desenvolvimento de protótipos de mobiliário urbano com subproduto de madeira serrada de eucalipto**, p. 4350-4360. In: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo: Blucher, 2016.
- CALIL JR, C., OKIMOTO, F. S., PFISTER, G. M. **Manual de classificação visual**. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/lamem/Templates/material/manual\\_de\\_%20classificacao\\_%20visual.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/lamem/Templates/material/manual_de_%20classificacao_%20visual.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2017.
- CERQUEIRA, P. H. A. et al. **Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA**. Floresta E Ambiente, 19(4), p. 506–510. Doi: 10.4322/?oram.2012.051. 2012.
- CÉSAR, S. F.; CUNHA, R. D. A.; GUEDES, J. P. L. **Design, arte e sustentabilidade – móveis a partir da reciclagem de madeira**. In: Proceedings of World Congress on Communication and Arts, 2010, Guimarães.
- \_\_\_\_\_. **Uma experiência de aplicação de resíduos de madeira de eucalipto em painéis para divisórias**. In: XIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2012, Vitória.
- CHAHUD, E. et al. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de madeira a partir de resíduos de podas de árvores urbanas**. Revista Cultura e Extensão USP, v. 8, p. 109-122, 2012.
- FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FINOTTI A. R., et al. **Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira/móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono**. In: Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha. Sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira. EdUCS; 2006, p.191-230.
- HILLIG, É.; et al. **Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Anais... Rio de Janeiro: Abepro, 2006. p. 1-7.
- REMADE. **Características Intrínsecas da Madeira**. Revista da Madeira, n. 59, Set. 2001. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=4&subject=Caracter%EDsticas&title=Caracter%EDsticas%20Intr%EDnsecas%20da%20Madeira](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=4&subject=Caracter%EDsticas&title=Caracter%EDsticas%20Intr%EDnsecas%20da%20Madeira)>. Acesso em: 29 nov. 2017.

## AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE PAINÉIS EM MADEIRA PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS: RECOMENDAÇÕES PARA O DETALHAMENTO CONSTRUTIVO

Data de aceite: 25/11/2019

**Mônica Duarte Aprilanti**

Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (IAU-USP), São Carlos-SP.

**Simone Fernandes Tavares**

Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (IAU-USP), São Carlos-SP.

**Akemi Ino**

Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (IAU-USP), São Carlos-SP.

**RESUMO:** A durabilidade das construções em madeira é decorrente do equilíbrio de diversos aspectos físico-químicos próprios do material e da influência de condições externas como a exposição às intempéries – um dos pontos-chave para desconstruir os preconceitos em relação ao seu uso em edificações. Neste sentido, um bom desenho e detalhamento de projeto são imprescindíveis para alcançar a durabilidade adequada dos sistemas, subsistemas e componentes aplicados na construção. O emprego da madeira em fachadas é muito comum no Exterior, mas no Brasil ainda é pouco utilizado em função da sua durabilidade associada à manutenção. Este artigo tem como objetivo estabelecer critérios técnicos para a avaliação e seleção de soluções projetuais para revestimentos de fachadas em madeira,

pautados nos conceitos de durabilidade, através da análise de cinco projetos de painéis. Os projetos foram desenvolvidos como objeto de estudo de disciplina optativa do curso de Arquitetura e Urbanismo do IAU-USP que teve como temática a substituição do revestimento de fachada da Unidade Experimental 002 construída no campus da universidade, a qual após 20 anos de exposição a intempéries encontrava-se bem deteriorada. A disciplina contou com a produção de protótipos dos painéis modulares e cadernos de projetos com especificações construtivas. A metodologia de avaliação baseou-se em critérios de durabilidade do sistema elaborados a partir da revisão bibliográfica. O resultado desta avaliação desdobra-se em recomendações para o detalhamento construtivo de painéis em madeira para revestimento de fachadas no intuito de nortear o desenvolvimento do projeto executivo e a produção dos painéis para substituição do revestimento atual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Durabilidade. Fachadas em Madeira. Revestimento em Madeira. Detalhe Construtivo.

EVALUATION OF WOODEN PANEL PROJECTS FOR FAÇADE COATING: RECOMMENDATIONS FOR CONSTRUCTIVE DETAILING

**ABSTRACT:** The timber constructions durability is due to the balance of several physical and chemical material aspects and the influence of external conditions such as weather exposure, being one of the key points to deconstruct the prejudices regarding the use of wood in buildings. In this sense, a good design and project detailing are essential to achieve the adequate durability of systems, subsystems and components applied in construction. The employ of wood in façades is widely used abroad, but in Brazil it is still uncommon, due to its durability associated with maintenance. This article aims to establish technical criteria for the evaluation and selection of design solutions for wood cladding, based on durability concepts, through the analysis of five panel designs. The projects were developed as object of study of an elective discipline of the Architecture and Urbanism course at IAU-USP that had as theme the replacement of the facade of Experimental Unit 002 built in the university campus, which after 20 years of weathering exposure is well deteriorated. The discipline included the production of prototypes of modular panels and project notebooks with constructive specifications. The evaluation methodology was based on system durability criteria elaborated from the literature review. The result of this evaluation unfolds into recommendations for the constructive detailing of wooden panels for cladding in order to guide the development of the executive project and the production of panels to replace the current cladding.

**KEYWORDS:** Durability. Wooden Façades. Wood Cladding. Constructive Detail.

## 1 | INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata da avaliação dos projetos de painéis para revestimento de fachadas em madeira desenvolvidos durante a disciplina optativa denominada IAU0693: “Parâmetros para Projeto de Habitação em Madeira”, do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP). A disciplina, oferecida no primeiro semestre de 2017, teve como objetivo desenvolver um projeto para substituição da vedação externa da Unidade Experimental 002, sede do Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade – HABIS, localizado no Campus 1 da USP em São Carlos-SP.

A Unidade de Habitação Experimental 002 é resultado do projeto de pesquisa “Habitação Social: Concepção Arquitetônica e Produção de Componentes em Madeira de Reflorestamento e em Terra Crua”, desenvolvido entre 1996 e 1999, com apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa de São Paulo (FAPESP). Teve como estratégia a produção de conhecimento sobre a viabilidade do uso da madeira de reflorestamento e de terra crua para habitação de baixo custo, simultaneamente à implantação de um canteiro experimental, e também, o redesenho dos espaços de habitação no país (GALINARI, 2003). Não menos importante foi a incorporação do conceito de sustentabilidade em suas diferentes dimensões ao projeto e à concepção dos sistemas construtivos da edificação, discussão que passou a ser norteadora das

ações do grupo de pesquisa.

A Unidade 002 foi construída em 1998. Sua fachada não passou por nenhum tipo de reforma ou manutenção desde então, estando bastante deteriorada no momento da disciplina. Através da abordagem pedagógica da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), a disciplina optativa possibilitou aos estudantes trabalharem com questões e problemas reais tendo a fachada enquanto objeto de estudo. Isso permitiu a verificação do material, do sistema construtivo, de detalhes do projeto, das condições de implantação e de patologias presentes no edifício, colaborando para a proposição de soluções. O não cumprimento das recomendações básicas para projeto em madeira foi identificado como principal fator responsável pela deterioração apresentada.

A durabilidade das construções em madeira é decorrente da influência de diversos aspectos físico-químicos próprios do material e de aspectos externos, como a exposição às intempéries. O correto entendimento desses requisitos, aliado a um bom desenho e detalhamento de projeto, é fundamental para garantir uma maior durabilidade dos sistemas, subsistemas e componentes empregados na construção, bem como para uma correta interface entre os mesmos. Este é, no nosso entender, um dos pontos-chave para desconstruir os preconceitos ao uso da madeira em edificações.

O objetivo deste artigo é, desta maneira, estabelecer critérios técnicos para a avaliação e seleção de soluções projetuais para revestimentos de fachadas em madeira, pautados nos conceitos de durabilidade. Estes critérios serão aplicados na análise dos produtos desenvolvidos na disciplina optativa a fim de subsidiar a escolha de um modelo para a substituição do atual revestimento da edificação, bem como determinar recomendações para a revisão projetual e o desenvolvimento do projeto executivo. Os produtos analisados foram os cadernos de projeto e os protótipos em escala real produzidos pelos alunos, e os registros do processo de projeto e produção feitos pelos autores.

O resultado dessa avaliação desdobra-se em recomendações para o detalhamento construtivo de painéis em madeira para revestimento de fachadas entendido como uma importante contribuição para a valorização e a disseminação do uso da madeira em edificações. A correta especificação de materiais e detalhes de projeto é imprescindível para a obtenção de bons resultados estéticos e para a garantia da durabilidade do material, evitando erros que possam reforçar o preconceito ao uso da madeira na construção civil.

## 2 | O USO DA MADEIRA EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS

### 2.1 A madeira enquanto material de construção

A madeira é um material construtivo de origem natural e, diferente de outros recursos, é renovável quando proveniente de áreas de manejo florestal e de reflorestamento. Também é considerada um material carbono-eficiente, chegando a estocar perto de uma tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para cada 1m<sup>3</sup> de madeira utilizada para fins de longa duração (PUNHAGUI, 2014; HILDEBRANDT, HAGEMANN, THRÄN, 2017; KUITTINEN, LUDVIG, WEISS, 2013; LEHMANN, 2013). No processo de fotossíntese a árvore absorve CO<sub>2</sub> do ar, minimizando o efeito estufa. O CO<sub>2</sub> absorvido permanece na madeira durante toda a sua vida útil, voltando à atmosfera apenas se o material for queimado, ou naturalmente degradado. Desta forma, o incentivo ao uso da madeira de adequada proveniência em edificações pode contribuir para a redução dos impactos ambientais relacionados à construção civil.

A madeira também é conhecida como um material de baixa energia incorporada e boa relação peso / resistência (LEHMANN, 2013; KOLB, 2008), quando comparada a materiais construtivos como aço, concreto e bloco cerâmico. Possui alto grau de reutilização e reciclagem em sistemas construtivos se empregada a partir dos princípios de montagem e desmontagem (HOWE, 2015; HILDEBRANDT, HAGEMANN, THRÄN, 2017). Ao final de seu ciclo de vida, após o esgotamento de todas as possibilidades de reuso e reciclagem, a madeira pode ser incinerada para a geração de energia (HOWE, 2015), fechando seu ciclo de vida.

Sua versatilidade permite a construção de estruturas leves e de formas variadas por meio de tecnologias de produção industrial que transformam a matéria prima em diversos elementos construtivos e produtos: desde a madeira roliça unicamente descascada à Madeira Laminada Colada (MLC) com curvatura em mais de um eixo.

Nos últimos anos, a madeira teve sua utilização amplamente estendida graças à disseminação da construção em painéis de madeira maciça e aos produtos à base de madeira serrada, como a Madeira Laminada Cruzada (*Cross Laminated Timber* - CLT) e os painéis sarrafeados, que podem ser usados nos mais diversos sistemas estruturais ortogonais, como pisos, paredes e coberturas. Nas fachadas também surgem soluções de revestimento extremamente variadas utilizando seções que vão desde pranchas perfiladas até sarrafos e réguas sobrepostas ou com juntas abertas (HERZOG et al., 2007).

### 2.2 Princípios gerais de durabilidade da madeira

Por ser um material orgânico, sujeito à degradação biológica, são necessários alguns cuidados no emprego da madeira que vão desde a proteção com preservativos

químicos a especificações projetuais que definam o seu correto emprego. Segundo Ino (1997), a durabilidade de componentes e sistemas construtivos em madeira é decorrente da correta integração entre soluções de projeto, tratamento preservativo do material, e manutenção periódica, a fim de prevenir a ação de agentes biológicos e não biológicos.

Entre as principais recomendações para o projeto em madeira Bittencourt e Hellmeinster (1995), Ino (1997) e Gonzaga (2006) destacam:

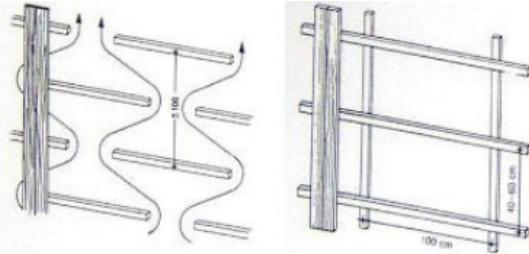
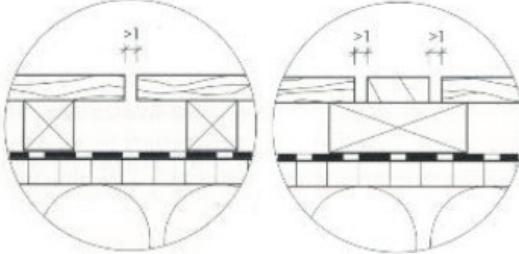
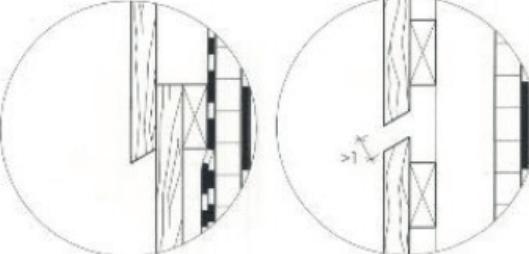
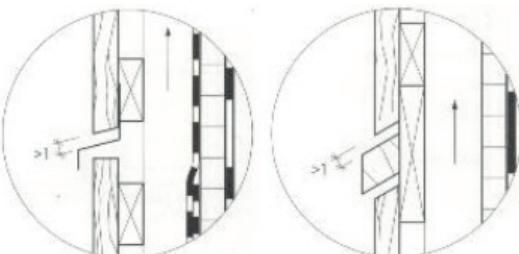
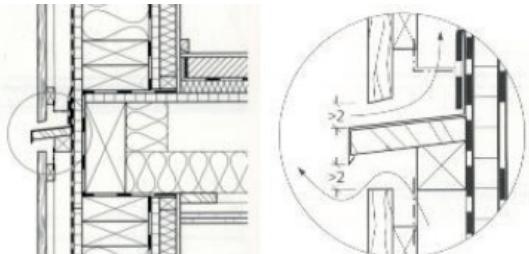
- Manter elementos em madeira sempre secos, através de boa ventilação e drenagem: a madeira pode molhar, mas não deve acumular água, principalmente em juntas, conexões e rachaduras, uma vez que a presença de água e umidade constantes permitem a proliferação da ação biológica (fungos);
- Fazer bom uso de sistemas de beirais, calhas e rufos para proteger paredes da umidade em excesso, assim como da radiação solar que provoca fissuramento no material;
- Afastar elementos construtivos do chão, ao menos 30 cm, evitando ascensão de umidade por capilaridade ou por respingamento de águas de chuva, ações que provocam o apodrecimento de elementos de apoio ou acabamentos próximos;
- Adequar a umidade da madeira à umidade do local de uso a fim de minimizar deformações e fendilhamentos decorrentes de movimentos de retração e inchamento;
- Proteger extremidades e saliências, para evitar ataque biológico e degradação por ação do sol: topes de beirais ou de qualquer peça estrutural devem receber a proteção de uma peça de sacrifício, como é o caso das tabeiras e testeiras nas coberturas. As extremidades das peças, sempre que possível, devem ser chanfradas para garantir o escoamento de água;
- Executar acabamento superficial dos componentes com uso de stains e retardantes de chamas, a fim de aumentar a proteção à ação de intempéries e ao fogo;
- Especificar corretamente a espécie da madeira de acordo com sua classe de resistência e local de uso: cada espécie é mais indicada para um tipo de uso e exposição ao clima.

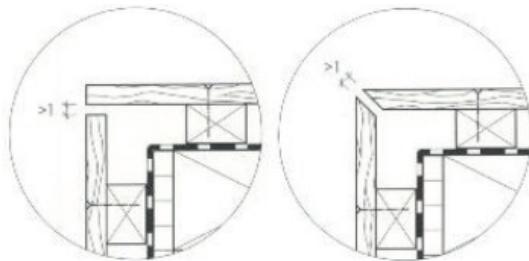
Embora o fator biológico seja a principal causa da deterioração de elementos de madeira utilizados na construção civil, muitas vezes os esforços excessivos a que as peças estão sujeitas, também contribuem para o processo de deterioração. Além disso, a durabilidade natural da madeira é uma das características que pode ser determinada por meio de ensaios laboratoriais e deve ser conhecida para o correto uso do material em fachadas.

## 2.3 Detalhes construtivos em sistemas de fachadas

Pelo já exposto, fica evidente a importância do correto detalhamento dos projetos

de construções em madeira. Entretanto, há escassez de literatura específica sobre o assunto disponível em português. No Quadro 1 são relacionados alguns detalhes construtivos provenientes da literatura internacional que se aplicam a sistemas de fachadas, e que foram utilizados para a elaboração de critérios técnicos para avaliação dos sistemas de revestimentos propostos.

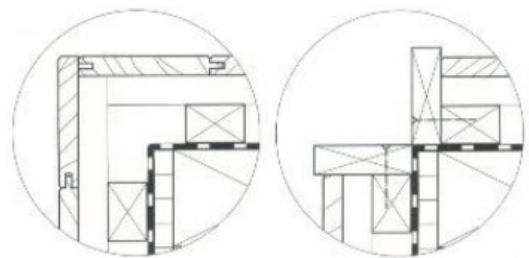
DETALHE	DESCRIÇÃO
 <b>DET 1: Perspectiva.</b>	<b>Espaçamento entre revestimento e parede</b> As fachadas com câmara de ar facilitam a evaporação da água reduzindo a variação dimensional das réguas de revestimento. Os sarrafos utilizados para fixação das réguas devem permitir a ventilação adequada da parede.
 <b>DET 2: Planta.</b>	<b>Espaçamento entre juntas verticais</b> Para fachadas não tratadas, a largura da junta deve ser de pelo menos 1 cm. Para fachadas com tratamento superficial, bem como painéis à base de madeira com proteção superficial, a largura da junta deve corresponder, no mínimo, à espessura da peça, mas não inferior a 1 cm.
 <b>DET 3: Corte.</b>	<b>Espaçamento e geometria de juntas horizontais</b> No caso de sobreposição, a borda inferior da peça sobreposta deve ser cortada em um ângulo de 15°. Para juntas abertas ( $\geq 1$ cm), as arestas devem ser cortadas com um ângulo de 15°.
 <b>DET 4: Corte.</b>	<b>Interface entre juntas horizontais</b> A água pode escorrer apenas com larguras de juntas $\geq 1$ cm. Uma pingadeira metálica deve ser fixada por trás do revestimento, subindo pelo menos 5 cm. No caso de pingadeira em madeira, esta deve ser uma peça resistente ao desgaste, com maior durabilidade natural, que possa ser trocada ao final de sua vida útil.
 <b>DET 5: Corte.</b>	<b>Interface entre revestimento e pavimentos</b> Nas juntas horizontais de interface entre pavimentos ou entre sarrafos de fixação das réguas de revestimento, as aberturas de entrada e saída de ar devem ter no mínimo 2 cm.



**DET 6:** Planta.

#### **Juntas de canto com revestimento horizontal**

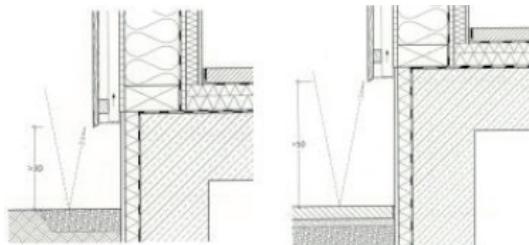
Para fachadas não tratadas a largura da junta deve ser de pelo menos 1 cm. Para fachadas com tratamento superficial, bem como painéis à base de madeira com proteção superficial, a largura da junta deve corresponder, no mínimo, à espessura da peça, mas não inferior a 1 cm.



**DET 7:** Planta.

#### **Juntas de canto com revestimento vertical**

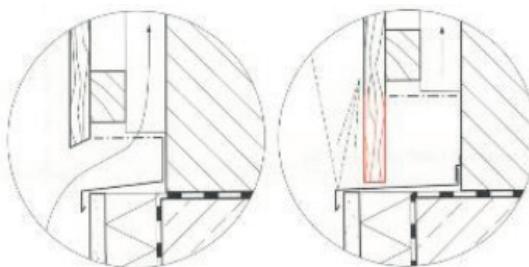
Somente pode-se abdicar das juntas de canto com espaçamento quando utilizado revestimento de tábuas verticais.



**DET 8:** Corte.

#### **Distanciamento do revestimento ao chão**

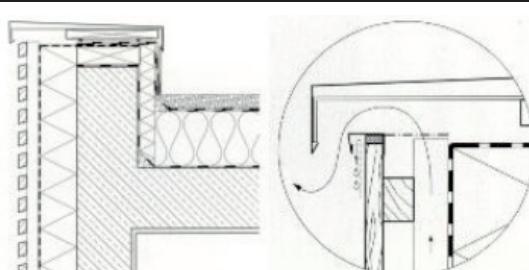
A área sujeita a respingos d'água é de cerca de 30 cm do solo coberto com cascalho, aumentando até a altura de 50 cm em solos lisos e/ou com intemperismo acentuado.



**DET 9:** Corte.

#### **Distanciamento entre fundação e fachada**

Fundações sobressalentes podem provocar respingos ou acúmulo de água nesta região e causar danos ao revestimento. Deve-se garantir a drenagem adequada com o uso de pingadeira e a ventilação suficiente atrás da fachada através do afastamento entre os elementos.



**DET 10:** Corte.

#### **Interface entre revestimento e telhado sem beiral**

Um rufo evita infiltração de água na área de conexão entre fachada e telhado. No caso de revestimento de tábuas ou ripas abertas, deve-se executar uma camada posterior resistente a intempéries.

Quadro 1: Detalhes construtivos para fachadas em madeira

Fonte: Aprilanti, Tavares e Ino (2018) adaptado de Graíño (1995) e Schober (2014).

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 A Unidade Habitacional Experimental 002

A Unidade 002 foi construída utilizando o sistema estrutural em pilar-viga de eucalipto serrado, e vedações em terra palha, taipa de mão e painéis pré-fabricados em madeira. Externamente, as paredes foram revestidas com o sistema tábua e mata-junta vertical em pinus sem tratamento químico, com pintura em stain. A edificação de dois pavimentos é composta de dois blocos servidos, bloco de serviço e área central com pé direito duplo, totalizando 68m<sup>2</sup>. Após a conclusão de sua construção no final de 1998, o revestimento externo não passou por nenhum tipo de manutenção, o que contribuiu para a sua deterioração.

#### 3.2 A disciplina optativa: objetivos e resultados

A disciplina IAU 0693: “Parâmetros para Projeto de Habitação em Madeira”, ministrada pela Profa. Dra. Akemi Ino, teve como objetivo exercitar a prática de projeto em madeira com os alunos da graduação através do desenvolvimento de projeto de painéis de revestimento externo em madeira para a substituição do revestimento externo da Unidade 002, em equipes compostas por três alunos. Seguiu as seguintes etapas: 1) aulas teóricas e expositivas para a definição de base conceitual comum e compartilhamento de dados e materiais disponíveis; 2) levantamento técnico da edificação e seu entorno para o diagnóstico das condições da edificação, e a coleta de dados para o projeto; 3) desenvolvimento de projeto executivo para sistema de vedação e revestimento; 4) produção de protótipo do painel; 5) revisão e finalização de detalhamento construtivo e projeto de produção.

As principais patologias identificadas na etapa de diagnóstico foram: 1) apodrecimento do revestimento nas regiões próximas ao chão ou na região da pingadeira intermediária, denunciando presença de umidade e acúmulo de água; 2) existência de insetos xilófagos nestas mesmas regiões, causada pelo mesmo motivo; 3) desprendimento e encurvamento das peças mata-junta devido à deterioração dos pontos de fixação dos pregos, onde houve retenção de umidade e perda de aderência por ação de inchamento e retração da madeira. A Figura 1 ilustra a etapa de execução do revestimento externo, a situação atual da edificação e algumas das patologias identificadas.



Figura 1: À esquerda: Unidade 002 na etapa de execução do revestimento; Centro: Unidade 002 hoje; Direita: Atual situação do revestimento.

Fonte: Arquivo Habis (1998); Angel Castañeda (2017).

Tendo em vista estes problemas, que foram relacionados ao não cumprimento das recomendações básicas para projeto em madeira, estabeleceram-se os seguintes parâmetros para o desenvolvimento dos projetos: pensar o desenho dos elementos construtivos a fim de evitar acúmulo de água ou permitir a sua rápida drenagem; promover a ventilação permanente das peças através do seu arranjo; proteger as extremidades da madeira (topos) e afastá-los do chão e/ou de locais de umidade; trabalhar com painéis modulares leves de pequena dimensão (1,00 x 0,80 m), pré-fabricados, para facilitar o processo de montagem do sistema de revestimento, sua manutenção ou substituição; utilizar madeira de plantios florestais provenientes de descarte de processos industriais e reaproveitamento do material da própria edificação, considerando sua máxima utilização (TAVARES, INO, 2017).

Os painéis modulares desenvolvidos pelos alunos seguiram o seguinte arranjo: a) quadro estruturante, responsável pela sua estabilidade dimensional; b) réguas de revestimento (lâminas) que garantem a proteção da parede contra insolação e umidade; e c) sistema de fixação. A fixação dos painéis é realizada em sarrafos já existentes na edificação (Figura 2). Cada projeto adotou distintas soluções plásticas e construtivas que são descritas no Quadro 2.

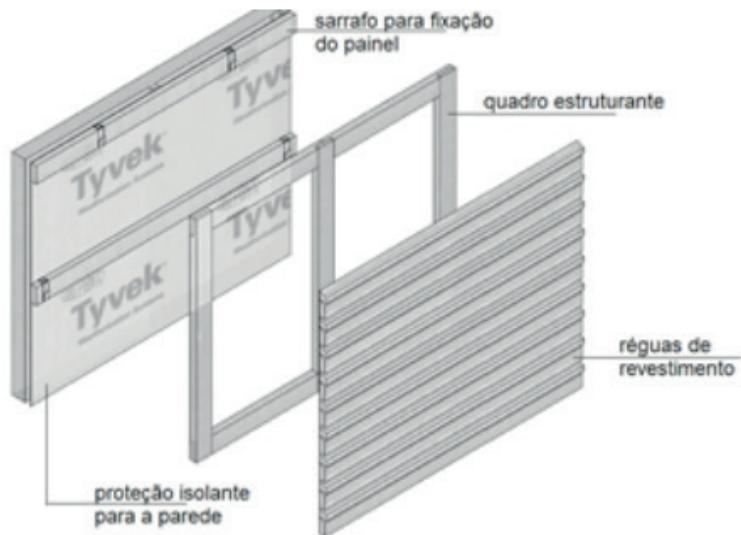


Figura 2: Partes dos painéis

Fonte: Proposta de Ayrton Diniz, Gabriele Trombeta, Masaé Kassahara – Painel C (2017).

Os produtos apresentados foram: a) caderno de projeto contendo plantas da edificação (térreo, primeiro pavimento e cobertura) e planta de locação, cortes, fachadas, modelo do painel, detalhamento das peças e componentes, detalhamento construtivo, lista de materiais, romaneio da madeira, listagem de ferramentas e equipamentos necessários para a execução; e b) protótipo em escala real do painel-tipo.

### 3.3 Metodologia

A metodologia utilizada para a avaliação dos projetos de painéis desenvolvidos na disciplina foi pautada em critérios técnicos de detalhamento construtivo para durabilidade. Tais critérios foram elaborados a partir da revisão bibliográfica, conforme apresentado nos subcapítulos 2.2 e 2.3, e são apresentados a seguir enquanto um dos resultados deste trabalho.

## 4 | RESULTADOS

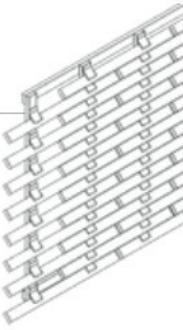
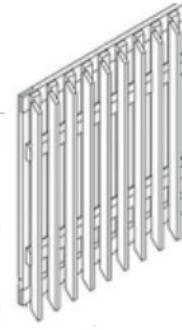
### 4.1. Critérios técnicos de avaliação para a durabilidade dos painéis

Como resultado deste artigo foram elencados oito critérios técnicos considerados mais críticos para análise dos projetos dos painéis, relacionados ao Quadro 1 (Q1), que devem ser observados para promover maior desempenho quanto à sua durabilidade:

- 1. Geometria das réguas:** garantir ângulos que propiciem escoamento rápido das águas; em réguas horizontais com juntas abertas e extremidades de réguas verticais, as arestas devem ser cortadas com um ângulo de 15°, no

mínimo, (Quadro 1 - DET 3);

- 2. Espaçamento entre as réguas no painel:** garantir distância mínima de 1 cm, permitindo ventilação permanente (Quadro 1 - DET 2 e DET 3);
- 3. Espaçamento entre painel e parede:** garantir a ventilação permanente entre as réguas de revestimento com a superfície da parede (Quadro 1 - DET 1);
- 4. Distanciamento do painel de revestimento ao chão:** garantir distância mínima de 30 cm (Quadro 1 - DET 8);
- 5. Sistema de fixação das réguas de revestimento:** evitar a exposição de pregos e parafusos na face aparente do painel, a fim de prevenir o acúmulo de água;
- 6. Interface entre painéis:** garantir afastamento mínimo de 1 cm, permitindo escoamento rápido das águas e a ventilação permanente das extremidades (Quadro 1 - DET 2);
- 7. Junta de canto entre painéis:** garantir distância mínima de 1 cm para réguas horizontais, permitindo escoamento rápido das águas (Quadro 1 - DET 6); para réguas verticais pode-se abdicar do espaçamento (Quadro 1 - DET 7);
- 8. Proteção das extremidades e saliências:** prover rufos e pingadeiras nas interfaces entre pavimentos (Quadro 1, DET 5) e com o telhado (Quadro 1 - DET 10).

CRITÉRIO	PAINEL A	PAINEL B	PAINEL C	PAINEL D	PAINEL E
					
1	Réguas de 1,5x3cm, horizontais, seção paralelogramo	Réguas de 1,5x5,5cm, horizontais, seção retangular, fixadas à 45°	Réguas de 2x5,5cm e 2,5x3cm, horizontais, seção trapezoidal	Réguas de 1,5x3cm, verticais, com topos em ângulo, seção retangular	Réguas de 1,5x3cm, verticais, com topos em ângulo, seções diversas
2	10mm	35mm	6mm	7mm	13,6mm
3	Distante 2,5cm da parede, sem permitir circulação de ar	Distante 5cm da parede, permitindo circulação de ar	Distante 2,5cm da parede, sem permitir circulação de ar	Distante 2,5cm da parede, sem permitir circulação de ar	Distante 2,5cm da parede, sem permitir circulação de ar
4	Não especificado	Não especificado	30cm, com vala de pedrisco	30cm, com vala de pedrisco	Não especificado

	5 Fixados pela frente do painel	Fixados pela frente do painel	Fixados por trás do painel	Fixados pela frente do painel	Fixados por trás do painel
5	Fixados pela frente do painel	Fixados pela frente do painel	Fixados por trás do painel	Fixados pela frente do painel	Fixados por trás do painel
6	Quadros e réguas encostados, sem espaçamento	Quadros encostados sem espaçamento, e réguas separadas em 35mm	Quadros encostados sem espaçamento, e réguas separadas sem medida	Quadros separados em 60mm, e réguas separadas em 7mm	Quadros encostados sem espaçamento, e réguas separadas em 13,6mm
7	Quadros e réguas afastados, mantendo distância para a ventilação do sistema	Quadros e réguas afastados, mantendo distância para a ventilação do sistema	Quadros e réguas afastados, mantendo distância para a ventilação do sistema	Peça específica de canto, mantém quadros encostados e réguas separadas em 7mm	Quadro encostado e réguas separadas em 13,6mm
8	Pingadeira metálica entre os pavimentos, sem rufo de acabamento superior na platibanda	Sem pingadeira intermediária, rufo de acabamento superior na platibanda	Sem pingadeira intermediária, rufo de acabamento superior na platibanda	Sem pingadeira intermediária, rufo de acabamento superior na platibanda	Sem pingadeira intermediária, rufo de acabamento superior na platibanda

Quadro 2: Caracterização dos painéis modulares de revestimento

Fonte: Aprilanti, Tavares e Ino (2018).

## 4.2 Avaliação dos painéis de revestimento

Com base nos oito critérios técnicos elencados, os cinco painéis modulares foram analisados considerando as especificações, os detalhamentos executivos e os protótipos (escala 1:1) dos respectivos painéis caracterizados no Quadro 2. Na avaliação, os painéis receberam em cada critério uma classificação: Atende – **A**; Atende Parcialmente – **AP**; e Não Atende – **NA**. No Quadro 3 é apresentada a síntese desta avaliação, resultando na somatória de níveis atribuídos a cada painel.

CRITÉRIOS	Painel A	Painel B	Painel C	Painel D	Painel E
1. Geometria das réguas	A	A	A	A	A
2. Espaçamento entre as réguas no painel	A	A	NA	NA	A
3. Espaçamento entre painel e parede	NA	A	NA	NA	NA
4. Distanciamento do revestimento do chão	NA	NA	A	A	NA
5. Posição dos parafusos	NA	NA	A	NA	A
6. Interface entre painéis (encontro)	NA	NA	NA	NA	NA
7. Junta de canto entre painéis	A	A	A	AP	AP
8. Proteção de topos	NA	A	A	A	A
TOTALS					
Atende	3	5	5	3	4
Atende Parcialmente	0	0	0	1	1
Não Atende	5	3	3	4	3

Quadro 3 – Síntese da avaliação comparativa dos projetos de painéis a partir dos critérios técnicos de detalhamento

Fonte: Aprilanti, Tavares e Ino (2018).

Entre as soluções propostas, os Painéis B e C são aqueles que melhor atendem aos critérios de durabilidade considerados nesta análise. No entanto, os critérios técnicos elencados não são suficientes para responder a todas as condições necessárias ao bom desempenho da edificação de uma maneira global. Por exemplo, o Painel B não garante a adequada proteção da parede ao deixá-la desprotegida em função do espaçamento excessivo entre as réguas. A avaliação necessita ser complementada com outras variáveis como: proteção efetiva da parede, resultado estético, peso, facilidade de fixação, procedimentos de execução, entre outros aspectos não menos importantes para a eleição da melhor solução construtiva entre os cinco painéis analisados.

De qualquer maneira, os critérios técnicos não atendidos indicam pontos frágeis das propostas e devem realimentar o processo de revisão do projeto. No geral, observa-se que os principais problemas encontrados nos projetos propostos dizem respeito ao correto espaçamento entre a parede e as réguas de revestimento, resultante do posicionamento dos sarrafos de fixação já existentes na edificação, e na interface entre os painéis, de modo que promovam com eficiência a circulação de ar. Estes problemas, contudo, podem ser facilmente solucionados através da adequação de medidas e arranjos no quadro estruturante.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de critérios técnicos definidos para a avaliação e seleção das soluções projetuais que melhor atendem aos conceitos de durabilidade, objeto deste artigo, mostrou-se uma importante ferramenta de análise gerando resultados que além de servir de subsídio para o desenvolvimento do projeto executivo final, indicam recomendações para o detalhamento construtivo de painéis em madeira para revestimento de fachadas.

Outros conceitos igualmente importantes deverão ser observados para a continuidade do projeto dentre os quais: modularidade dos painéis, resistência do conjunto ao transporte e instalação, leveza e facilidade de manuseio, racionalização dos materiais e procedimentos de execução, bem como resultado estético do conjunto.

Recomenda-se finalmente, que durante a elaboração da versão final do painel todos os critérios avaliados sejam considerados no desenho, observando as demais soluções que os atendem satisfatoriamente, com o objetivo de incorporar aspectos positivos das cinco soluções projetuais.

## REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, R. M.; HELLMEISTER, J. C. **Concepção Arquitetônica da habitação em madeira.** Boletim Técnico da EPUSP, BT/PCC/155, São Paulo, 1995.
- GALINARI, A. F. **A Escolha do Sistema Construtivo:** Caracterização e Análise de Propostas para Habitação de Interesse Social em Madeira de Plantios Florestais. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- PUNHAGUI, K. R. G. **Potencial de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona 2014.
- GONZAGA, A. L. **Madeira:** uso e conservação. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006.
- GRAÍÑO, J. M. B. De la madera y sobre la evolución del tablado. **Tectónica – Madera (I)** revestimientos, v. 11, p. 14-27, Madrid, 1995.
- HERZOG, T. et al. **Construire en bois.** 3. ed. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2007.
- HILDEBRANDT, J.; HAGEMANN, N.; THRÄN, D. The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in Europe. **Sustainable Cities and Society** 34, 2017, pp.405-418. Doi: 10.1016/j.scs.2017.06.013.
- HOWE, J. **Building with Wood:** Proactive Climate Protection. Dovetail Partners, Inc., 2015. Disponível em: <[http://www.dovetailinc.org/reports/Building+with+Wood+Proactive+Climate+Protection\\_n656?prefix=%2Freports](http://www.dovetailinc.org/reports/Building+with+Wood+Proactive+Climate+Protection_n656?prefix=%2Freports)>. Acesso em: 03 mar. 2017.
- INO, A. Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma edificação em madeira. **Workshop Durabilidade das Construções**, São Leopoldo, 1997.
- KOLB, J. **Systems in timber engineering.** Germany: Birkhauser, 2008.
- KUITTINEN, M.; LUDVIG, A.; WEISS, G. (ed.). **Wood in Carbon Efficient Construction:** tools, methods and applications. Belgium: CEI-Bois, 2013.
- LEHMANN, S. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. **Sustainable Cities and Society** 6, 2013, 57 – 67. Doi: 10.1016/j.scs.2012.08.004.
- SCHOBER, K. P. et al. **Fassaden Aus Holz.** Wien: proHolz Austria – Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft zur Förderung der Anwendung von Holz, 2014.
- TAVARES, S. F.; INO, A. Projeto e produção de painéis de revestimento vertical em madeira. Caso: Unidade 002, São Carlos – SP. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIAS DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS TECSIC, 2017, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Unicamp, 2017. Doi: 10.17648/tecsic-2017-72120.

## COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL UTILIZANDO PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO DE ALTA DENSIDADE

Data de aceite: 25/11/2019

**Lilian Cristina Ciconello**

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
São Paulo, SP

**Luciana Alves de Oliveira**

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
São Paulo, SP

**RESUMO:** As metrópoles contemporâneas emergem como centros de intenso adensamento humano e verticalização. O desenvolvimento das tecnologias de construção civil tem viabilizado a execução de edifícios cada vez mais altos e complexos nessas cidades. Paralelamente os riscos em relação aos incêndios tendem a crescer em função de tais aglomerações e da verticalização. Historicamente, a preocupação com a segurança contra incêndio da edificação passou a receber devida atenção somente após grandes tragédias; contribuindo para o aumento das discussões e estudos técnicos em relação aos projetos e o comportamento de materiais e sistemas construtivos sob a ação do fogo. Um dos resultados desses estudos aponta para a importância da proteção passiva nas edificações, objeto do estudo proposto; mais particularmente relacionado às compartimentações horizontais

cuja função é evitar a propagação do incêndio, fumaça e gases quentes entre ambientes. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos tecnológicos de vedações verticais leves, com fechamento em placas de silicato de cálcio de alta densidade, com função de compartimentação horizontal de edifícios de múltiplos pavimentos. Para tanto, foram consultadas bibliografias técnicas, catálogos e relatórios de ensaios de fornecedores de placas de silicato de cálcio, além de entrevistas com especialistas em segurança contra incêndio. O sistema de vedação apresentado, em razão das suas características tecnológicas e de desempenho, tem potencial de atender aos requisitos de resistência ao fogo de elementos de compartimentação horizontal; entretanto, adequações em âmbito nacional se fazem necessárias para que a especificação desta tipologia de parede corta-fogo possa ser implementada em projetos no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologia de vedações verticais leves; Sistema construtivo em placas de silicato de cálcio; Compartimentação horizontal; Parede corta-fogo; Proteção contra incêndio.

**HORIZONTAL PARTITIONING USING HIGHT DENSITY CALCIUM SILICATE BOARDS**

**ABSTRACT:** Contemporary metropolises have

been emerging as dense human concentration and verticalization. The development of industry building and engineering technologies has made possible to build increasingly taller and complex skyscrapers. Historically, concerns about building fire safety have received due attention only after major tragedies; contributing to the increase of discussions and technical studies regarding the design and the behavior of materials and building systems under fire. Consequently also researches and standards were updated including laboratories and fire tests. The results appoint passive protection as one of the most effective solution to avoid fire, hot gases and smoke spread, which is threatened as the main subject of this paper. The objective of this study is to present technological aspects of light vertical seals applying high density calcium silicate boards with the function of fire compartmentation for multi-store buildings. For this purpose technical bibliographies were consulted, international works and producers of calcium silicate boards, including interviews with fire safety specialists. The sealing system presented, due to its technological and performance characteristics, has the potential to achieve the fire resistance requirements of horizontal partitioning elements, however adaptations and tests will be necessary for Brazilian market adaptation of components.

**KEYWORDS:** Light vertical seal protection; Calcium silicate boards building systems; Horizontal partitioning; Firewall protection; Fire protection.

## 1 | INTRODUÇÃO

O tema segurança contra incêndio tornou-se objeto de estudo e pesquisa somente após grandes sinistros, em que vidas e patrimônios foram perdidos; como no caso do grande incêndio de Londres no ano de 1666, que foi marco para a civilização moderna adquirir nova postura frente aos iminentes riscos do fogo, que se ampliariam diante do novo cenário que se formava: as grandes concentrações urbanas e, posteriormente, a verticalização da construção. Assim, a sociedade passou a rever suas bases legislativas, civis e criminais e o mais importante: toda a cadeia envolvida no processo se viu compelida a evitar novos incêndios, ou a conter sua propagação.

No caso do Brasil, apenas no século XX, mais precisamente nos anos 70, quando ocorreram grandes incêndios em edificações de múltiplos pavimentos é que o tema tomou vulto e deixou de ser preocupação e responsabilidade apenas do Corpo de Bombeiros.

Analizando-se o contexto atual, tem-se preestabelecida a divisão da SCI (Segurança Contra Incêndio) em duas vertentes: primeiro, a proteção ativa e segundo a passiva, na qual se insere o conceito de compartimentações horizontais e verticais.

A compartimentação é definida como o conjunto de elementos construtivos (horizontais ou verticais) que devem confinar as chamas, os gases quentes e a fumaça com o objetivo de dificultar sua propagação, tanto internamente aos edifícios

como em edifícios adjacentes, explana BERTO (1999).

O mercado e a indústria da construção civil, orientados pela economia de consumo e engajados à sustentabilidade, vêm apresentando soluções inovadoras para serem usadas como elementos de compartimentação, principalmente, em razão do fato de que se constroem cada vez mais edifícios de grande altura, volumetria complexa, cabeamentos e instalações robustas, fachadas envidraçadas e componentes que agregam risco em relação ao fogo, o que exige maior atenção ao tema e soluções apropriadas.

Nesse cenário, a compartimentação feita por soluções inovadoras pode ser uma das alternativas para aprimorar a segurança contra incêndio das edificações altas e em grandes centros urbanos.

Assim, o objetivo deste artigo é apresentar os aspectos tecnológicos de vedações verticais leves, com fechamento em placas de silicato de cálcio de alta densidade, com função de compartimentação horizontal de edifícios de múltiplos pavimentos, considerando o contexto do Brasil. TANIGUTI (1999) e OLIVEIRA (2009), explicam que as vedações verticais são classificadas pela sua função (somente de vedação ou vedação e estrutural) e também pela respectiva densidade superficial, ou seja, as vedações consideradas leves são aquelas que estão abaixo de 60 kg/m<sup>2</sup>.

As vedações em placas de silicato de cálcio não tem normalização nacional específica, por isso é importante que sejam discutidos seus aspectos tecnológicos visando ao atendimento a requisitos de desempenho, no caso resistência ao fogo. Essa discussão tende a subsidiar projetistas e construtoras na especificação desse sistema de vedação usado para compartimentação horizontal de edifícios.

## 2 | MÉTODO DE PESQUISA

Para alcançar os objetivos propostos, foi feita inicialmente revisão bibliográfica sobre os principais incêndios registrados na história, suas consequências, e também o entendimento de fatos similares ocorridos no Brasil e seus efeitos. Portanto, foram analisados artigos técnicos, textos de especialistas e do histórico da SCI desde os grandes incêndios à evolução das pesquisas, com a criação dos padrões de análise em diversos países.

Em relação à regulamentação no Brasil, foi feito levantamento das Normas e Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo — concentrando-se no estudo da SCI sobre os temas da proteção passiva, compartimentação e reação ao fogo.

Para complementar as informações técnicas sobre as características técnicas das placas de silicato de cálcio e sobre o comportamento ao fogo das diversas configurações possíveis do sistema de paredes, foram pesquisados e selecionados

dados de catálogos de fabricantes das chapas de silicato de cálcio, bem como foram consultados relatórios de ensaios de resistência ao fogo, disponibilizados por estes fabricantes.

Observa-se ainda que parte das sugestões de especificações feitas neste artigo foi baseada em pesquisas feitas para o desenvolvimento da dissertação de mestrado da autora deste artigo.

### 3 I SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA COM FUNÇÃO DE COMPARTIMENTAÇÃO

As compartimentações horizontais ou verticais, quando especificadas, devem cumprir seu papel funcional e de segurança, ou seja, impedir a propagação de fogo, gases e calor em caso de incêndio para ambientes contíguos.

As vedações em gesso acartonado (drywall), por exemplo, são uma opção de compartimentação horizontal, podendo ser utilizadas em paredes divisórias fechamentos de dutos de fumaça, ar condicionado e de instalações hidrossanitárias, bem como fechamento e proteção de instalações elétricas (os denominados shafts). Tais vedações são regulamentadas pelas normas NBR 14715:2010, NBR 14716:2001, NBR 14717:2001 e NBR 15758:2009.

As vedações verticais com placas de silicato de cálcio estruturadas por quadro de perfis leves de aço (light steel frame) também são uma opção de compartimentação, uma alternativa às vedações em placas de gesso. Entretanto, potencialmente podem apresentar maior valor de resistência ao fogo.

A resistência ao fogo de uma configuração de parede estruturada por perfis de 100 mm x 50 mm e 1,2 mm, com montantes a cada 600mm; e duas placas de silicato de cálcio de 9 mm de cada lado e isolante de lã de rocha de densidade 100 kg/m<sup>3</sup> é de 240 minutos, conforme resultado do ensaio WF164275 feito segundo as normas BS 476 - 22:1987 e BS1530-1:2005 no laboratório Exova Warrington Fire Testing (UK). Apesar do ensaio realizado segundo esta norma apresentar diferença com a norma brasileira, ele pode ser usado como uma primeira análise, pois mostra o potencial do sistema.

A seguir são apresentadas as características tecnológicas dos principais componentes (perfis, parafusos, isolante e placas) que conformam vedação vertical em placas de silicato de cálcio, objetivando o bom desempenho com relação à resistência ao fogo bem como aspectos de montagem dessa vedação, ressaltando que há possibilidades de tipologias e arranjos distintos, variando, por exemplo, como altura e largura do vão.

### 3.1 Quadro estrutural da vedação vertical

O quadro estrutural (frame) é formado por perfis denominados guias e montantes (Figuras 1 e 2), que em conjunto com as placas determinam a resistência mecânica do sistema. Montantes são os componentes verticais e as guias são os elementos horizontais.

Os perfis, tanto horizontais quanto verticais, são fabricados em dimensões e espessuras variadas para atender às exigências do sistema a que se aplicam. A sugestão é que esses perfis tenham no mínimo 1,15mm de espessura de aço no caso específico da configuração apresentada.

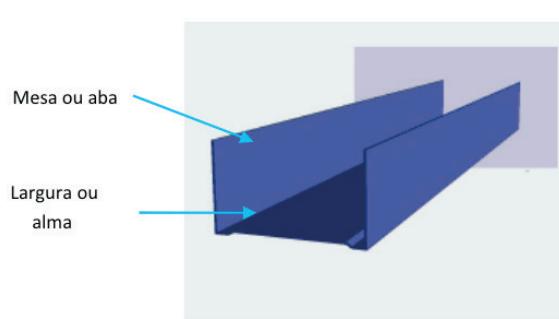


Figura 1 - Desenho esquemático: guia

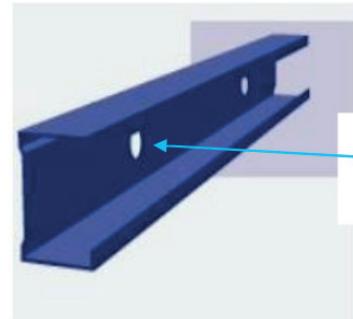


Figura 2 - Montante

Fontes: RondoSteel Manufacturing (2017) e Cemear (2016)

A especificação das dimensões do perfil é feita de acordo com a altura dos vãos (pé-direito), considerando às limitações mecânicas e a tensão de escoamento do aço. No contexto brasileiro, no que tange às características mecânicas, os perfis devem atender à norma técnica ABNT NBR 15253:2014 (Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações — Requisitos gerais) e no que diz respeito às características dimensionais, à NBR 6355:2012 (Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização). No que diz respeito à resistência à corrosão, sugere-se adotar os critérios da Diretriz SiNAT 003 — Revisão 02 ou da NBR 15758:2009, ou seja, revestimento de zinco (proteção contra corrosão) de no mínimo 275 g/m<sup>2</sup> (Z275), para regiões de classe de agressividade II.

### 3.2 Sistemas de Fixação: parafusos e ancoragens

A fixação entre os perfis metálicos e entre os perfis e as chapas se dá por parafusos com cabeça tipo lente ou panela (Figura 3), sendo que o comprimento dos parafusos depende das espessuras dos perfis e das chapas, devendo transpassar os perfis no mínimo 10 mm para assegurar a ancoragem.

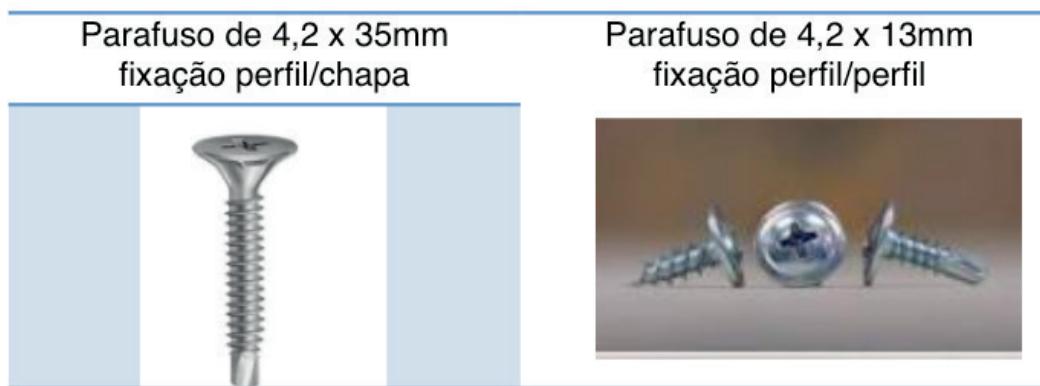


Figura 3 - Parafusos do sistema

Fonte: Rondo Steel Manufacturing (2017).

Os parafusos devem ser compostos em aço e tratados em banho de zinco ou níquel para evitar corrosão. Sugere-se a adoção dos critérios de resistência à corrosão dos parafusos utilizados no sistema Steel Frame, conforme Diretriz SiNAT 003. Portanto, as principais características a serem especificadas para os parafusos são: características dimensionais, poder de perfuração, resistência à torção, resistência à corrosão (exposição em câmara de névoa salina), resistência de arrancamento (pull-out) e resistência à tração.

### 3.3 Isolante

Com o objetivo de retardar a transmissão de calor, nos vãos entre os perfis é aplicado elemento isolante, dentre os quais o recomendado para as vedações em silicato de cálcio são as placas de lã de rocha, que produzida a partir de rocha basáltica e escórias metalúrgicas, após passarem por fusão acima de 1.500 °C são transformadas em fibras para serem moldadas em painéis e rolos. A Tabela 1 apresenta as principais características do isolante requerido para este sistema de vedação, com função de compartimentação.

LÃ DE ROCHA – PROPRIEDADES	
Condutividade térmica	0,034 W/mk
$\Delta$ temperatura de trabalho	-100 °C a 820 °C
Classificação quanto ao fogo	Incombustível
Densidade	40 a 200 kg/m <sup>3</sup>
Espessura	25 a 100 mm

Tabela 1 - Propriedades da lã de rocha

Fonte: Foster Group Isulation

### 3.4 Tratamento das juntas entre placas

As placas de silicato de cálcio são originalmente manufaturadas com as bordas quadradas, sem rebaixos laterais. Na montagem da vedação, a última camada de placas, quando houver mais de uma, nas juntas entre placas, é aplicado material selante com função de proteção e intumescência quando submetido ao fogo, apresentado geralmente em bisnagas. Esse tipo de selante, de base aquosa e acrílica, é utilizado para juntas pequenas (até 3 mm) e tem plasticidade moderada, com propriedades corta-fogo. Igualmente, o procedimento de selagem com resistência ao fogo deve ser aplicado nos vãos superiores (encontro com vigas e lajes), inferiores (junto ao piso) e nas laterais das paredes. No caso de grandes planos de paredes, onde há juntas de dilatação, o selante a ser aplicado deve ser de base silicone, em função dos efeitos de movimentação das juntas (informações provenientes do fabricante consultado).

### 3.5 Placas de silicato de cálcio

As placas em silicato de cálcio que compõe o sistema apresentado neste trabalho são produto de tecnologia oriunda de manipulação da nanoestrutura. A nanotecnologia tem possibilitado, através da manipulação tecnológica de átomos e moléculas, a criação de novos materiais, assim como alterar a composição de preexistentes, melhorando seu desempenho.

Pelisser (2010 e 2012) explicita que o silicato de cálcio é um material lamelar, semicristalino, similar a um cristal, com estrutura complexa, principalmente em relação às forças de ligação, e apresenta um comportamento mecânico frágil e baixa resistência à tração. Além disso, é um material amplamente utilizado com a finalidade de isolamento de calor, através de peças projetadas sob medida e usinadas.

Existem normas no Brasil que tratam das peças em silicato de cálcio, regulamentando requisitos como resistência à flexão, contração linear, massa específica, especificações, resistência à compressão; porém, são sempre abordadas como produtos específicos para isolamento térmico, notadamente em aplicações industriais, e não como parte integrante de vedações com função de compartimentação de edifícios. Na NBR 10662:2012, por exemplo, são tratados os requisitos gerais para os seguintes tipos de peças: Tipo I: placa isolante; Tipo II: tubo isolante; e Tipo III: peça especial. A mesma NBR menciona a classificação: Classe I: para uso em superfícies com temperaturas até 650 °C; e Classe II: para uso em superfícies com temperaturas até 815 °C.

FARIA (2014) descreve que a placa de isolamento térmico de silicato de cálcio de alta densidade caracteriza-se pela boa resistência mecânica, com potencial de isolamento de calor, baixa condutividade térmica, resistência a alta temperatura,

umidade e durabilidade a alta pressão, oferecendo boa trabalhabilidade e não contém asbestos. Tais atributos conferem inúmeros benefícios onde há necessidade de isolamento térmico e resistência ao fogo.

DEGLER (2016) faz uma descrição pormenorizada das placas que compõem o sistema de compartimentação objeto deste estudo: placa isolante basicamente feita de silicato de cálcio, com densidade de 870 kg/m<sup>3</sup>, com variação de umidade de  $\pm 15\%$ . As placas são classificadas como incombustíveis de acordo com a EN ISO 1182. As características técnicas estão listadas na tabela 2.

PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO			
Classificação ( EN ISO 1182:2002)			Incombustível
Densidade			870 kg/m <sup>3</sup>
Condutividade térmica			0,175 W/mk
<i>Índice de umidade:</i>			ca. 5-10%
Dimensões Padrão 1	1,20 x 2,40 m	Espessuras	9,10,12,15, 20, 25 mm

Tabela 2 - Características técnicas das placas

Fonte: Catálogo técnico Promat Ibérica.

### 3.6 Definições do sistema de parede e procedimento de montagem

A montagem da vedação leve em silicato de cálcio muito se assemelha aos outros sistemas construtivos a seco, como drywall, steel e wood framing, porém tem algumas particularidades próprias que serão apresentadas. As guias são afixadas no piso e teto em pontos de laje, viga ou elemento estrutural superior, conforme demonstrado na figura 4; com ancoragens do tipo finca-pino, parafusadas, podendo no caso de superfícies muito rígidas serem fixadas à base de equipamentos que ancoram através da compressão (tiros).

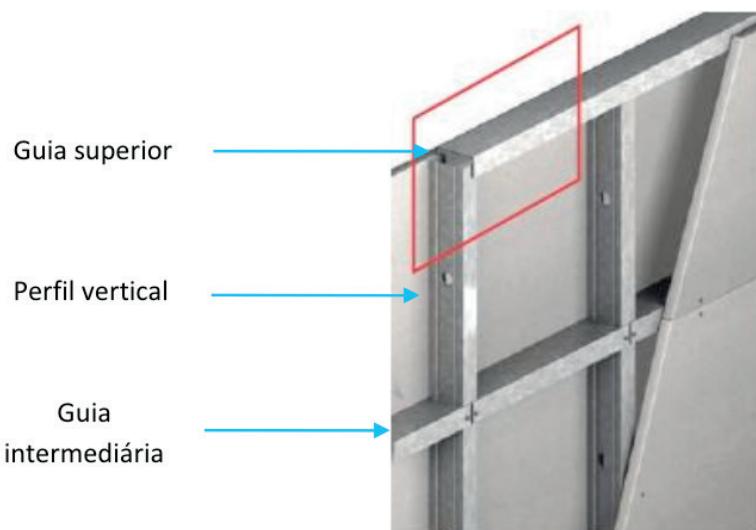


Figura 4 - Quadro estrutural do sistema

Fonte: Promat Asia (2014).

Os pontos de ancoragem superior e inferior são espaçados no máximo a cada 50 cm ao longo da extensão da compartimentação, conferindo firmeza e alinhamento à parede. Com o objetivo de aumentar a resistência do quadro em relação aos esforços laterais, um ou mais perfis horizontais (guias intermediárias) devem ser fixados no sentido horizontal do vão, o que confere mais robustez ao sistema. Quanto aos elementos verticais, estes devem respeitar o limite máximo de espaçamento entre si de 600 mm. Esta medida máxima refere-se quando do uso das placas de dimensões do padrão 1, ou seja, 1,20m x 2,404m. No caso das placas de 1,20m x 2,40m o espaçamento máximo deve ser de 600mm.

O aparafusamento deve se orientar por linhas contíguas aos perfis, respeitando o limite máximo de espaçamento de 300 mm entre cada ponto de fixação. Em alguns casos específicos, onde há mais de uma camada de placas, na segunda camada (de dentro para fora), a distância entre parafusos não pode ultrapassar a distância de 200 mm. Os encontros entre juntas devem ser intercalados na sobreposição das camadas das placas, e a recomendação é que as juntas tenham 3 mm de largura.

Na sequência, são inseridos os painéis de material isolante nas cavidades do sistema, recortados de acordo com a área a ser preenchida, e que deverão fechar toda e qualquer área livre interna da vedação.

Em projetos onde estão previstos serviços (instalações elétricas ou hidráulicas) os componentes devem ser especiais, resistentes ao fogo por se tratarem de pontos vulneráveis às chamas e ao calor; posteriormente à sua instalação recebem selagem corta-fogo.

O acabamento entre juntas é feito com a fixação da fita em tela sobre estas e aplicada a massa específica, em uma primeira demão, mais leve, alisando a superfície. Após um período de 24 horas de secagem, é aplicada a segunda demão, e a abertura da massa pode ser maior e atingir largura de até 250 mm para cada lado, alisando-a ao máximo, com o objetivo de alinhar qualquer diferença de nível que possa haver na superfície.

Quanto ao acabamento final, a orientação técnica é de que, após a instalação, seja aguardado um período de mais 24 horas para que todo o sistema absorva e se ajuste à umidade do ambiente local, e somente após esse intervalo de tempo, é que se faça o tratamento das juntas. A selagem dos vãos é de extrema importância - tal medida deve ser observada e atendida quanto maior a exigência de resistência ao fogo e estanqueidade da compartimentação. A textura das placas é levemente rugosa; portanto a massa pode ser aplicada em toda a superfície da vedação para fins de acabamento monolítico ao conjunto. A aplicação da massa de acabamento também se destina ao recobrimento da cabeça dos parafusos, pequenas imperfeições e reparos nas bordas.

### 3.7 Interface das vedações leves em placas de silicato de cálcio e demais elementos

As vedações em silicato de cálcio podem integrar-se a outros sistemas de vedação externa ou interna, como, paredes de concreto, ou com blocos cerâmicos e demais tipos de parede.

A questão fundamental da interface entre sistemas nesse caso é a selagem dos encontros, já que são compostos por materiais de comportamentos e desempenhos distintos, o que torna imprescindível que a estanqueidade seja mantida numa situação de incêndio, inclusive em situações de risco ampliado, como abalos sísmicos ou onde há grande movimentação da edificação em função de outras variáveis, como ventos, temperatura, vibrações, etc.

É recomendada a aplicação de selantes corta-fogo ou intumescentes, com comportamento flexível, vedando a passagem de gases e calor, sempre acompanhando o tempo de resistência ao fogo solicitado na respectiva vedação ou de acordo com as normas e exigências locais.

A figura 5 ilustra uma vista da interface entre parede de compartimentação e estrutura de concreto. Semelhante solução deve ser aplicada na junção entre a vedação e forros (Figura 6). No caso de vãos que preveem a deflexão, os selantes devem ser elásticos para acompanhar a variação dimensional de vãos e juntas.

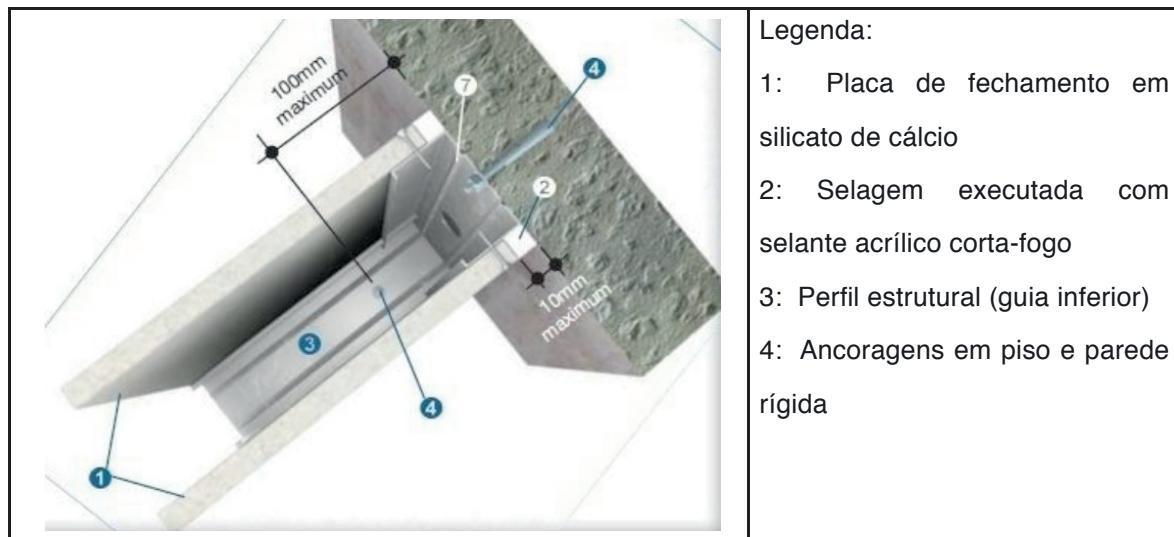


Figura 5 - Encontro das placas de silicato de cálcio com parede de concreto

Fonte:Catálogo Técnico Promat Asia (2014).

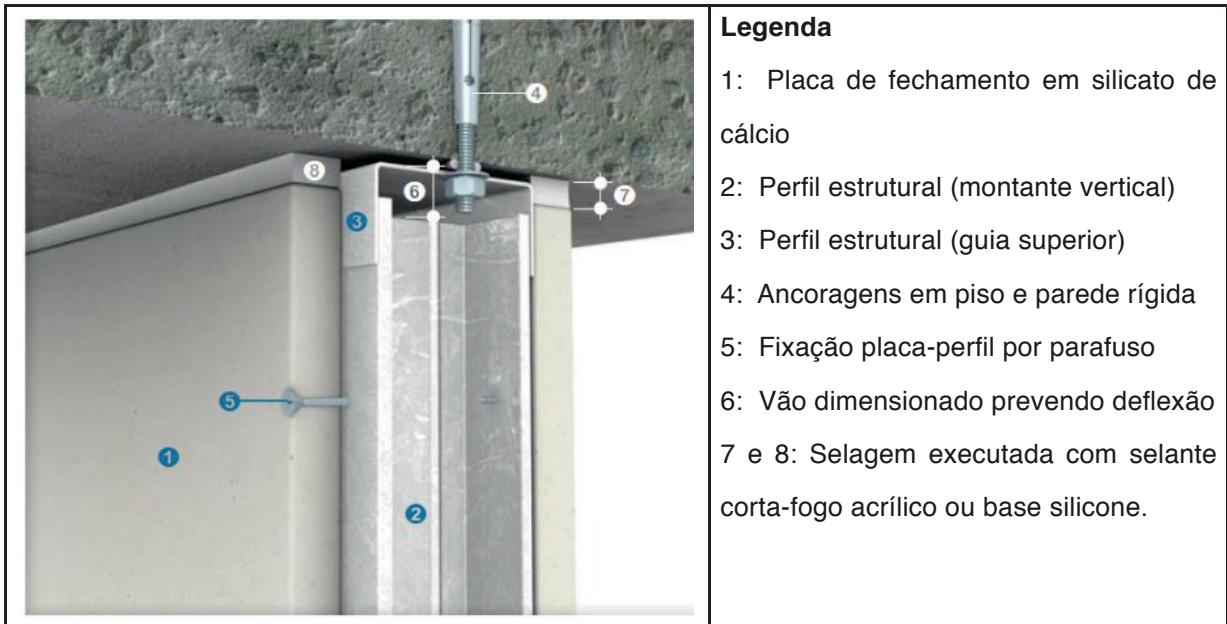


Figura 6 - Encontro de vedação vertical com laje de concreto

Fonte:Catálogo Técnico Promat Asia (2014).

A compartimentação tanto horizontal quanto vertical torna-se inócuas se as cavidades e vãos nelas presentes não estiverem corretamente selados. A recomendação é aplicar colares expansíveis, selantes e tiras intumescentes (Figura7).

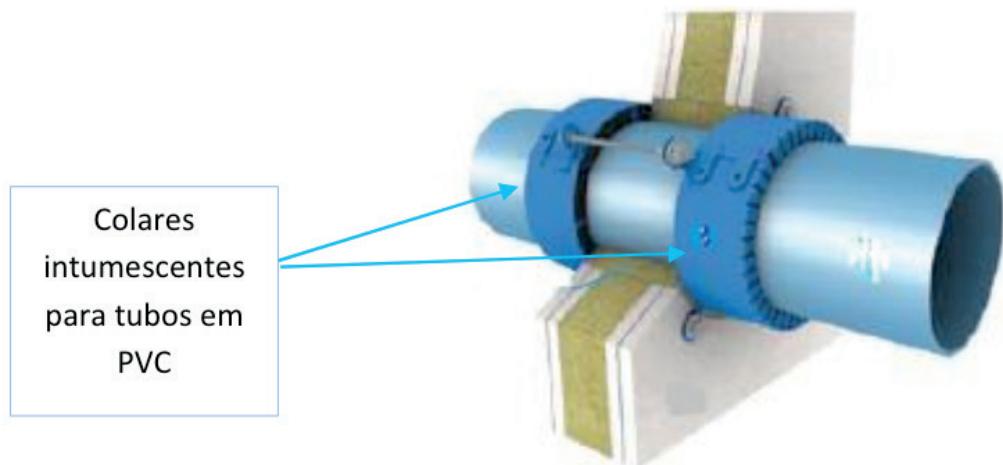


Figura 7 - Aplicação de selagem corta-fogo em compartimentação horizontal

Fonte: Catálogo técnico Promat Áustria

## 4 | CONCLUSÃO

O sistema de vedação apresentado, em razão das suas características tecnológicas e de desempenho, tem potencial de atender aos requisitos de resistência ao fogo de elementos de compartimentação horizontal; entretanto, adequações em âmbito nacional se fazem necessárias para que a especificação deste tipo de

parede corta-fogo possa ser consolidada em projetos no Brasil. Portanto, para que as vedações cumpram com o desempenho requerido, cada um dos componentes do sistema deve ser projetado e montado considerando as características tecnológicas e procedimentos de montagem apresentados neste artigo, bem como os cuidados com o tratamento das juntas com material intumescente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10662: Isolantes térmicos pré-moldados de silicato de cálcio - Especificação, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14715: Chapas de gesso acartonado – requisitos, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14716: Chapas de gesso acartonado: verificação das características técnicas, São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14717: Chapas de Gesso acartonado: determinação das características físicas, São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15253: Perfis de aço formados a frio com revestimento metálico para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais, São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15758: Sistemas construtivos para drywall - projetos e procedimentos para montagem, São Paulo, 2009.

BERTO, A. F. Medidas de Proteção contra Incêndio: Aspectos Fundamentais a Serem Considerados no Projeto Arquitetônico dos Edifícios. v. 1. 366p. FAUUSP, 1991, São Paulo: Brasil.

BRISTISH STANDARD BS 476 – Part 22:1987 “Methods for determination of the fire resistance of non-loadbearing elements of construction”. Fire Standards Committee, United Kingdom.

BRISTISH STANDARD BS EN 13501-1:2007+A1:2009 Fire classification of construction products and building elements - classification using test data from reaction to fire tests, United Kingdom.

DEGLER, Jakob. Determination of the Conductivity of Insulation Boards Made of Calcium Silicate by Test in the Cone Calorimeter. v. 1. 74p. Lulea University of Technology, 2016, Lulea: Sweden

Diretriz Sinat - DATec N. 003: Sistemas Construtivos estruturados em perfis leves de aço zinado conformado a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”). Revisão 2, Ministério das Cidades. 16p, 2016, Brasília: Brasil

FARIA, R. Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS, Dissertação de Mestrado, 115p, 2014, Universidade da Madeira, Funchal: Portugal

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION - ISO 1182:2010 – Reaction to fire tests for products – non – combustibility test

TANIGUTI, E. K. Método Construtivo de Vedação Interna de Chapas de Gesso Acartonado. v. 1. 293p, 1999, São Paulo: Brasil.

OLIVEIRA, L. A. Metodologia para desenvolvimento de projetos de fachadas leves. 267 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009

PELISSER, F. Síntese e Caracterização de Nanocompósitos de Silicato de Cálcio Hidratado-Polímeros. 199p. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010, Santa Catarina: Brasil.

PELISSER, F.; GLEIZE, P. J. P.; MIKOWSKI, A. Propriedades Nanomecânicas do Silicato de Cálcio de Síntese. Revista Ambiente Construído. v. 9. n. 42, pp. 129-139, 2009, Porto Alegre: Brasil.

## INCIDÊNCIA DE DESCOLAMENTO EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS EM FACHADAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O PROJETO E A PRODUÇÃO

Data de aceite: 25/11/2019

### **Luciana Alves de Oliveira**

Doutora, Pesquisadora e Docente do Mestrado de Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT  
São Paulo – SP

### **Luciana Araújo Mauricio Varella**

Mestrando de Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT  
São Paulo – SP

### **Renato Freua Sahade**

Mestre, Docente da Pós-Graduação em Excelências Construtivas e Anomalias pela Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo – SP

**RESUMO:** Os sistemas de revestimento utilizando placas cerâmicas adheridas são largamente empregados nas fachadas dos edifícios brasileiros. Porém, a grande incidência de manifestações patológicas neste tipo de processo construtivo tem **influência** negativa na fase de seleção e especificação do revestimento das fachadas, conforme estudo que mostra uma tendência na diminuição do uso em fachadas de edifícios de São Paulo, a despeito das vantagens potenciais que os mesmos oferecem. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é expor o resultado de

um levantamento quantitativo das principais manifestações patológicas identificadas nos revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios na cidade de São Paulo e discutir as questões relacionadas à manifestação mais recorrente, os descolamentos. Para tanto, foram feitas análises de relatórios de avaliação de fachadas, disponibilizados por um escritório de consultoria em patologia, de 24 edifícios localizados em São Paulo e com acabamento em placas cerâmicas ou pastilhas de porcelana. Catorze edifícios, com idades entre 3 e 20 anos, apresentaram descolamentos originados, preponderantemente, por falhas de origem construtiva, enquanto os outros dez, com idades entre 21 e 47 anos, apresentaram descolamentos originados, preponderantemente, por falhas de origem adquirida. Foram avaliados os índices de descolamento do revestimento nas fachadas dos edifícios, relacionando-os com as causas geradoras e suas origens. O trabalho concluiu que as falhas com origem construtiva foram significativamente maiores que as com origem adquirida, contribuindo para evidenciar a importância do projeto de revestimento e do processo construtivo deste tipo de revestimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** revestimento cerâmico, descolamento, patologia, fachadas de edifícios, projeto de revestimento

# IMPACT OF CERAMIC COATING DETACHMENT ON FACADES: CONTRIBUTION TO DESIGN AND PRODUCTION

**ABSTRACT:** Coating systems using adhered ceramic plates are widely used in the facades of Brazilian buildings. However, the *high* incidence of pathological manifestations in this type of constructive process has a negative influence on the facade cladding specification, as pointed out by study that shows a tendency in the decrease of its use in facades of buildings of São Paulo, in spite of the potential advantages that they may offer. In this context, the objective of this work is to present the results of a quantitative survey of the main pathological manifestations identified in ceramic tile facades of buildings in the city of São Paulo and to discuss the issues related to the most recurrent manifestation, the detachments. For that, analyzes of facade evaluation reports, made available by a pathology consulting firm, were done in 24 buildings located in São Paulo and finished with ceramic plates or porcelain tablets. Fourteen buildings, with ages between 3 and 20 years, presented detachments originated, mainly, by failures of constructive origin, while the other ten, aged between 21 and 47 years, presented detachments originated, mainly, due to faults of acquired origin. The decoupling indexes of the coating on the façades of the buildings were evaluated, relating them to the generating causes and their origins. The work concluded that the failures with constructive origin were significantly larger than those with acquired origin, contributing to highlight the importance of the coating design and the constructive process of this type of coating.

**KEYWORDS:** ceramic coating, detachment, pathology, facade of buildings, coating design

## 1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, grande parte dos edifícios multipavimentos empregam revestimentos cerâmicos em suas fachadas devido às vantagens que estes apresentam em relação aos demais revestimentos tradicionais tais como: maior durabilidade, facilidade de limpeza, maior resistência à penetração de água, conforto térmico, valorização estética e econômica do empreendimento (MEDEIROS, 1999; JUST, 2001). Segundo Moraes (1997) *apud* Medeiros (1999), na década de noventa, 50% dos edifícios residenciais e 40% dos edifícios comerciais, em São Paulo, empregavam revestimentos cerâmicos nas fachadas. As vantagens técnicas das placas cerâmicas são respaldadas por um setor industrial de cerâmica para revestimento que ocupa uma posição de destaque mundial - segundo a ANFACER, o Brasil é, atualmente, o terceiro país do mundo em produção e consumo (ANFACER, 2019).

No entanto, diversos pesquisadores (MEDEIROS, 1999; JUST, 2001; SILVESTRE, 2005) enfatizam que esta vantagem potencial do revestimento cerâmico somente se concretizará se o mesmo for executado de forma adequada e se forem

realizadas as atividades de manutenção preventiva.

Paralelamente, a frequente ocorrência de problemas patológicos neste tipo de revestimento passou a ser uma grande preocupação para as construtoras e tema recorrente de pesquisa, discutido em congressos nacionais e internacionais. Inclusive, estudos como o de Esquivel *et al* (2001) apontavam uma tendência de diminuição de seu uso em fachadas de edifícios de São Paulo.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é expor o resultado de um levantamento quantitativo das principais manifestações patológicas identificadas nos revestimentos cerâmicos de fachadas de 24 edifícios na cidade de São Paulo e discutir as questões relacionadas à manifestação mais recorrente, os descolamentos, isto é, a perda de aderência do revestimento, tais como suas causas prováveis, origens e aspectos relacionados, visando contribuir para os processos de projeto e produção dos revestimentos cerâmicos de fachada.

## 2 | METODOLOGIA

O presente artigo foi elaborado a partir de consultas bibliográficas e do levantamento de informações obtidas por meio da consulta e análise de relatórios técnicos de avaliação de fachadas disponibilizados por empresa de consultoria em patologia. Dentre os relatórios disponibilizados foram selecionados aqueles que tratam de edifícios cujas fachadas foram total ou parcialmente revestidas com placas cerâmicas ou pastilhas de porcelana e que se localizam na cidade de São Paulo, Brasil. Formou-se, então, uma amostra com 24 edifícios cujas idades variam entre 3 e 47 anos e alturas entre 8 e 29 pavimentos, inspecionados entre 2008 e 2016, totalizando aproximadamente 90 mil m<sup>2</sup> de fachadas vistoriadas. Os edifícios foram identificados por meio das letras em ordem alfabética de A a P e, em alguns casos, combinadas com as letras A e B caracterizando dois edifícios num mesmo condomínio, por exemplo, FA e FB. Todos os edifícios possuem estrutura reticulada em concreto armado (lajes, vigas e pilares) e vedação em alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto.

A metodologia utilizada, com a finalidade de avaliar as fachadas, foi similar em todos os relatórios, compreendendo em todos os casos a inspeção visual e a execução de ensaio quantitativo para obtenção da extensão dos problemas na fachada por meio de teste de percussão com martelo de material não contundente, conforme NBR 13749 (ABNT, 2013), além da remoção de amostras do revestimento e mapeamento de anomalias. Em alguns casos foram realizados ensaios complementares tais como a determinação da resistência de aderência à tração de revestimento com placas cerâmicas conforme a NBR 13755 (ABNT, 1996) e caracterização de placas

cerâmicas, como a determinação da absorção de água e determinação da expansão por umidade conforme NBR 13818 (ABNT, 1997).

Das anomalias detectadas, somente os descolamentos e trincas foram quantificados, porque estas são as manifestações patológicas mais importantes que ocorrem nos revestimentos cerâmicos no Brasil segundo MEDEIROS (1999).

Os descolamentos (perda de aderência detectada pelo teste de percussão) foram quantificados juntamente com os deslocamentos (queda do revestimento perceptível pela inspeção visual), pois sob o ponto de vista da gravidade e da intervenção para recuperação estas podem ser consideradas iguais (SILVESTRE e BRITO, 2004)

Os descolamentos foram quantificados em metro quadrado ( $m^2$ ) e as trincas, inicialmente, em metro linear, em função de sua extensão, e então, em metro quadrado, em função da área necessária para recuperá-las, conforme o caso.

Numa avaliação preliminar das áreas de manifestações patológicas quantificadas, foi constatado que o descolamento de revestimento apresenta maior ocorrência entre os edifícios da amostra, o que ratifica as considerações de Medeiros (1999) e Just (2001).

Quanto às origens das causas prováveis, que geraram os descolamentos, estas foram classificadas em:

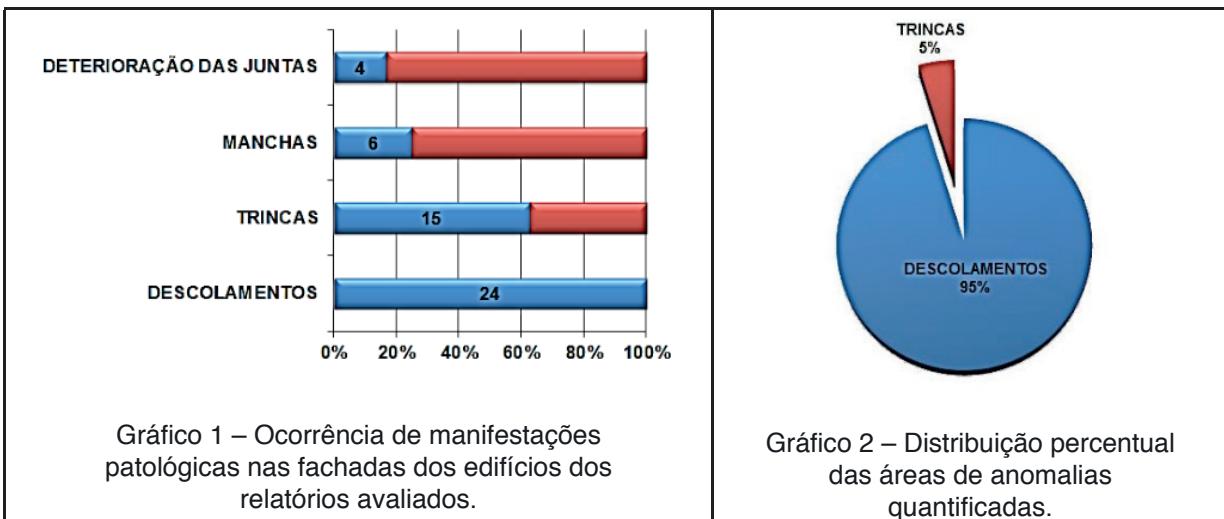
- ✓ **Origem Construtiva:** provenientes de irregularidades de projeto ou de execução, em função da não observância das normas técnicas, erros e omissões dos profissionais, ou emprego de mão de obra despreparada e ausência de metodologia para execução dos serviços, ou ainda, da combinação desses fatores;
- ✓ **Origem Adquirida:** provenientes de ausência, insuficiência e/ou incorreta manutenção preventiva (lavagem do revestimento, inspeção e revisão da vedação das juntas de assentamento e movimentação).

O enquadramento das origens das causas prováveis das anomalias foi realizado com base nos diagnósticos apontados pelos relatórios técnicos avaliados. Para a ponderação da contribuição de cada causa diagnosticada em cada edifício, foi utilizada uma metodologia adaptada de Silvestre (2005), que classifica as causas em 3 graus de correlação:

- **0: sem relação =** quando não existe qualquer relação direta entre a causa e a anomalia;
- **1: pequena relação / causa indireta =** causa não necessária para o desenvolvimento do processo de deterioração, embora agrave seus efeitos;
- **2: grande relação / causa direta =** constitui uma das razões principais do processo de deterioração e é indispensável ao seu desenvolvimento.

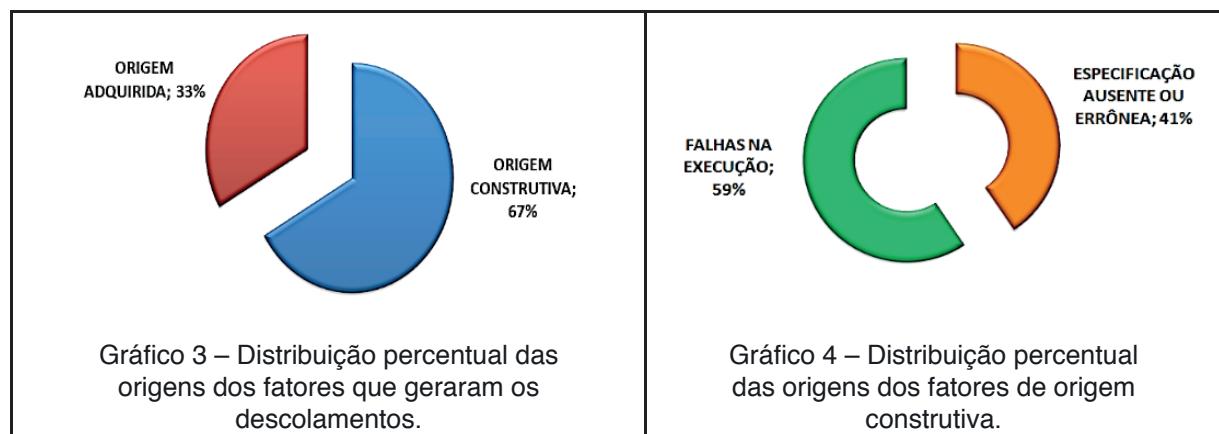
### 3 | RESULTADOS E AVALIAÇÕES

No Gráfico 1, são apresentadas as relações entre as principais manifestações patológicas detectadas e suas ocorrências nas edificações levantadas. No Gráfico 2, apresenta-se a distribuição relativa entre as principais anomalias (trincas x descolamentos) pelo total de áreas de revestimento com anomalia.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Passando a avaliar o fenômeno do descolamento isoladamente, observou-se a predominância da influência dos fatores de origem construtiva, ou seja, relacionados a irregularidades nas etapas de projeto e/ou execução, em relação aos fatores de origem adquirida (Gráfico 3), sendo que os fatores relacionados a falhas na execução, representam 59% das causas e os fatores relacionados à especificação ausente ou errônea, representam 41%, conforme Gráfico 4.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Para se avaliar as influências da idade, do período de construção, do tipo do material de acabamento nas fachadas e da técnica de assentamento sobre os índices de descolamento (ver obs. 1) apresentados pelos edifícios da amostra, esta foi dividida em dois grupos:

- ✓ **Grupo 1** – edifícios que, quando avaliados, possuíam idades entre 3 e 20 anos, datas de construção entre 1996 a 2009 e acabamento em placas cerâmicas de diferentes classificações (quanto à produção e acabamento) assentadas por meio de argamassa colante;
- ✓ **Grupo 2** - quando avaliados, possuíam idades entre 21 e 47 anos, datas de construção entre 1965 a 1990 e acabamento em pastilhas de porcelana de diferentes dimensões assentadas por meio do processo tradicional (ver obs. 2).

**OBS. 1:** O índice de descolamento de cada edifício é obtido pela relação entre a área total de fachada com revestimento cerâmico e a área total de revestimento cerâmico apresentando descolamento.

**OBS. 2:** O processo tradicional de assentamento consiste na colagem das pastilhas diretamente sobre o reboco (massa fina) úmido.

Numa avaliação preliminar, observou-se que no Grupo 1 os descolamentos são preponderantemente relacionados a fatores de origem construtiva, enquanto que no Grupo 2, os descolamentos são preponderantemente relacionados a fatores de origem adquirida, conforme Gráfico 5.

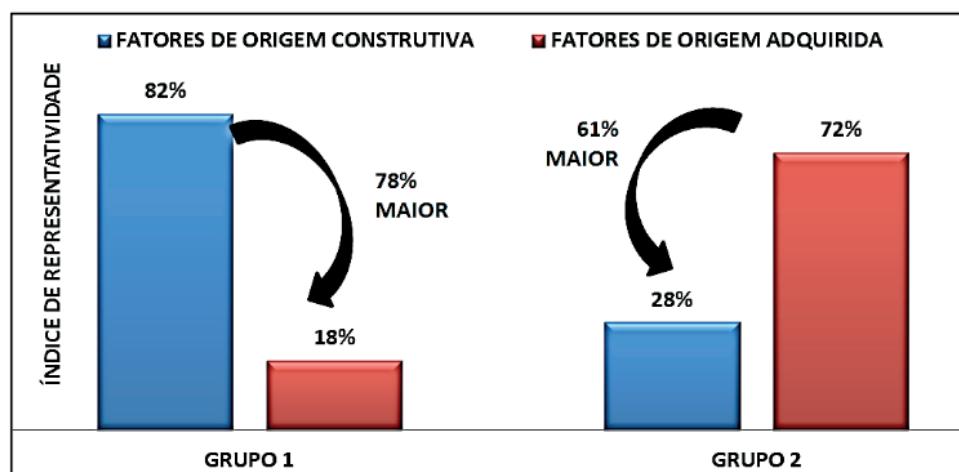


Gráfico 5. Índices de representatividade dos fatores de origem construtiva em relação à origem adquirida nos Grupos 1 e 2.

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Os Gráficos 6 e 7 ilustram os índices de descolamento de cada um dos edifícios e as médias obtidas para cada um dos grupos.

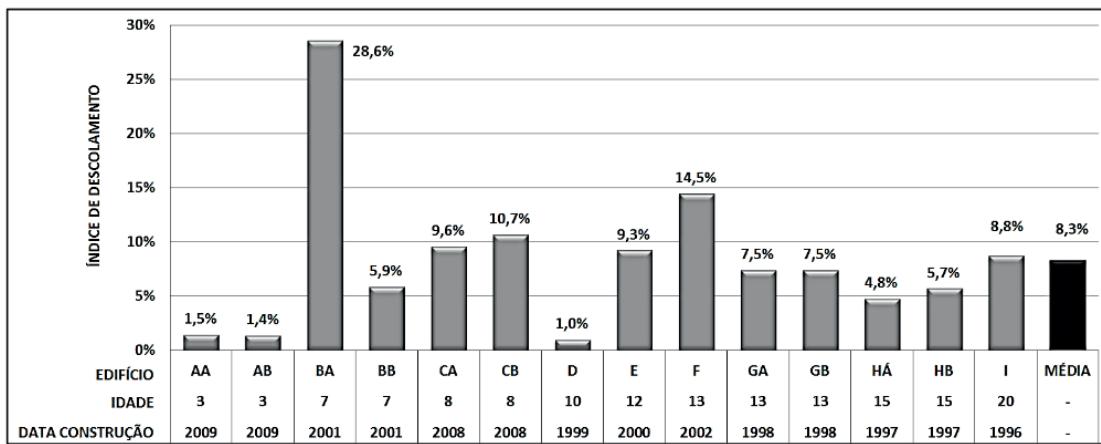


Gráfico 6. Índices de descolamento de revestimento nos edifícios do Grupo 1.

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

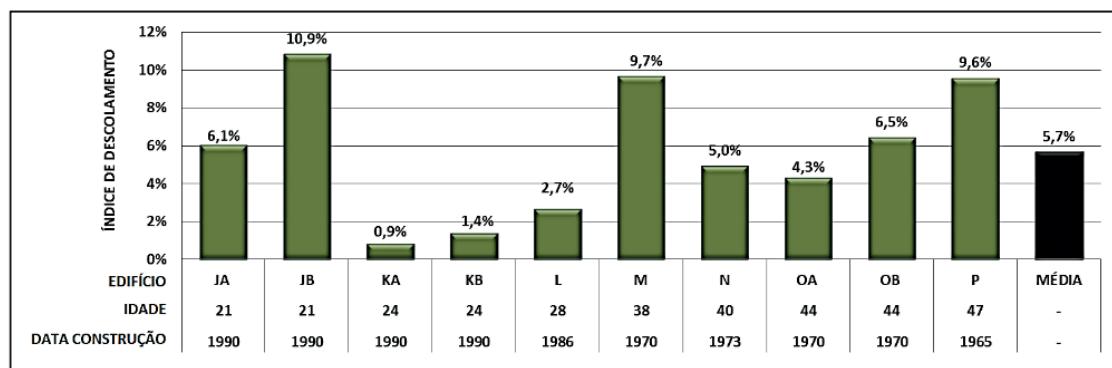


Gráfico 7. Índices de descolamento de revestimento nos edifícios do Grupo 2.

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Pela análise dos índices de descolamento apresentados pelas fachadas dos edifícios, observou-se que a média dos índices do Grupo 1 (maior influência dos fatores de origem construtiva) são 32% maiores que a média dos índices do Grupo 2 (maior influência dos fatores de origem adquirida). Este resultado é influenciado pelos seguintes fatores:

- ✓ nas fachadas do Grupo 1 são utilizadas placas cerâmicas de dimensões maiores que as pastilhas utilizadas nas fachadas do Grupo 2, o que por si só, já introduz maiores tensões no revestimento;
- ✓ nas fachadas do Grupo 2, a questão da manutenção é mais relevante, já que as pastilhas de porcelana possuem baixíssima absorção de água e seu descolamento é mais influenciado pela integridade do rejunte;
- ✓ as fachadas do Grupo 2 foram produzidas em uma época onde havia domínio do processo de produção da fachada, concentrado na figura do pastilheiro; já, as fachadas do Grupo 1 foram produzidas, a partir da década de 90, quando se tornou frequente o uso de argamassa colante em fachadas, porém sem o adequado domínio do processo de produção;
- ✓ o Grupo 1 retrata o início da fase de grande crescimento imobiliário na

construção civil no Brasil, a partir de meados da década de 90, onde as construções passaram a priorizar a velocidade de produção em detrimento da qualidade e, em função disso, não foram respeitados os prazos mínimos entre etapas e os revestimentos são submetidos a esforços de serviço precocemente.

Além disso, observou-se para o Grupo 1, excetuando-se os casos dos edifícios BA e D, uma tendência de aumento dos índices de origem construtiva em prédios de até 13 anos de idade; depois disso observou-se uma tendência à queda.

Outra consideração realizada para o Grupo 1 foi a de que, dos oito edifícios construídos após 1999, data da publicação de importante tese de dourado tratando do projeto de produção do revestimento cerâmico para fachada (MEDEIROS, 1999), apenas 2 edifícios, isto é, 25% adotaram projeto de produção do revestimento cerâmico.

Diversos pesquisadores estudaram o fenômeno do descolamento em revestimentos cerâmicos e atribuíram as causas mais importantes à:

- ✓ Medeiros (2000) *apud* Just (2001): ausência de juntas de movimentação, preenchimento deficiente do tardo com argamassa colante e inadequada especificação deste material;
- ✓ Campante e Sabbatini (2000): ausência de juntas de movimentação, especificação inadequada da placa cerâmica e da argamassa colante e falhas de preenchimento.

Na presente análise, as principais causas geradoras dos descolamentos com fatores relacionados à origem construtiva, encontram-se relacionadas no Gráfico 8.

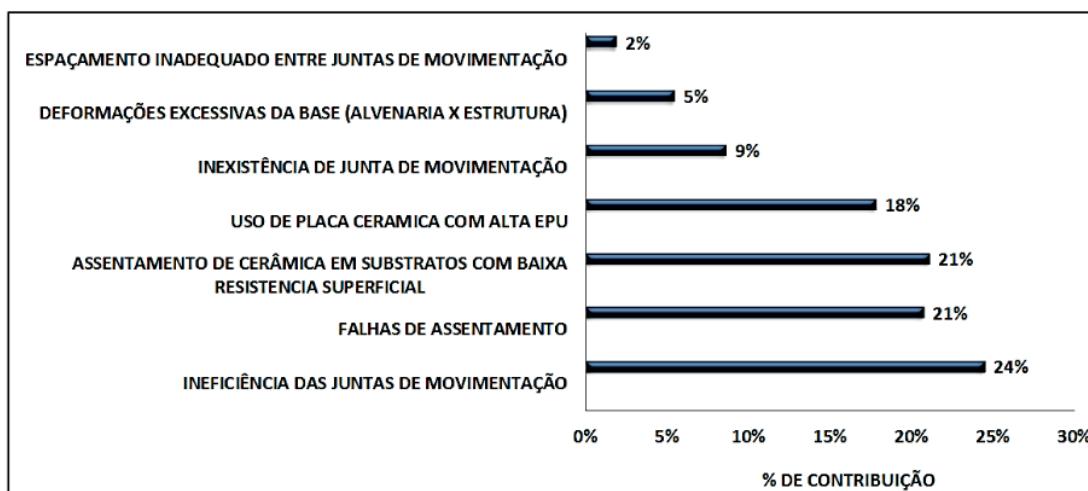


Gráfico 8. Percentual de contribuição dos fatores dos descolamentos de origem construtiva, em revestimentos cerâmicos das fachadas nos edifícios da amostra.

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

## 4 | COMENTÁRIOS SOBRE OS PRINCIPAIS FATORES DOS DESCOLAMENTOS

Quanto às **juntas de movimentação**, observou-se que os principais aspectos quanto à sua ineficiência são: a não observação do fator de forma do selante, ou seja, a relação de proporção entre largura e profundidade que o selante deve apresentar após ser aplicado, em alguns casos apresentando selamento muito superficial e, em outros, apresentando espessura variável pela ausência dos delimitadores de profundidade ou pela instalação inadequada dos mesmos, portanto sem condições de suportar as tensões as quais são submetidas e com risco de se romperem e tornarem-se pontos de infiltrações. O projeto de produção do revestimento de fachada deve conter o dimensionamento das juntas de movimentação: largura e profundidade do corte e profundidade do selante. No processo de execução, verifica-se que um diferencial seria a utilização de um gabarito com as dimensões do selante a ser aplicado que pode ser confeccionado em madeira (BELTRAME e LOH, 2009).

Quanto à questão da **baixa resistência superficial da camada do emboço**, este é um dos principais problemas, quanto à resistência mecânica, nos revestimentos argamassados e prejudica a fixação das camadas de acabamento (CARASEK, 2010). O emboço com baixa resistência superficial é caracterizado por uma superfície pulverulenta, isto é, que se desagrega com facilidade. Segundo Alves (2009) e Just (2001), os principais fatores ligados à baixa resistência superficial da argamassa são dosagem inadequada da argamassa (traço pobre em cimento, agregados excessivamente finos e contendo argilominerais, alto teor de ar incorporado) e desempeno inadequado da argamassa de emboço (substrato). O projeto de produção do revestimento de fachada deve conter a especificação do emboço, considerando, principalmente, a rigidez (módulo de elasticidade), a resistência mecânica e a resistência de aderência superficial, cujo ensaio foi normalizado na revisão da NBR 13755 (ABNT, 2017), que estabeleceu limite mínimo de 0,5 MPa.

Quanto às **fallas de assentamento das placas cerâmicas** utilizando argamassa colante, os principais aspectos observados são: preenchimento deficiente do tardo das placas cerâmicas, não observação da técnica de dupla colagem (no caso de tardo com reentrâncias superiores a 1 mm e placas com áreas iguais ou superiores a 400 cm<sup>2</sup>) e o não esmagamento dos cordões de argamassa colante, podendo ter sido causado tanto por falha no procedimento de assentamento quanto pelo desrespeito ao tempo em aberto da argamassa colante. Neste sentido, recomenda-se a execução de teste prático para determinar o tempo em aberto da argamassa colante nas condições da obra e realizar treinamento dos assentadores, observando a desempenadeira adequada a ser utilizada e seu correto manuseio – altura dos cordões (devido a influência destes fatores na espessura da camada de argamassa colante), a forma de aplicação da argamassa colante no substrato - grau

de inclinação da desempenadeira, e a forma de aplicação da placa cerâmica para que seja garantida a adequada quebra dos cordões, conforme procedimentos da NBR 13755 (ABNT, 1996). Na Figura 1, imagens de algumas das manifestações patológicas encontradas nos revestimentos cerâmicos de fachadas por falhas de assentamento.

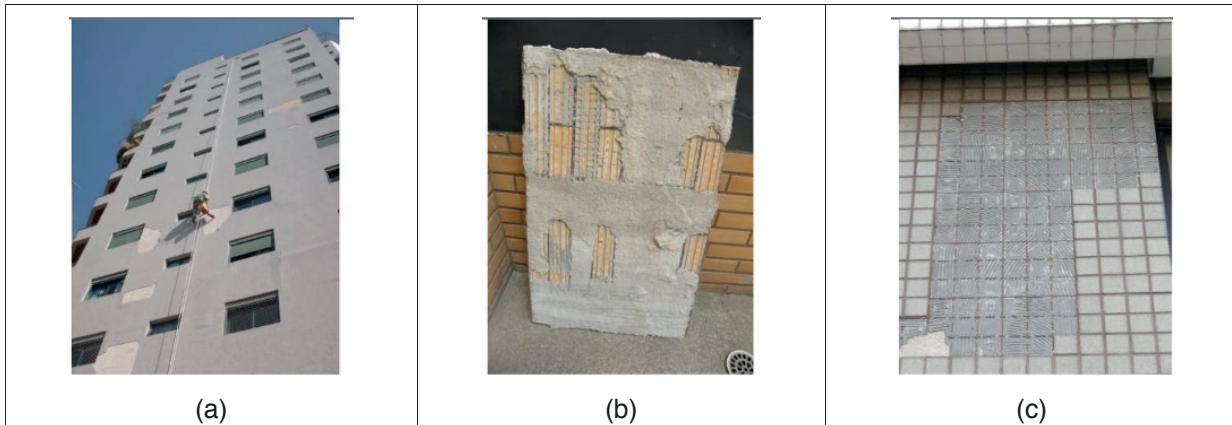


Figura 1 – (a) Vista geral da fachada do edifício “JA” com áreas de descolamento; (b) vista detalhada do tardoz de placas cerâmicas descoladas de fachada do edifício “H” evidenciado por falhas de assentamento; (c) vista detalhada de trecho de fachada do edifício “I” com descolamento de revestimento cerâmico, evidenciado por falhas de assentamento.

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Quanto à **Expansão por Umidade (EPU) das placas cerâmicas** para fachadas, observou-se que dos 11 edifícios que apresentaram cerâmica com EPU ocorrida superior à 0,6 mm/m (limite considerado na ABNT NBR 13818), 06 (55%) apresentaram falhas de assentamento das placas cerâmicas e 05 (45%) apresentaram emboço com baixa resistência superficial, indicando que este também é um fator de contribuição para o descolamento no caso de placas cerâmicas com alta EPU. O projeto de produção do revestimento de fachada deve conter a especificação da EPU da placa cerâmica, porém, a referência estabelecida pela norma não é consenso entre alguns consultores. Segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997) “*a maioria das placas cerâmicas tem EPU negligenciável, a qual não contribui para os problemas dos revestimentos quando corretamente fixados (instalados). Porém, com fixação insatisfatória, se a EPU > 0,6 mm/m, esta pode contribuir para os problemas*”. No entanto, existem recomendações mais rigorosas quanto aos limites de EPU para placas cerâmicas em fachadas, tal como a do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC), cuja recomendação é adotar EPU de até 0,1 mm/m (LUCAS, 2003).

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo constatou-se que os descolamentos de revestimentos cerâmicos se constituem na anomalia predominante nas fachadas analisadas,

representando 95% das áreas com problemas. Quanto aos fatores que os influenciaram, constatou-se que os de origem construtiva são preponderantes aos de origem adquirida, influenciando 67% do total das áreas com descolamento, ratificando os principais fatores de influência identificados por Medeiros (1999) e Just (2001) – projeto e execução. As fachadas que apresentaram descolamentos com influência maior dos fatores de origem construtiva (Grupo 1) apresentam, em média, áreas de descolamento 32% maiores que as fachadas com influência maior dos fatores de origem adquirida (Grupo 2), resultado esse influenciado, principalmente, pela utilização de peças de formatos maiores, falta de domínio do processo de produção utilizando argamassa colante e por submeter o revestimento a esforços de serviço precocemente.

Os principais fatores, de origem construtiva, geradores dos descolamentos identificados nas fachadas dos edifícios da amostra estudada são: ineficiência das juntas de movimentação, falhas de assentamento das placas cerâmicas, assentamento de cerâmica sobre substratos com baixa resistência superficial e uso de placas cerâmicas com EPU superior a 0,6 mm/m. Comparando com as principais causas apontadas por outros pesquisadores, abordadas anteriormente, pode-se dizer que nos últimos 15 anos houve avanço somente no sentido da adoção das juntas de movimentação nas fachadas, porém, estas têm sido executadas de forma incorreta, o que muitas vezes contribui, até mesmo, para acelerar o processo de descolamento.

Estas considerações, além da constatação de que apenas 25% dos edifícios levantados neste estudo que foram construídos após 1999 possuem projeto de produção do revestimento de fachada, evidenciam que ainda não é prática do mercado a contratação do mesmo, e que ainda há extrema carência de conhecimento do processo de produção deste tipo de tecnologia por parte dos diversos agentes envolvidos, contribuindo para o aumento do surgimento das manifestações patológicas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013. 11p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996. 11p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13755**. Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação. Rio de Janeiro, 2017. 57p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13818**. Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio –. Rio de Janeiro, 1997. 78p.

ALVES, A. S. **Estudo da propriedade resistência superficial em revestimentos de argamassa.** Dissertação (Mestrado). 159p. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2009.

ANFACER. **A Indústria Brasileira de Cerâmica para Revestimento.** Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/brasil>>. Acesso em: 01 de set 2019.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades.** Brasília: LEM-UnB/Sinduscon-DF, 2005. Disponível em: <<http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2017

BELTRAME, F. R.; LOH, K. (Organizadores) **Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas. Recomendações técnicas Habitare**, v. 5. Porto Alegre: ANTAC, 2009.

CAMPANTE, E.F.; BAÍA, L.L.M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2003. 104p. Coleção Primeiros Passos da Qualidade no Canteiro de Obras.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA, G.C. (Organizador/Editor) São Paulo: IBRACON, 2010.

COSTA, M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado e o seu comportamento reológico.** In: VI SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2009.

ESQUIVEL, J.F.T.; BARROS, M.M.S.B.; SIMÕES, J.R.L. **A escolha do revestimento de fachada de edifícios influenciada pela ocorrência de problemas patológicos.** In: Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones – Conpat BR44. 2001.

JUST, A. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade de Recife.** Dissertação (Mestrado). 255p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

LUCAS, J. C. **Azulejos ou ladrilhos cerâmicos.** Descrição Geral, exigências normativas, classificação funcional. ITMC-33. Lisboa, LNEC, 2003.

MEDEIROS, J.S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios.** Tese (Doutorado). 458p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

RIBEIRO, F.A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas: Levantamento do Estado da Arte.** Dissertação (Mestrado). 158p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

SILVESTRE, J.; BRITO, J. de. **Classificação de anomalias em sistemas de revestimentos cerâmicos aderentes.** Atas do Congresso “Construção 2004”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/profile/Jorge\\_Brito5/publication/283516637\\_Classificacao\\_de\\_Anomalias\\_em\\_Sistemas\\_de\\_Revestimentos\\_Ceramicos\\_Aderentes/links/563d086e08ae8d65c0117b2e.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Brito5/publication/283516637_Classificacao_de_Anomalias_em_Sistemas_de_Revestimentos_Ceramicos_Aderentes/links/563d086e08ae8d65c0117b2e.pdf)> Acesso em: 01.set.2019.

SILVESTRE, J. **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes.** Dissertação (Mestrado). 190p. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2005.

## COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS DO *Eucalyptus urograndis*: CORPOS DE PROVA ISENTOS DE DEFEITOS X PEÇAS ESTRUTURAIS

Data de aceite: 25/11/2019

**Fabiana Yukiko Moritani**

Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP)

São Carlos – SP

**Carlito Calil Junior**

Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP)

São Carlos – SP

**RESUMO:** A norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 apresenta métodos de ensaios para caracterização de resistência da madeira a partir de corpos de prova isentos de defeitos e de pequenas dimensões, porém isso não representa peças com dimensões que são comercializadas para uso estrutural. O projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2016 apresenta métodos de ensaios para caracterização de resistência de peças estruturais de madeira na incidência dos defeitos de crescimento e de secagem. O objetivo deste trabalho foi a comparação dos valores de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de *Eucalyptus urograndis* segundo a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 e o projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2016. Os ensaios

de cisalhamento paralelo às fibras foram realizados no LaMEM (Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira), do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), localizado na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Os resultados obtidos mostraram uma grande variação entre os valores de resistência ao cisalhamento para cada método de ensaio e a importância do uso da caracterização de peças estruturais para madeiras de florestas plantadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cisalhamento; Madeira de florestas plantadas; Peças estruturais; Corpos de prova isentos de defeitos.

**COMPARISON OF SHEAR STRENGTH PARALLEL TO THE GRAIN OF *Eucalyptus urograndis*: CLEAR SPECIMENS X STRUCTURAL TIMBERS**

**ABSTRACT:** The Brazilian standard ABNT NBR 7190: 1997 presented methods for strength characterization of wood from small clear specimens, although this do not take account of pieces with dimensions that are commercialized for structural purpose. In the other hand, the Brazilian Standard Draft ABNT PNBR ISO 13910 – 02: 126.10-001-3: 2016 presented strength characterization methods for structural timber pieces, considering growth and drying defects. Therefore, our goal was determine the

shear parallel to the grain to *Eucalyptus urograndis* following the Brazilian standard ABNT NBR 7190: 1997 and the Brazilian Standard Draft ABNT PNBR ISO 13910 – 02: 126.10-001-3: 2016. In addition, we compared the strength values in each test methods. The tests was developed in Wood and Timber Structures Laboratory (LaMEM) at School of Engineering of São Carlos (EESC-USP). The results presented a wide variation between the shear values for each tested methods and the importance of strength characterization for timber member from planted forests.

**KEYWORDS:** Shear, wood from planted forests; structural timbers; small clear specimens.

## 1 | INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo e existem diversas espécies com propriedades físicas e mecânicas distintas. As características da madeira são influenciadas por diversos fatores que podem se diferenciar de uma árvore para a outra mesmo que sejam de uma mesma espécie, dentre esses fatores, as condições climáticas, a umidade do solo e o tipo de manejo a ser aplicado provocam diferenças na espessura das camadas de crescimento, geometria dos anéis, nível de lenhificação das paredes dos elementos anatômicos, nodosidade e inclinação da grã (CALIL JUNIOR, LAHR e DIAS, 2003). Assim, para o melhor aproveitamento do material a ser empregado a caracterização da espécie se faz necessária, cujo procedimento e a aplicação em elementos estruturais são normalizados nos anexos da norma brasileira para Projetos de Estruturas de Madeira ABNT NBR 7190: 1997.

Atualmente, a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 apresenta procedimentos de ensaio para a caracterização de espécies de madeira para corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos. Porém, as peças de madeira que são comercializadas para uso em elementos estruturais apresentam imperfeições e características próprias do crescimento da madeira. Dessa forma, a comissão técnica responsável pela proposição e revisão da norma de estruturas de madeira da Associação Brasileira de Normas Técnicas tem realizado diversos estudos dos procedimentos de ensaios apresentados por normas internacionais e estrangeiras para definir modelos mais representativos das propriedades mecânicas da madeira (MATOS e MOLINA, 2016).

Diversos trabalhos identificaram o problema que surge no corpo de prova isento de defeitos, proposto pelas normas brasileira ABNT NBR 7090: 1997 e a ASTM D143-09, devido a assimetria e o surgimento de excentricidade causando concentrações de tensões. Pela análise numérica do corpo de prova isento de defeitos apresentada por Santos Neto (1998), verificou-se que a distribuição de tensões de cisalhamento ao longo da seção crítica não é constante, e que a tensão máxima não ocorre na

seção crítica onde foi induzida a ruptura, e sim, em um plano à direita dessa seção. Foram observados ainda, concentrações de tensões normais na região do apoio e do carregamento, como esperado, porém surgiram também tensões normais significativas de tração na região superior e de compressão na região inferior por apresentar excentricidade do carregamento. Dessa forma, esperava-se que a ruptura ocorresse pela combinação de efeitos gerados pelas tensões de cisalhamento e tensões normais de tração.

Já o procedimento de ensaio para peças estruturais, segundo o projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2016 e a norma internacional ISO 13910: 2005, a determinação da resistência ao cisalhamento é realizada pelo ensaio de flexão de uma viga biapoiada e uma carga concentrada no meio do vão, com modos de ruptura dada por tensões normais e tensões de cisalhamento.

Santos (2016) realizou a comparação entre os diferentes métodos de ensaios para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, dentre eles a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997, a norma internacional ISO 13910: 2005 e EUROCODE EN 408: 2010. Ainda de acordo com o mesmo autor, foi possível realizar somente os ensaios da norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 e da norma internacional ISO 13910: 2005. Houve dificuldade na colagem dos corpos de prova seguindo a EUROCODE EN 408: 2010, não sendo possível concluir este ensaio. De acordo com os resultados obtidos, os corpos de prova que seguiram a norma brasileira apresentaram resultados duas vezes superiores em relação aos corpos de prova ensaiados pela norma internacional.

Dentre outros trabalhos relacionados a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras podem ser citados: Hara et al. (2014), Gupta e Sinha (2012), Brand et al. (2004), Sretenovic et al. (2004), Yoshihara e Furushima (2003), Liu (1983) Bodig e Jayne (1982).

O objetivo deste estudo foi a comparação dos resultados obtidos por dois métodos de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras nas peças de madeira e avaliar a representatividade em elementos estruturais nas três classes visuais de resistência. O primeiro método é proposto pela norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 que são para corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos. O segundo método é proposto pelo projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2016 para peças dimensões comerciais de uso estrutural.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar as classes de resistência para o *Eucalyptus urograndis*, foi

realizada a classificação visual e mecânica das peças estruturais. A classificação visual das peças estruturais de *Eucalyptus urograndis* foi realizada com base na revisão da norma argentina IRAM 9662-2: 2013, Parte 2: Tablas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Para isso, foram realizadas medições dos defeitos decorrentes dos processos de secagem, de crescimento da árvore e do processamento industrial da peça, sendo eles: fissuras passantes, fissuras não passantes, encurvamento, arqueamento, torcimento, encanoamento e esmoado.

Na classificação mecânica foi realizado o ensaio de vibração transversal utilizando o modelo 340 da Metriguard para a medição da frequência natural e o peso, e então obter o módulo de elasticidade dinâmico de cada peça.

O ensaio de cisalhamento paralelo às fibras para peças estruturais seguiu o projeto da norma ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016) e para cisalhamento puro com corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos seguiu a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997.

Foram extraídos 47 corpos de prova para o ensaio em peças estruturais e o esquema do ensaio de cisalhamento paralela às fibras é mostrado nas Figuras 1 e 2. Os corpos de prova foram solicitados a flexão, com dois pontos de apoio e a carga aplicada no meio do vão, na qual foi aumentada até a ruptura do corpo de prova. Nos pontos de apoio e da carga aplicada foram utilizadas placas de aço de 90 mm de comprimento.

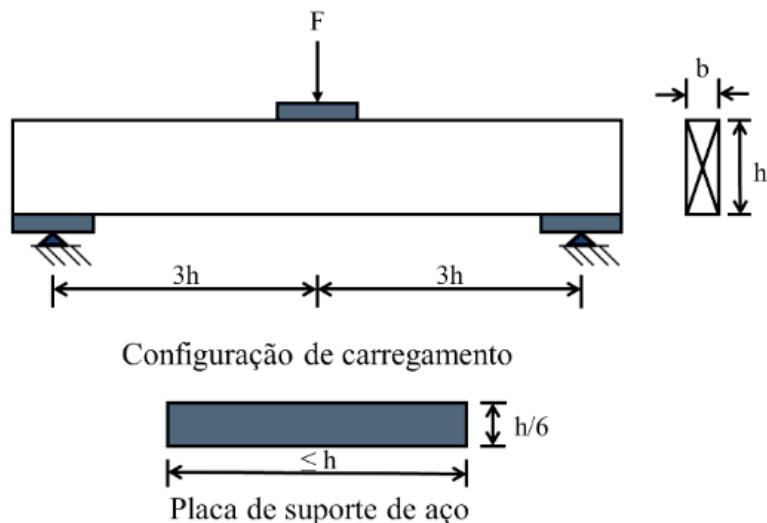


Figura 1 - Esquema de ensaio para medir a resistência ao cisalhamento paralela às fibras segundo a ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016)

Fonte: Adaptado ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016).



Figura 2 - Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras segundo a norma ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016)

Fonte: Autoria própria.

De acordo com o projeto de norma ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016), alguns modos de ruptura podem não apresentar o de cisalhamento por exemplo, a flexão ou a compressão normal às fibras. Porém, todos os resultados foram anotados e utilizados para avaliar a resistência ao cisalhamento. A Equação (1) resultou no valor nominal da resistência ao cisalhamento, com a normalização da capacidade do corpo de prova.

$$f_v = \frac{0,75 \cdot F_{ult}}{b \cdot h} \quad (1)$$

Sendo,  $f_v$  (MPa): resistência ao cisalhamento paralela às fibras,  $F_{ult}$  (N): carga última de ruptura,  $h$  (m): altura da seção transversal e  $b$  (m): base da seção transversal.

Para a determinação dos valores característicos de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras para cada classe visual de resistência foi utilizado o método que consta no item 9.2.2 do projeto de norma brasileira ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016).

Foram extraídos 76 corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos para o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras seguindo a norma brasileira ABNT NBR 7190. O esquema do corpo de prova e do ensaio são representados nas Figuras 3 e 4. A carga aplicada foi solicitada na área resistente ao cisalhamento e aumentada até a ruptura do corpo de prova.

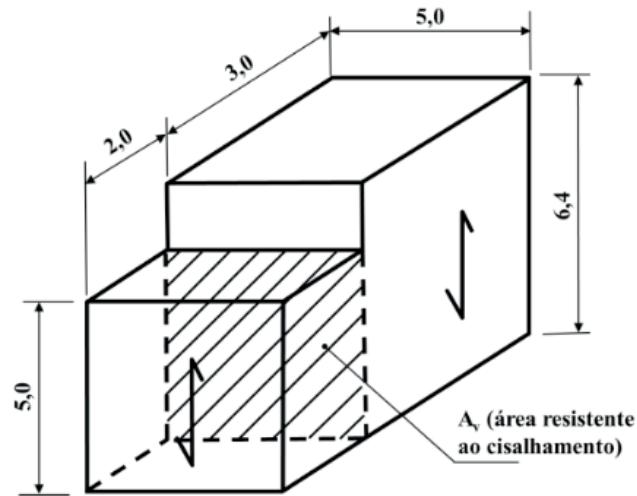


Figura 3 – Corpo de prova do ensaio ao cisalhamento paralelo às fibras segundo a norma ABNT NBR 7190:1997

Fonte: ABNT NBR 7190: 1997



Figura 4 - Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras segundo a norma ABNT NBR 7190: 1997

Fonte: Autoria própria.

Segundo a norma ABNT NBR 7190: 1997, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ( $f_{vv0}$  e  $f_{v0}$ ) foi dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo de prova, e foi calculada pela Equação (2):

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,\text{máx}}}{A_{v0}} \quad (2)$$

Sendo,  $f_{v0}$  (MPa): resistência ao cisalhamento paralelo às fibras,  $F_{v0,\text{máx}}$  (N): máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova,  $A_{v0}$  ( $m^2$ ): área inicial da seção crítica, em um plano paralelo às fibras.

O valor característico da resistência, segundo a norma brasileira ABNT NBR

7190: 1997, foi determinada pela Equação (3):

$$f_{wk} = \left( 2 \cdot \frac{\frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}}}{\frac{n}{2} - 1} \right) \cdot 1,1 \quad (3)$$

Sendo  $f_{wk}$  (MPa): valor característico de resistência,  $f_1, f_2, \dots, f_n$  (MPa): resistência ao cisalhamento de cada corpo de prova ensaiado,  $n$ : número de corpos de prova. Os valores das resistências ao cisalhamento obtidos pelo ensaio foram colocados em ordem crescente  $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$ . Desprezando o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar e não tomando o valor  $f_{wk}$  inferior a  $f_1$ , nem a 0,70 do valor médio.

Todos ensaios foram realizados no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), localizado na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os resultados da classificação visual e mecânica, o lote de *Eucalyptus urograndis* foi separado em três classes visuais de resistência (Classe 1, Classe 2 e Classe 3). A estatística descritiva dos resultados do ensaio de cisalhamento paralelo às fibras segundo as duas normas propostas do lote ensaiado é apresentada na Tabela 1 e a estatística descritiva dos corpos de prova para cada classe visual de resistência é apresentada na Tabela 2.

Parâmetros	Peças estruturais	Isentos de defeitos
Média (MPa)	5,16	11,92
Desvio padrão (MPa)	1,30	2,38
Coeficiente de variação (%)	25,22%	19,99%
Valor máximo (MPa)	8,44	16,24
Valor mínimo (MPa)	2,70	4,15
Nº de CP	47	74

Tabela 1 - Estatística descritiva da resistência ao cisalhamento não considerando a classificação visual

Parâmetros	Peças estruturais			Isentos de defeitos		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Média (MPa)	6,05	5,72	4,61	13,99	12,19	11,40
Desvio padrão (MPa)	1,39	1,32	1,03	1,57	1,55	2,63
Coeficiente de variação (%)	22,90%	23,14%	22,35%	11,20%	12,75%	23,11%
Valor máximo (MPa)	7,34	8,44	6,40	16,24	15,05	16,06
Valor mínimo (MPa)	3,91	3,09	2,70	12,33	9,62	4,15
Nº de CP	5	17	25	8	22	44
Valor característico (MPa)	2,40	2,58	2,36	13,02	11,52	10,05

Tabela 2 – Estatística descritiva da resistência ao cisalhamento para cada classe visual de resistência

Pode-se observar a variabilidade dos resultados de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras pelo valor do coeficiente de variação calculado. Para os ensaios em corpos de prova para peças estruturais obteve-se o coeficiente de variação igual a 25,22%, no qual é maior do que o coeficiente de variação encontrado para os corpos de prova isentos de defeitos e de pequenas dimensões, que foi igual a 19,99%.

Os resultados expressados na Tabela 1 indicam uma grande diferença entre os valores máximos e mínimos. Dentre os valores de resistência para corpos de prova isentos de defeitos, o maior valor (16,24 MPa) corresponde a Classe 1 e o menor valor (4,15 MPa), a Classe 3, o que foi o esperado. Porém para os corpos de prova de peças estruturais o mesmo não ocorreu, o maior valor (8,44 MPa) corresponde a Classe 2, enquanto que o menor valor (2,70 MPa) pertence a Classe 3.

A comparação entre as resistências ao cisalhamento paralelo às fibras de acordo com cada norma, e para cada classe visual de resistência, é apresentada pelos gráficos Boxplot da Figura 5. Os números 1, 2 e 3, representam os corpos de prova das peças estruturais da Classe 1, Classe 2 e Classe 3, respectivamente, enquanto que para os corpos de prova isentos de defeitos a Classe 1, Classe 2 e Classe 3 são representados pelos números 4, 5 e 6, respectivamente.

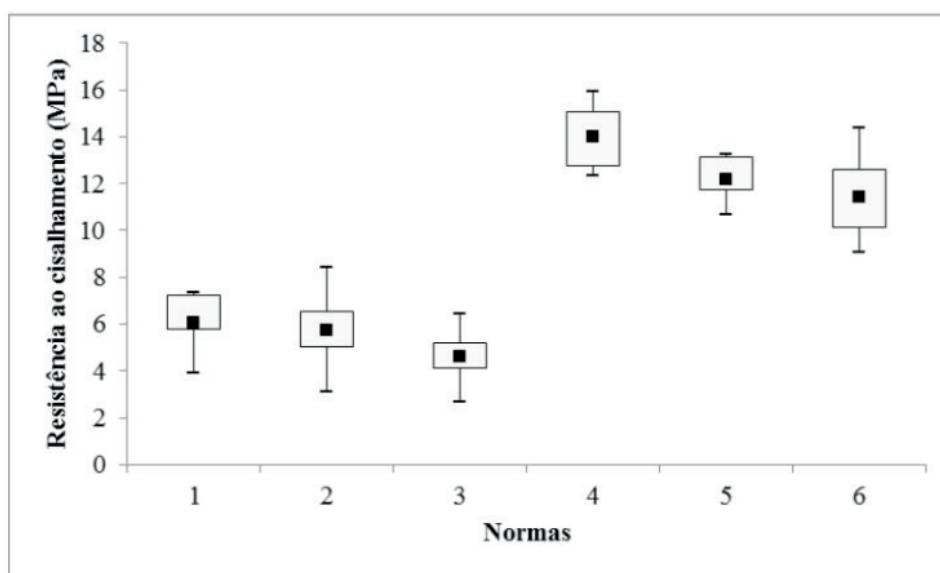


Figura 5 - Boxplot para análise das resistências ao cisalhamento paralela às fibras para cada norma e três classes visuais de resistência

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 6 é apresentada a comparação entre as resistências ao cisalhamento paralelo às fibras do lote de acordo com cada norma. O número 1 representa o grupo de corpos de prova ensaiados pelo projeto de norma brasileira ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3 (2016), e o número 2 representa o grupo de corpos de prova ensaiados pela norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997.

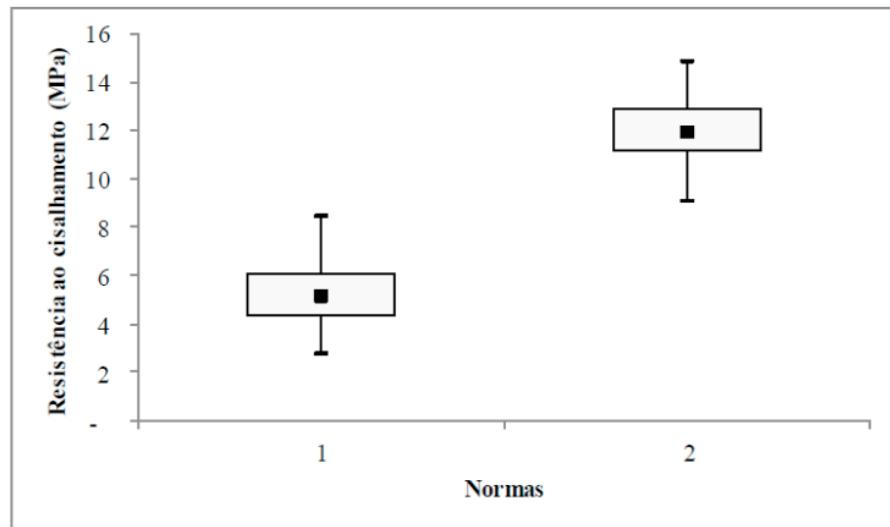


Figura 6 - Boxplot para a análise da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras para cada norma

Fonte: Autoria própria.

Pelos gráficos Boxplot da Figura 5, é possível analisar a distribuição dos resultados obtidos para a resistência ao cisalhamento. De modo geral, a dispersão dos dados não foi uniforme para as três classes visuais de resistência em ambos os métodos de ensaio. Ao contrário do que se pode observar na Figura 6, a distribuição dos dados para ambos os métodos de ensaio, considerando o lote inteiro de corpos de prova, é uniforme.

O número de ocorrências de ruptura por tensões normais na flexão e por tensões de cisalhamento foram quantificados e apresentados na Tabela 3. Nas Figuras 7 e 8 são ilustrados a ruptura por cisalhamento e flexão, respectivamente. A Figura 9, apresenta a ruptura por cisalhamento puro.

Modo de ruptura	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total	%
Cisalhamento	2	7	12	21	45%
Flexão	3	10	13	26	55%

Tabela 3 - Modos de ruptura dos corpos de provas para peças estruturais



Figura 7 - Ruptura por cisalhamento

Fonte: Autoria própria.



Figura 8 - Ruptura por flexão

Fonte: Autoria própria.



Figura 9 - Ruptura por cisalhamento puro

Fonte: Autoria própria.

Entre os corpos de prova de peças estruturais, a ruptura ocorreu de dois modos: por tensões normais de tração na flexão no meio do vão e nas fibras inferiores, e por tensões de cisalhamento na flexão ao longo do comprimento da peça, criando um corte próximo a linha neutra da seção. Como observado na Tabela 3, houve maior ocorrência de ruptura por tensões normais de tração pela flexão, porém todos os valores de força última obtidos no ensaio foram considerados para o cálculo da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Para os corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos, as rupturas ocorreram na seção crítica de cisalhamento ou próxima a ela deslocada à direita, como mostrada na Figura 9.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras com corpos de prova isentos de defeitos mostraram valores superiores aos resultados com corpos

de prova de peças estruturais, com uma diferença de 56,71%. Essa diferença já foi confirmada em trabalhos anteriores.

De acordo com os resultados para cada classe visual de resistência, nenhum dos dois métodos analisados apresentaram boa distribuição dos seus dados, indicando que a influência das características visuais de cada peça de *Eucalyptus urograndis* não foi significativa para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do lote analisado.

O modo de ruptura apresentado pelos corpos de prova isentos de defeitos e de pequenas dimensões se deu por cisalhamento puro, cujo valor da resistência ao cisalhamento foi elevado em relação aos corpos de prova de peças estruturais, em que a ruptura se deu por cisalhamento ou por tração na flexão.

É possível verificar que pela norma europeia EN 338: 2014 a resistência ao cisalhamento para as classes de resistência do *Eucalyptus urograndis* é de 4 N/mm<sup>2</sup> e pela norma internacional ISO 16598: 2014, esse valor varia entre 3 e 4,5 MPa.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/97**: projeto de estruturas de madeira, 1997.

ABNT PN ISO 13910 - 02:126.10-0001-3: Ensaio de caracterização de peças estruturais de madeira. Rio de Janeiro: 2016 (Aprovada).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM D143-09**: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken, PA, 2009.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Florida: Krieger Publishing Company, 1982.

BRAND, et al. Ensaio Experimental de Espécies do Gênero Pinus – Avaliação das Propriedades Mecânicas da Madeira. In: **III Encontro de Ciência e Tecnologia**. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2004.

CALIL JUNIOR, C. C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri: Manole, 2003.

EUROPEAN STANDARD **EN338**: (Draft). Structural timber – Strength classes. Brussels, 2012.

EN408: Structural timber and glued laminated timber: Determination of some physical and

mechanical properties. Brussels, 2010.

GUPTA, R.; SINHA, A. Effect of grain angle on shear strength of Douglas-fir wood. **Holzforschung**, v. 66, p. 655–658, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **DIS/ISO 13910**: Timber structures – Structural classification for sawn timber (Draft). Switzerland, 2014.

\_\_\_\_\_ **ISO 13910**: Structural timber – Characteristic values of strength-graded timber – Sampling full-size testing and evaluation. Switzerland, 2005.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **IRAM 9662-2**: Madera laminada encolada estructural: Clasificación visual de las tablas por resistência: Parte 2 - Tablas de eucalipto grandis (Eucalyptus grandis). Buenos Aires, 2013.

LIU, J. Y. New shear strength test for solid wood. **Wood and Fiber Science**. v.16. n.4. p 567-574, 1983.

HARA, M. M. et al. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforços induzidos por punctionamento, **Revista Engenharia e Construção Civil**, v. 1, n. 2, p. 40-54, jul./dez, 2014.

MATOS, G. S.; MOLINA, J. C. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190: 1997 e ISO 13910: 2005. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p 1069-1079, 2016.

SANTOS, C. V. F. **Método de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento em elementos estruturais de madeira de Pinus spp.** 2016. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SANTOS NETO, A. B. S. **Proposta de ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.** São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SRETENOVIC, A. et al. New shear assay for the simultaneous determination of shear strength and shear modulus in solid wood: finite element modeling and experimental results. **Wood and Fiber Science**. v.36. n.3. p 302-310, 2004.

YOSHIHARA, H. FURUSHIMA, T. Shear strengths of wood measured by various short beam shear test methods. **Wood Science and Technology**. v. 37. p. 189-197, 2003.

## CROSS LAMINATED TIMBER VS CONCRETO: RESISTÊNCIA MECÂNICA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E DENSIDADE

Data de aceite: 25/11/2019

**Aliane Cardoso de Almeida**

UNESP (Universidade Estadual do Estado de São Paulo),  
Itapeva – São Paulo

**Rafaele Almeida Munis**

UNESP (Universidade Estadual do Estado de São Paulo),  
Botucatu – São Paulo

**Jessé Salles Lara**

FAIT (Faculdade de Itapeva),  
Itapeva – São Paulo

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre o CLT - *Cross Laminated Timber* e o concreto, a partir de teste mecânico de compressão paralela às fibras e teste físico de densidade em ambos os materiais. Para tal, foram confeccionados 24 corpos de prova de CLT utilizando madeira de *Pinus ssp*, em função de no Brasil não existir uma norma de caracterização física e mecânica da madeira de CLT, o trabalho foi baseado segundo a NBR-7190/1997 que trata de estruturas de madeira. Para os ensaios do concreto, foram utilizados 20 corpos de prova e tanto a preparação quanto os ensaios foram baseados nas normas NBR-5738/2003 e NBR-5739/2003 que tratam respectivamente do

procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova e ensaio de compressão paralela às fibras de corpo de prova cilíndrico. A partir dos ensaios realizados foi verificado que para a análise de compressão paralela às fibras houve uma diferença significativa entre o concreto e o CLT, sendo que a média apresentada pelo concreto foi de 33,31 MPa e de 19,83 MPa pelo CLT. Essa diferença também se apresentou após a análise de densidade, onde o CLT obteve um resultado inferior em comparação ao concreto, sendo que a média apresentada pelo CLT foi de 455,45 kg/m<sup>3</sup> e pelo concreto foi de 572,91 kg/m<sup>3</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** CLT, concreto, construção civil, comparação.

**CROSS LAMINATED TIMBER VS CONCRETE: MECHANICAL RESISTANCE TO PARALLEL COMPRESSION TO FIBERS AND DENSITY**

**ABSTRACT:** The present work aims to perform a comparative analysis between the CLT - *Cross Laminated Timber* and the concrete, from mechanical compression test and physical density test in both materials. To that end, 24 test specimens of CLT were made using *Pinus ssp* wood, because in Brazil there is no standard for the physical and mechanical characterization of CLT wood, the work was based on the NBR-

7190/1997 that deals with timber structures. For the concrete tests, 20 specimens were used and both the preparation and the tests were based on standards NBR-5738/2003 and NBR-5739/2003 which deal respectively with the procedure of molding and curing of specimens and test of compression of cylindrical specimen. From the tests performed it was verified that for the compression analysis there was a significant difference between the concrete and the CLT, and the average presented by the concrete was of 33.31 MPa and of 19.83 MPa by the CLT. This difference also occurred after the density analysis, where the CLT obtained a lower result in comparison to the concrete, with the average presented by the CLT was 455.45 kg / m<sup>3</sup> and the concrete was 572.91 kg / m<sup>3</sup>.

**KEYWORDS:** CLT, concrete, civil construction, comparison.

## 1 | INTRODUÇÃO

O uso da madeira na construção civil tanto em âmbito nacional e internacional vem crescendo, graças as suas características como resistência, boa trabalhabilidade, estética e principalmente por tornar as construções mais limpas e sustentáveis, reduzindo entulhos e resíduos que são um grande problema ao setor.

Para o uso na construção civil, pode-se destacar as madeiras chamadas “engenheiradas”, que recebem esse nome em função de serem fruto de processos industriais para a otimização do seu uso na construção. Entre elas, o CLT, cross laminated timber ou madeira laminada cruzada (Figura 1), que basicamente é a constituição de camadas de lâminas coladas cruzadas. O CLT é fabricado em painéis e muito utilizado em paredes, forros e pisos na construção civil. Cada painel é formado de no mínimo três lâminas coladas e cruzadas entre si.



Figura 1: Amostra de CLT.

Fonte: Autor (2016)

Uma das grandes vantagens desse tipo de tecnologia é que o CLT pode ser fabricado com todas as classes de qualidade da madeira, ou seja, há melhor aproveitamento. Estudando mais a fundo suas vantagens e aplicações, pode-se observar que a madeira é o símbolo da sociedade moderna. Em função disso é

de suma importância o estudo aprofundado de suas tecnologias visando buscar melhores técnicas sustentáveis, econômicas e sociais.

Por outro lado, pode-se destacar o uso do concreto na construção civil, que é o método mais utilizado atualmente no Brasil. O concreto (Figura 2) apresenta-se como um material de alta resistência a compressão paralela às fibras, e também não exige mão de obra especializada, porém na questão sustentável deixa a desejar por consumir uma quantidade relativamente alta de energia em seu processo de fabricação.



Figura 2: Amostra de concreto.

Fonte: Autor (2016)

## 2 | REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CLT (Cross Laminated Timber)

A madeira lamelada colada cruzada é um material que nasceu em Zurique, Suíça, em 1990, mas foi desenvolvido posteriormente na Áustria através da cooperação entre a indústria e a universidade. Uma das empresas pioneiras no fabrico de CLT foi a empresa austríaca, KLH, fundada por Heimo de Monte e Wolfgang Weirer, em 1998 (Da costa, 2013)

Segundo Da Costa (2013) o CLT é baseado no mesmo conceito de colagem de várias camadas de tábuas (lamelas) de madeira utilizado na produção de madeira lamelada colada (MLC), mas que, no caso do CLT, cola camadas sucessivas com tábuas dispostas ortogonalmente (Figura 3).

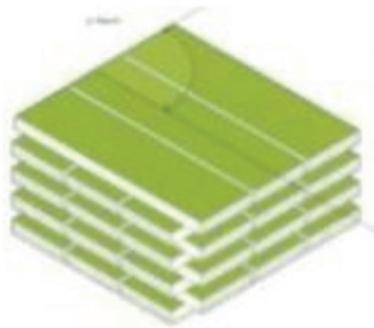


Figura 3: Disposição das lamelas

Fonte: Da Costa (2013)

Como as laminas são coladas com as fibras intercaladas, as características mecânicas deste material ficam homogeneizadas. O painel tem normalmente 3 a 7 camadas, tendo como regra que as camadas devem ser em número ímpar (Cunha et al., 2012).

Pereira (2014) O CLT (Cross Laminated Timber) é utilizado como elemento estrutural principal em edificações térreas e multi pavimentos por ter características estruturais semelhantes ao concreto armado.

### *2.1.2 Processo de fabricação do CLT*

Conforme Da Costa (2013) o processo de Fabricação do painel de CLT pode ser resumido nas seguintes etapas:

**Matéria Prima:** Na produção de painéis, são aceites diferentes tipos de madeira, desde que as suas características respeitem os limites normativos exigidos para as características mecânicas. Os tipos de madeira aceitáveis para a produção de painéis são: pinho, eucalipto, abeto e choupo.

**Classificação:** A madeira para produção de um painel é escolhida de acordo com a exigência e papel que desempenhará no edifício, isto é, a qualidade da madeira é definida pela sua posição e exposição nos elementos da superestrutura, apresentando diferentes “qualidades de superfície”

**Colagem:** Após a colocação de várias placas de madeira, lado a lado e orientadas numa mesma direção, procede-se à colagem dessas com uma nova camada de placas semelhantes, suprajacente e com orientação perpendicular à da camada subjacente.

**Prensagem:** Após o processo de colagem dos painéis, estes são prensados a uma pressão de  $6\text{MN/m}^2$ , fazendo com que as várias camadas fiquem rigorosamente coladas, formando um painel maciço monolítico.

**Corte:** Quando os painéis são encomendados como pré-fabricação, os painéis passam CNC, sendo possível “rasgar” rigorosamente os elementos, conforme as

indicações de projeto, e diminuir os resíduos em obra, sendo estes imediatamente encaminhados em fábrica para possíveis reutilizações.

### 2.1.3 Aplicações do CLT

Segundo ReThink Wood (2015) Por causa das propriedades estruturais e estabilidade dimensional da CLT, este produto de madeira maciça é bem adequado para pisos, paredes e telhados utilizados na construção de altura média. Os painéis de parede e piso pode ser deixado exposto no interior que fornece atributos estéticos adicionais. Os painéis são usados como componentes de construção pré-fabricados que podem acelerar as práticas de construção ou permitem a construção fora do local (figura 4).



Figura 4: Aplicação de CLT

Fonte: Crosslam

## 2.2 Importância da relação entre densidade e compressão paralela às fibras

Segundo Calil Júnior *et al.* (1998), quanto maior a densidade, maior é a quantidade de madeira por volume e como consequência a resistência também aumenta.

Segundo Dias e Lahr (2004, p. 103) “a densidade é a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras destinadas à construção civil, à fabricação de chapas ou à utilização na indústria de móveis” (apud HELLMEISTER, 1982).

## 2.3 Concreto

Segundo Shehata (2005) O concreto se apresenta como uma rocha artificial formada por uma mistura de agregados graúdos, miúdo e material ligante, podendo ter ainda aditivos químicos e minerais. Os agregados são normalmente classificados por origem, tamanho, forma e textura. O material aglomerante normalmente usado no concreto estrutural é o Cimento Portland misturado com água potável. Esta mistura

inicia uma reação química cujo resultado é a formação do "Gel", o principal agente ligante.

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre aglomerante e água. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas (Almeida, 2002).

Caracteriza-se o concreto como uma mistura de pedra, areia, cimento e água, que face a hidratação do cimento, perde sua característica moldável durante a mistura e ganha forma definitiva e resistente com o passar do tempo (Botelho e Marchetti, 2013).

### *2.3.1 Aplicações do concreto*

Pode-se dizer que o concreto é o material mais utilizado e conhecido na construção civil em todo o mundo. Com o passar dos anos o concreto tem passado por várias transformações tecnológicas na sua composição, a fim de aumentar sua aplicabilidade em função da sua alta resistência e menor deformação em obras de construção civil. A figura 5 mostra algumas aplicações do concreto.



Figura 5: Aplicação de concreto

Fonte: Incopre (2015)

## **3 | MATERIAIS E MÉTODOS**

Os corpos de prova de CLT foram elaborados segundo a NBR 7190/1997 e a literatura, e os corpos de prova de concreto em formato cilíndrico foram elaborados segundo a NBR 5738/2003. Os ensaios de densidade e compressão paralela às fibras paralela para o CLT foram realizados segundo a NBR 7190/97 que trata de estruturas de madeira. O ensaio de compressão paralela às fibras para o concreto

foi realizado segundo a NBR 5739/2007.

Materiais necessários para os ensaios e para a preparação dos corpos de prova:

- 24 Corpos de Prova de CLT (12 para o teste de densidade e 12 para o teste de compressão paralela às fibras)
- 20 Corpos de Prova de concreto (10 para o teste de densidade e 10 para o teste de compressão paralela às fibras)
- Plaina de bancada (Gamma)
- Prensa Hidráulica (HidralMac)
- Balança analítica (Onaus)
- Paquímetro (Mytutoyo)
- Máquina Universal de ensaio (EMIC)
- Máquina de ensaio Hidráulica

### 3.1 Corpos de prova de CLT

Para a elaboração dos corpos de prova, foram obtidas tábuas de madeira serrada de reflorestamento, especificamente, *Pinus spp*, madeira comercializada na cidade de Itapeva SP, sendo ela seca em estufa a 12% de umidade. Com o intuito de eliminar partículas na superfície das peças para facilitar a abertura dos poros da madeira e consequentemente melhor penetração do adesivo, os corpos de prova passaram por um processo de aplanação, utilizando uma plaina de bancada.

A montagem do painel é realizada de forma a se colocar camadas de lamelas (tábuas) de madeira inicialmente em uma posição e a segunda camada perpendicularmente a primeira, e a terceira perpendicularmente a segunda, nesse caso os painéis foram montados com uma sequência de três lamelas (figura 6), entre as lamelas foram acrescentados a resina poliuretana a base de mamona com pincel por toda superfície das lamelas.

Após a montagem do painel o mesmo foi colocado na prensa hidráulica a quente, realizando uma prensagem inicial a (+/-160°C) por aproximadamente 180 s, uma degasagem (liberação de pressão) por 30 s, uma segunda prensagem por mais 180 s e então mais uma degasagem de 30 s, e por fim uma última prensagem de 180s, após a prensagem o painel deve passar por um processo de climatização a aproximadamente 22°C.



Figura 6: Corpos de prova de CLT

Fonte: Autor (2016)

### 3.2 Corpos de prova de concreto

Os corpos de prova de concreto para ensaio de compressão paralela às fibras foram doados pela ETEC Dr. Demétrio Azevedo Junior de Itapeva-SP e foram elaborados segundo a NBR 5738/2003 que especifica o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de concreto.

A dimensão básica do corpo de prova deve ser no mínimo quatro vezes maior que a dimensão máxima do agregado graúdo do concreto (pedra). Os corpos de prova para esse estudo foram em formato cilíndrico com altura igual ao dobro do diâmetro (20x10 cm) (Figura 7).

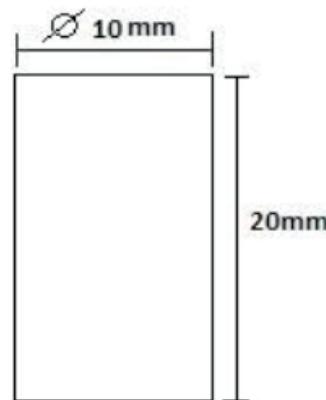


Figura 7: Medidas dos corpos de prova de concreto

Fonte: Autor (2016)

Os corpos de prova são compostos por cimento CP II E com  $f_{ck}$  25 Mpa, areia e pedra, com traço não especificado. Essa mistura foi colocada em moldes de tamanho específicos revestidos internamente com uma camada fina de óleo mineral para facilitar a retirada do CP depois da cura (Figura 8). A massa de concreto passa pelo processo de vibração, para melhor adensamento. Após 24 horas o concreto pode ser retirado dos moldes. Os CP's devem ser capeados para que a força de ensaio seja

distribuída de forma regular entre os corpos de prova, por fim os CP's devem ser identificados e armazenados.



Figura 8: Corpo de prova de concreto

Fonte: Autor (2016)

### 3.3 Densidade do CLT

As densidades dos corpos de prova de CLT foram obtidas com base na NBR 7190/97, a análise foi baseada na densidade aparente do material, que é definida pela razão entre a massa dos corpos de prova secos (a aproximadamente 12%) e o volume do material seco (12%), sendo. Os corpos de prova de tamanho 5x5x15 cm foram pesados através de uma balança analítica, com exatidão de 0,01g e o volume analisado com auxílio de um paquímetro com exatidão de 0,1mm.

### 3.4 Densidades do concreto

A densidade do concreto foi obtida pela relação entre a massa e o volume dos corpos de prova, utilizando um paquímetro de resolução 0,1 mm foram medidos os corpos de prova e calculados suas respectivas áreas e volumes. Os corpos de prova foram identificados e pesados com o auxílio de uma balança analítica.

### 3.5 Ensaio de compressão paralela às fibras do CLT

O ensaio foi realizado segundo a NBR 7190/97, por definição a resistência a compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão aplicada no corpo de prova e a área onde se aplica essa tensão. Os números de corpos de prova foram de 12 para ensaio. Os corpos de prova foram elaborados em forma prismática com lados de 5x5 cm e comprimento de 15cm.

Com o auxílio da máquina universal de ensaio (EMIC) foram rompidos e analisados segundo a força máxima de atuação em cada um deles (Figura 9).



Figura 9: Ensaio de compressão paralela às fibras

Fonte: Autor (2016)

### 3.6 Ensaio de compressão paralela às fibras do concreto

Os corpos de prova foram ensaiados no laboratório do curso técnico de edificações da ETEC Dr. Demétrio Azevedo Júnior. Os corpos de prova foram ensaiados segundo a NBR 5739/2007. A máquina utilizada nesse ensaio é hidráulica (Figura 10), composta por dois pratos, sendo um deles com mobilidade hidráulica, com aplicação de uma carga inicial para acomodação dos corpos de prova e então aplicação da carga até o rompimento do corpo de prova, a força máxima de ruptura é dada pelo painel eletrônico que a máquina possui. Com a relação entre a força máxima aplicada para ruptura e a área dos corpos de prova, é possível calcular o valor da tensão aplicado.



Figura 10: Máquina hidráulica de ensaio em corpos de prova de concreto

Fonte: Autor (2016)

## 4 | RESULTADOS PARCIAIS/FINAIS

### 4.1 Densidade

Apartir dos dados obtidos para ensaio de densidade, verificou-se que a densidade média do CLT é de 455,45 kg/m<sup>3</sup>, sendo menor que a do concreto que é de 572,91 kg/m<sup>3</sup>. Pôde-se observar também que o desvio padrão do CLT foi consideravelmente maior que o do concreto: 29,81 kg/m<sup>3</sup> e 9,73 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A figura 11 nos mostra os valores obtidos para cada corpo de prova ensaiado.

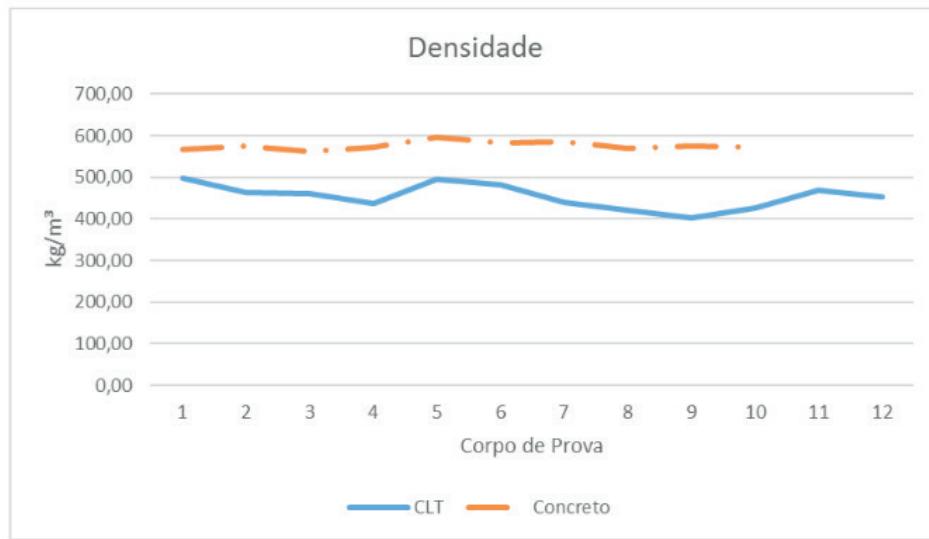


Figura 11: Valores de densidade do CLT e do concreto.

Fonte: Autor (2016)

### 4.2 Compressão paralela às fibras

A partir dos dados obtidos pelo o ensaio de compressão paralela às fibras, verificou-se que a tensão de compressão paralela às fibras média do CLT é de 19,83 MPa, sendo menor que a do concreto que é de 33,31 MPa. Porém, o desvio padrão do CLT é menor que o do concreto: 1,64 MPa e 5,87 MPa, respectivamente. A figura 12 nos mostra a variação entre os valores encontrados para cada material.

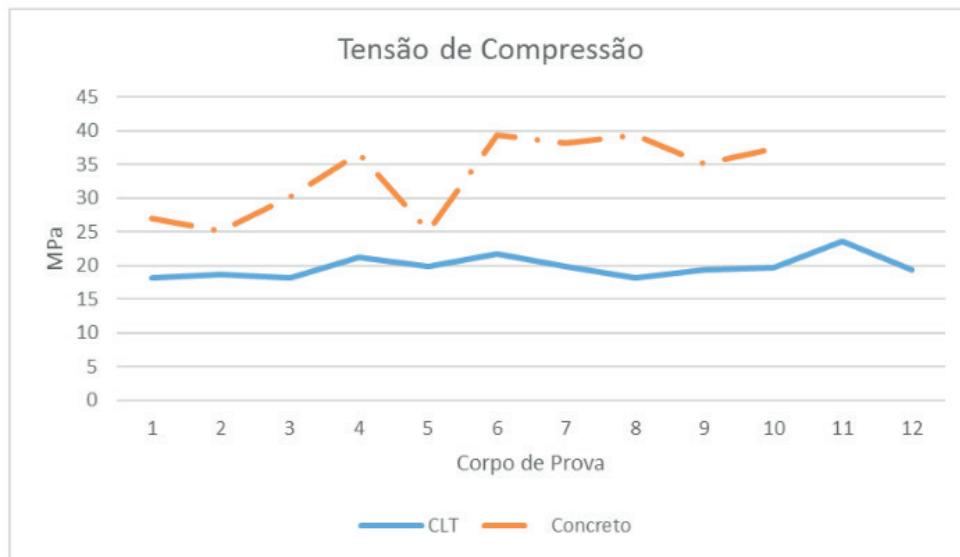


Figura 12: Valores de tensão de compressão paralela às fibras do CLT e do concreto.

Fonte: Autor (2016)

## 5 | CONSIDERAÇÕES PARCIAIS/FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que:

- Em relação a densidade, percebe-se que o concreto é mais denso que o CLT, os quais apresentaram os valores de 572,91 kg/m<sup>3</sup> e 455,45 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente;
- Em relação a compressão paralela às fibras, percebe-se que o concreto é mais resistente que o CLT, os quais apresentaram os valores de 33,31 MPa e 19,83 MPa, respectivamente;
- Embora o CLT tenha apresentado valor inferior ao concreto, deve-se evidenciar que o CLT demonstra uma nova tecnologia para a construção civil de forma sustentável, e contribui a uma construção mais limpa, ou seja, com menor geração de resíduos. Portanto, propõe-se novos estudos em relação ao CLT como uma alternativa para a construção civil no Brasil;

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. Concreto. Estruturas IV– Concreto armado. **Faculdade de Engenharia Civil**. Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, agosto 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** – Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 9p, 2003/ Emd. 1:2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** – Concreto- Ensaio de compressão paralela às fibras de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 9p. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190** – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 107p, 1997.

BOTELHO, M. H. C; MARCHETTI, O. **Concreto Armado**, Eu Te Amo. 7º Edição, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 526p, 2013.

CALIL JÚNIOR, C; et al. SET 406 - ESTRUTURAS DE MADEIRA. **NOTAS DE AULA**. SÃO CARLOS, 107p, 1998.

CUNHA, J; et al. Ligações estruturais de madeira laminada colada cruzada (CLT) utilizando parafusos auto perfurantes. **XXXV Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural**, 2012.

DA COSTA, A. A. P. **Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT)**. 2013.

DIAS, F. M; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, v. 65, n. 2, p. 102-113, 2004.

INCOPRE; **6 PRINCIPAIS TIPOS DE CONCRETO UTILIZADOS EM CONSTRUÇÕES**, 2015.

Disponível em: <<http://incopre.com.br/index.php/conhecaos-6-principais-tipos-de-concreto-utilizados-em-construcoes/>>. Acesso em: 18 Out. 2016.

PEREIRA, M. C. M. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de madeira laminada colada cruzada**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SHEHATA, I; ABD E. M. **Propriedades do Concreto- Concreto**. Disponível em: <<http://wwwp.coc.ufrj.br/~ibrahim/propriedade.htm>>. Acesso em: 30 set. 2016.

ReThink Wood- Cross-Laminated Timber, 2015. Disponível em: <<http://www.rethinkwood.com/tall-wood-mass-timber/products/cross-laminated-timberclt>>

Acesso em: 13 Out. 2016.

## DUREZA JANKA COMO ESTIMADOR DA DENSIDADE APARENTE E DAS RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO EM EUCALIPTO

Data de aceite: 25/11/2019

### **Takashi Yojo**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis  
São Paulo - SP

### **Cassiano Oliveira de Souza**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis  
São Paulo - SP

### **Maria José de Andrade Casimiro Miranda**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis  
São Paulo - SP

### **Sergio Brazolin**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis  
São Paulo - SP

**RESUMO:** Amadeira de eucalipto é amplamente utilizada; contudo, o material apresenta grande heterogeneidade de características físico-mecânicas entre espécies desse gênero, e a dificuldade na realização da identificação anatômica leva a busca de alternativas de diferenciação. A dureza Janka, considerada

um ensaio não destrutivo, pode permitir esta seleção desde que seja um bom estimador de propriedades físicas e mecânicas. Neste trabalho foram analisados os dados de 43 toras de eucalipto, utilizando-se uma função exponencial (linearizada através do logaritmo natural) para as variáveis de dureza Janka e variáveis dependentes. Na análise de correlação e regressão, observou-se que as dispersões aumentam com a dureza Janka, porém na escala logarítmica essas dispersões se mantêm constantes. Os resultados das análises de regressão demonstraram que existe uma correlação das propriedades densidade aparente a 15% de teor de umidade, resistências à flexão e compressão no estado verde com a dureza Janka na madeira verde. As curvas de regressão apresentaram coeficientes de determinação entre 0,80 e 0,84, com dispersões entre 6 e 10%. Conclui-se que a propriedade dureza Janka pode ser utilizada como estimador da densidade e resistências à flexão e compressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** dureza Janka, densidade, compressão, flexão, eucalipto.

EVALUATION OF DENSITY, COMPRESSION AND FLEXURE STRENGTH BASED ON JANKA HARDNESS TEST OF EUCALIPTUS

**ABSTRACT:** Eucalyptus presents heterogeneity

of physical-mechanical characteristics and has difficulty anatomical identification. This paper analyses the viability of Janka hardness (considered a non-destructive test) as an estimator of density, compression strength and modulus of rupture. The 43 eucalyptus logs were analyzed using a exponential function (linearized through the natural logarithm) for Janka hardness and dependent variables. It was observed that the dispersions around the regression curves increase, but on the transformed scale these dispersions are constant. The regression analysis results showed that there is a correlation of apparent density at 15% of moisture content, flexural strength and green state compression with the Janka hardness on green wood. Eucalyptus presented regression curve with a coefficient of determination between 0.80 and 0.84, with dispersion between 6% and 10%. It was concluded that the Janka hardness property can be used as density estimator and resistance to flexion and compression.

**KEYWORDS:** Janka hardness, density, compression, flexure, eucalyptus.

## 1 | INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro representa um importante segmento econômico para o Brasil, sendo responsável atualmente por 6% do PIB (Produto Interno Bruto) Industrial, segundo dados do IBÁ (2017). Neste contexto, a madeira de eucalipto é a referência de produção de florestas plantadas. De acordo com FAO (2015), a área plantada de eucalipto em 2012 correspondia a mais de 5,1 milhões de hectares, ou 71,0% do total de florestas plantadas no Brasil.

O eucalipto pertence ao gênero *Eucalyptus*, que reúne mais de 600 diferentes espécies. Várias destas espécies apresentam as mesmas características da anatomia do lenho, inviabilizando a identificação botânica por processo macroscópico. O próprio processo microscópico restringe-se a identificação de poucas espécies de eucalipto. Isto sem falar que este processo necessita recolher amostras em campo e encaminhá-las ao laboratório para análise, o que reduz a agilidade do processo de identificação.

O risco de não se realizar a separação adequada das espécies é de se ter em um mesmo grupo madeiras com diferentes características físico-mecânicas (por exemplo, densidades variando entre 600 e 1100 kg/m<sup>3</sup>, resistência à flexão (no estado verde) entre 60 e 150 MPa e resistência à compressão axial (no estado verde) entre 25 e 75 MPa), comprometendo a confiabilidade dos resultados do lote.

Faz-se necessário o uso de um processo ágil, não destrutivo e que possa ser aplicado em campo para seleção de madeiras. O ensaio de determinação da dureza Janka, pode ser considerado como um ensaio não destrutivo, uma vez que a esfera utilizada no ensaio apresenta dimensões diminutas (1 cm<sup>2</sup> de área projetada) e o dano gerado nas peças de madeira é desprezível. Assim, o presente trabalho

apresenta as relações entre a densidade, as resistências à flexão e compressão axial em função da dureza Janka considerando a madeira no estado verde, com o objetivo de evidenciar esta característica como critério de seleção de madeiras de eucalipto.

## 2 | REVISÃO DA LITERATURA

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que relacionam as propriedades mecânicas como flexão e compressão com a densidade da madeira de folhosas e coníferas. USDA (2010) apresenta diversas relações, por exemplo, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade média com a densidade da madeira a 12% de teor de umidade ou na condição verde.

Ainda, segundo USDA (2010), o peso específico da substância que compõe a madeira é da ordem de 1,5 (1500 kg/m<sup>3</sup>) independente da espécie. O fato de madeira poder apresentar peso específico inferior à água significa que apresenta espaços vazios, ou seja, os lumens das células. A variação no tamanho dos elementos anatômicos, lumens e espessura das paredes das células da madeira resultam em maior ou menor peso específico. Por isso, essa variável é um excelente indicador das propriedades mecânicas, desde que a grã seja reta e livre de defeitos. Ressalta, no entanto, que o peso específico sofre influência das gomas, resinas e extrativos que pouco afetam as propriedades mecânicas.

Entretanto, com relação à dureza Janka, não foram encontrados estudos técnicos e científicos que a relacionam com as propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das espécies de eucalipto.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos utilizados foram obtidos da publicação Boletim N° 31 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, sendo que os ensaios foram realizados segundo a norma brasileira NBR 6230:1985.

A equação de regressão adotada para relacionar a densidade e as resistências à flexão e à compressão com a dureza Janka foi:

$$y = ax^b \quad (1)$$

Linearizada com o seu logaritmo, resultando em:

$$y' = \ln(y) = \ln(a) + b * \ln(x) = a' + bx' \quad (2)$$

onde:

$a$  e  $b$  são as constantes da curva;

$a'$  é o  $\ln$  da constante;

$x$  é a variável independente dureza Janka;

$x'$  é o  $\ln$  da dureza Janka;

$y$  são as variáveis dependentes (densidade; resistência à flexão e à compressão);

$y'$  é o  $\ln$  da variável dependente.

Para a análise das equações e dos coeficientes  $a$  e  $b$  foram determinados:

- $R^2$  – coeficiente de determinação;
- $S_R$  = desvio padrão residual em relação às variáveis linearizadas  $x'$  e  $y'$ ;
- Limites superior e inferior da região de previsão da variável, com 95% de intervalo de confiança;
- Intervalo de confiança de 95% para as constantes  $a$  e  $b$ .

Foram utilizadas 43 toras de eucalipto, das espécies apresentadas na Tabela 1, podendo ter mais de uma tora por espécie.

Espécie	Espécie
<i>Eucalyptus acmenioides</i>	<i>Eucalyptus oranensis</i>
<i>Eucalyptus alba</i>	<i>Eucalyptus paniculata</i>
<i>Eucalyptus bosistoana</i>	<i>Eucalyptus paulistana</i>
<i>Eucalyptus botryoides</i>	<i>Eucalyptus pilularis</i>
<i>Eucalyptus capitellata</i>	<i>Eucalyptus polianthemus</i>
<i>Eucalyptus cinerea</i>	<i>Eucalyptus propinqua</i>
<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus punctata</i>
<i>Eucalyptus corymbosa</i>	<i>Eucalyptus regnans</i>
<i>Eucalyptus corynocalyx</i>	<i>Eucalyptus resinifera</i>
<i>Eucalyptus exserta</i>	<i>Eucalyptus robusta</i>
<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Eucalyptus rostrata</i>
<i>Eucalyptus goniocalyx</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>
<i>Eucalyptus kirtoniana</i>	<i>Eucalyptus stuartiana</i>
<i>Eucalyptus longifolia</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>
<i>Eucalyptus maculata</i>	<i>Eucalyptus trabuti</i>
<i>Eucalyptus maidenii</i>	<i>Eucalyptus umbra</i>
<i>Eucalyptus microcorys</i>	<i>Eucalyptus viminalis</i>
<i>Eucalyptus microphylla</i>	-

Tabela 1 – Relação de espécies de eucalipto utilizadas no estudo.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As relações entre a densidade aparente a 15% de teor de umidade e a dureza Janka no estado verde são apresentadas nos Gráficos 1a e 1b, respectivamente, para as variáveis em escalas reais e transformadas.

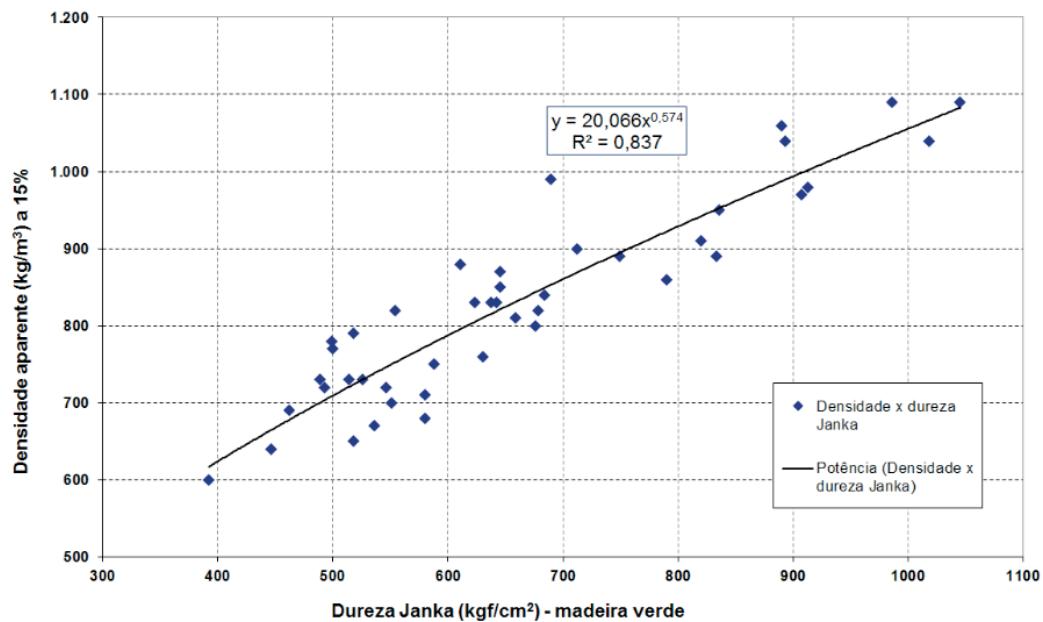
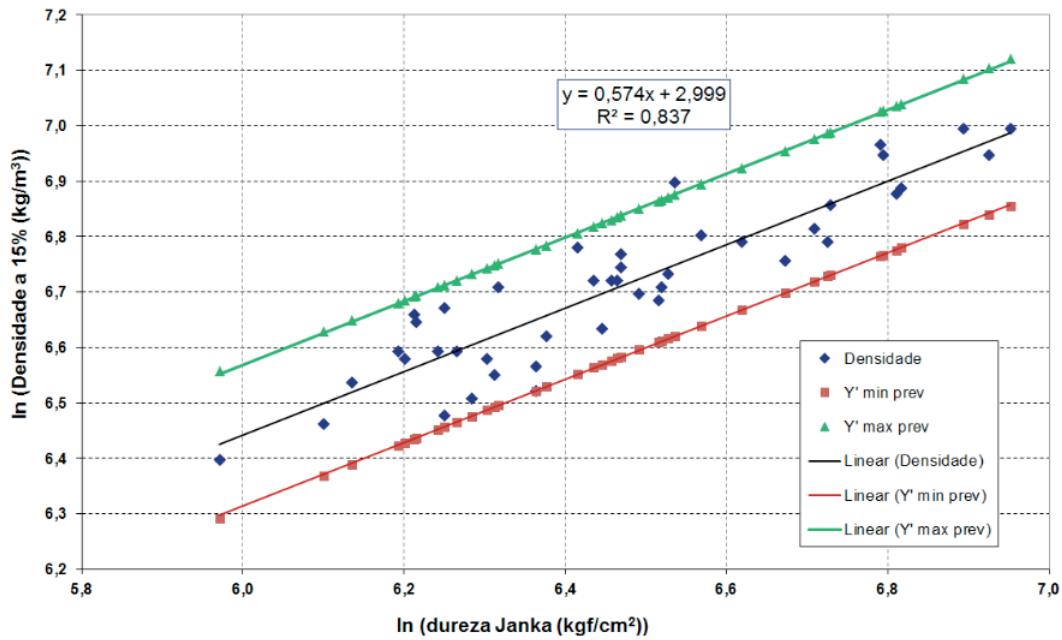


Gráfico 1a – Relação entre densidade aparente a 15% de teor de umidade em função da dureza Janka verde.



A equação de correlação obtida para densidade foi:

$$D_{15} = 20,0662 * f_D^{0,5737} \quad (3a)$$

$$\ln(D_{15}) = 0,5737 * f_D + 2,999 \quad (3b)$$

onde:

$D_{15}$  = Densidade aparente a 15% de teor de umidade ( $\text{kg/m}^3$ ).

$R^2$  = Coeficiente de determinação (0,8369).

$S_R$  = desvio padrão residual em relação à densidade (0,0620);

Coeficiente  $\alpha$  = 20,0662;

Intervalo de confiança do coeficiente  $\alpha$  = (11,9458 a 33,7067);

Coeficiente  $b$  = 0,5737;

Intervalo de confiança do coeficiente  $b$  = (0,4935 a 0,6538).

As relações entre a resistência da madeira à flexão no estado verde e a dureza Janka no estado verde são apresentadas nos Gráficos 2a e 2b, respectivamente, para as variáveis em escalas reais e transformadas.

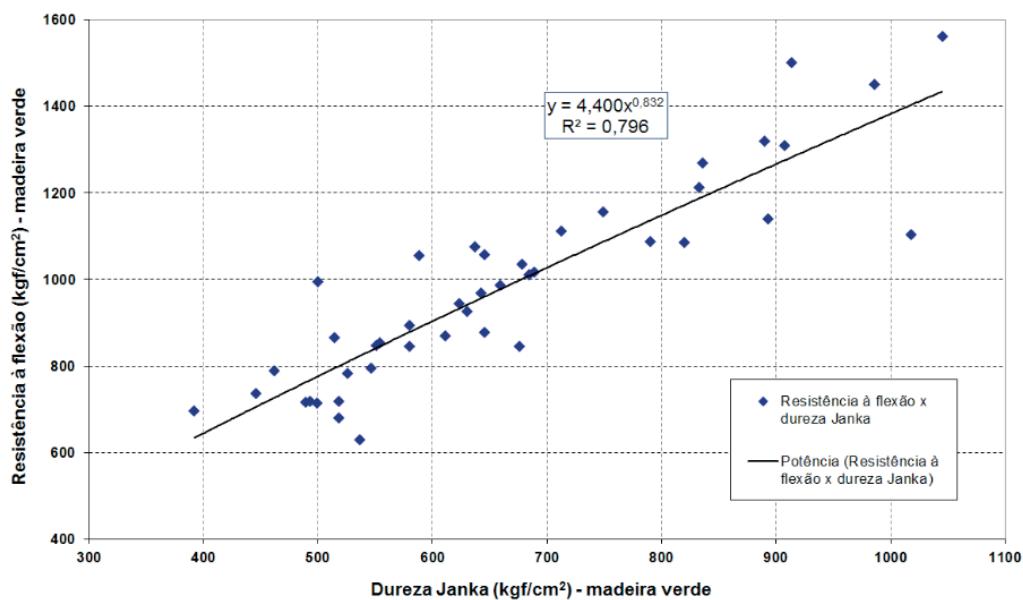


Gráfico 2a – Relação entre resistência à flexão no estado verde em função da dureza Janka verde.

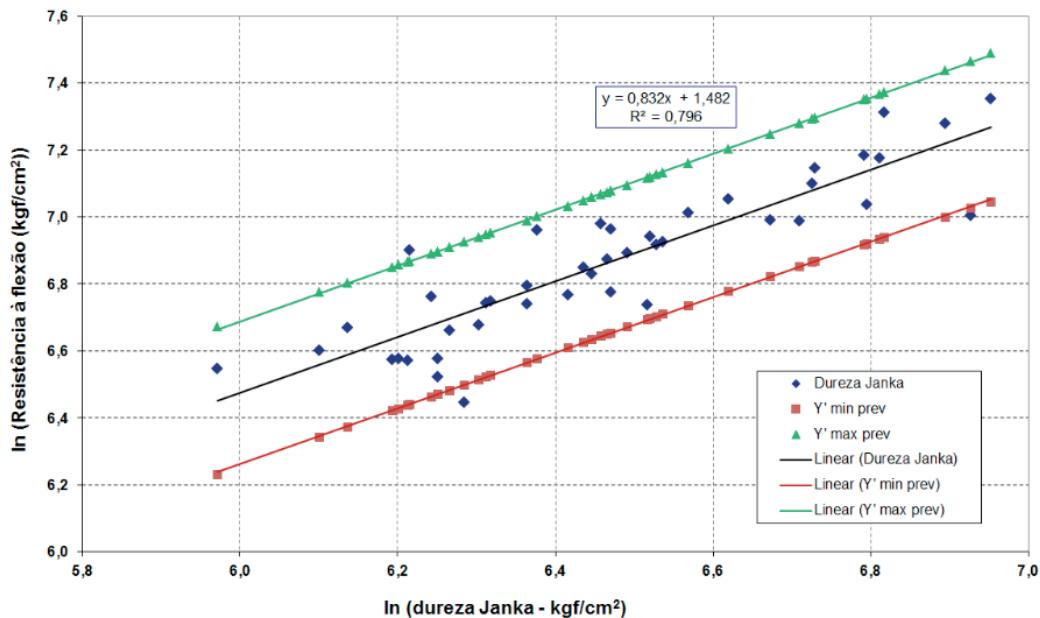


Gráfico 2b – Resistência à flexão em função da dureza Janka verde na escala logarítmica.

Pode-se observar o limite superior e inferior para previsão da resistência.

A equação de correlação obtida para flexão foi:

$$f_M = 4,4002 * f_D^{0,8324} \quad (4a)$$

$$\ln(f_M) = 0,8324 * f_D + 1,4817 \quad (4b)$$

onde:

$f_M$  = Resistência à flexão ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) da madeira verde, ou seja, acima do PSF.

$R^2$  = Coeficiente de determinação (0,7957).

$S_R$  = desvio padrão residual em relação à resistência à flexão (0,1032);

Coeficiente  $\alpha = 4,4002$ ;

Intervalo de confiança do coeficiente  $\alpha = (1,8553 \text{ a } 10,4362)$ ;

Coeficiente  $b = 0,8324$ ;

Intervalo de confiança do coeficiente  $b = (0,6990 \text{ a } 0,9658)$ .

As relações entre a resistência da madeira à compressão axial no estado verde e a dureza Janka no estado verde são apresentadas nos Gráficos 3a e 3b, respectivamente, para as variáveis em escalas reais e transformadas.

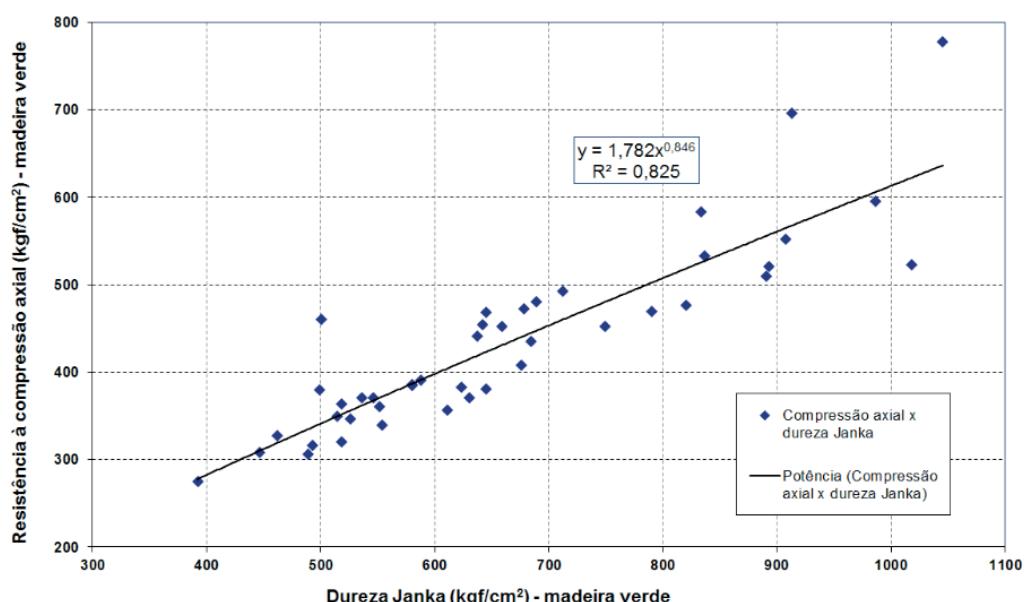


Gráfico 3a – Relação entre resistência à compressão axial no estado verde em função da dureza Janka verde.

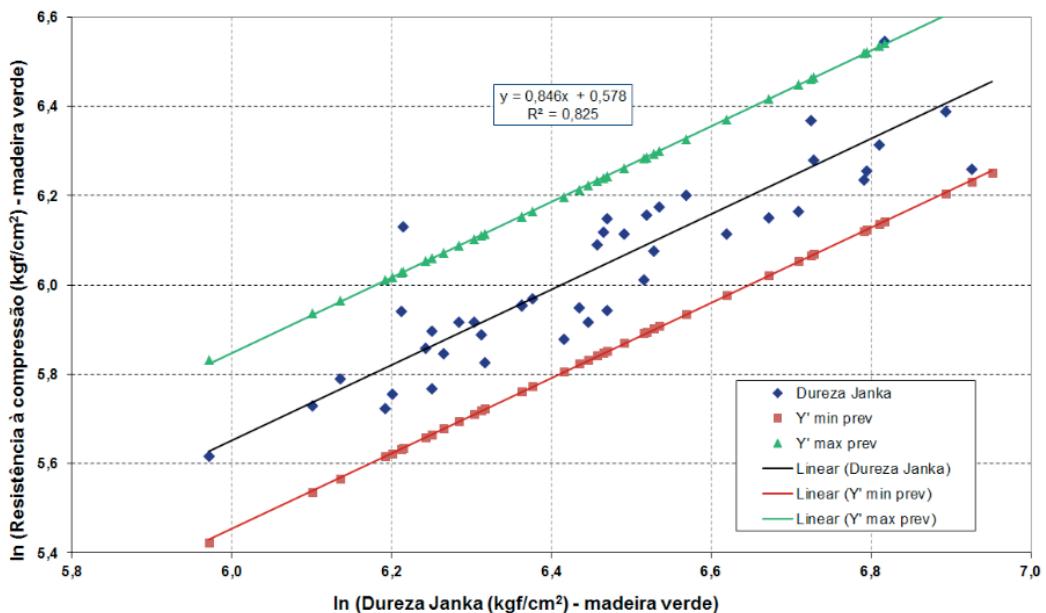


Gráfico 3b – Resistência à compressão em função da dureza Janka verde na escala logarítmica. Pode-se observar o limite superior e inferior para previsão da resistência.

A equação de correlação obtida para compressão axial foi:

$$f_{C0} = 1,782 * f_D^{0,8455} \quad (5a)$$

$$\ln(f_{C0}) = 0,8455 * f_D + 0,5778 \quad (5b)$$

onde:

$f_{C0}$  = Resistência à compressão axial ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) da madeira verde, ou seja, acima do PSF.

$R^2$  = Coeficiente de determinação (0,8252).

$S_R$  = desvio padrão residual em relação à resistência à compressão (0,0952);

Coeficiente  $\alpha$  = 1,782;

Intervalo de confiança do coeficiente  $\alpha$  = (0,8032 a 3,9539);

Coeficiente  $b$  = 0,8455;

Intervalo de confiança do coeficiente  $b$  = (0,7224 a 0,9687).

Nas estimativas da densidade aparente a 15% de teor de umidade, resistência à flexão e à compressão da madeira no estado verde (maior que o PSF), a partir da dureza Janka, os coeficientes de determinação foram de 0,8369, 0,7957 e 0,8252, respectivamente. Estes coeficientes indicam uma forte correlação destas propriedades com a dureza Janka.

Os coeficientes  $a$  e  $b$  das equações apresentaram valores positivos, mesmo dentro do intervalo de confiança de 95%. As dispersões em torno da curva de regressão apresentaram valores entre 6% e 10%. Estas dispersões correspondem ao coeficiente de variação relativo ao valor da curva da regressão.

## 5 | CONCLUSÕES

Considerando a madeira um material heterogêneo e com grande variabilidade dos elementos anatômicos e propriedades, os resultados das análises de regressão demonstraram uma forte correlação para a densidade aparente a 15% de teor de umidade, resistências à flexão e compressão, no estado verde, com a variável dureza Janka. Portanto, pode ser utilizada como um critério de previsão destas propriedades.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6230**: ensaios físicos e mecânicos de madeiras. Rio de Janeiro, 1985. 16p.

COSTA NETO P. L. O. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO). **Global Forest Resources Assessment 2015**. Country Report Brazil. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-az172e.pdf>>. Acesso em 04 set. 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2016**. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Acesso em 04 set. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. (IPT). **Métodos de Ensaio adotados no I.P.T. para o Estudo de Madeiras Nacionais**. Tabela de Resultados obtidos para Madeiras Nacionais. Nomenclatura das Madeiras Nacionais. Boletim nº 31, 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: IPT, 1956.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Wood Handbook**. Wood as an Engineering Material, Madison: Forest Products Laboratory, 2010. Disponível em: <[https://www.fpl.fs.fed.us/documents/fplgrtr/fpl\\_gtr190.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documents/fplgrtr/fpl_gtr190.pdf)>. Acesso em 04 set. 2019.

## ESTUDO COMPARATIVO DOS EFEITOS DE NANOFIBRAS DE SÍLICA, OBTIDAS VIA SBS, E ARGILA MONTMORILONÍTICA EM POLIAMIDA 66

Data de aceite: 25/11/2019

**Francisca Maria Martins Pereira**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Edvânia Trajano Teófilo**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Gabriel Lucena de Oliveira**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte - Ceará

**Radamés da Silva Teixeira**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Cláudio Bezerra Martins Júnior**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Rosiane Maria da Costa Farias**

Universidade Federal de Campina Grande

Campina Grande – Paraíba

**Aline Vasconcelos Duarte**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Ellen Cristine Lopes da Silva Bento**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Raí Batista de Sousa**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**Francisco Diassis Cavalcante da Silva**

Universidade Federal do Cariri

Juazeiro do Norte – Ceará

**RESUMO:** A área de nanocompósitos poliméricos vem se destacando nos últimos anos. As cargas mais utilizadas têm sido argila montmorilonítica (MMT) e nanopartículas esféricas de sílica. Porém, a tendência a aglomeração durante o processamento tem dificultado a obtenção de nanocompósitos com as propriedades desejadas. Espera-se que o uso de carga na forma de nanofibras possa evitar tal agregação (devido sua elevada anisotropia associada com sua alta razão de aspecto). O presente estudo objetivou utilizar nanofibras de sílica, obtidas via fiação por sopro em solução (“Solution Blow Spinning” – SBS), como carga em matriz de poliamida 66 (PA 66), e verificar, assim, os efeitos em propriedades desse polímero de engenharia. Tais efeitos foram comparados pela adição de argila MMT, devido a MMT ser uma nanocarga de elevada razão de aspecto muito investigada na literatura para obtenção de nanocompósitos poliméricos, ao passo que as nanofibras ainda são incipientes para esse tipo de aplicação. A argila MMT foi utilizada na forma natural e organofertilizada e as nanofibras sem tratamento superficial. Os nanocompósitos foram produzidos na forma de filmes, pelo método *casting*, e os teores

de carga variaram entre 1 e 2,5%. Foi possível observar que a presença de sílica, diferentemente da argila MMT, não promoveu melhoria nas propriedades mecânicas do polímero. No caso da argila, os melhores resultados foram observados com a MMT natural.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanofibras de sílica, fiação por sopro em solução, argila montmorilonítica, poliamida 66.

**ABSTRACT:** The area of polymeric nanocomposites has been highlighting in recent years. The most commonly used fillers have been montmorillonite clay (MMT) and spherical silica nanoparticles. However, the tendency to agglomeration during processing has made it difficult to obtain nanocomposites with the desired properties. It is expected that the use of nanofiber charge can prevent such aggregation (due to its high anisotropy associated with its high aspect ratio). The present study aimed to use silica nanofibers obtained by solution spinning spinning (SBS) as a filler in polyamide 66 (PA 66) matrice, and thus verify the effects on properties of this engineering polymer. These effects were compared by the addition of MMT clay, because MMT is a high aspect ratio fillers that has been much investigated in the literature to obtain polymeric nanocomposites, while nanofibers are still incipient for this type of application. MMT clay was used in its natural and organophilized form and nanofibers without surface treatment. The nanocomposites were produced in the form of films by the casting method, and the charge contents ranged from 1 to 2.5%. It was observed that the presence of silica, unlike MMT clay, did not improve the mechanical properties of the polymer. In the case of clay, the best results were observed with natural MMT.

**KEYWORDS:** Silica nanofibers, Solution Blow Spinning, montmorillonite clay, polyamide 66.

## 1 | INTRODUÇÃO

A aplicação de cargas em polímeros é uma prática frequente. Seja na indústria, onde a principal aplicação é no barateamento das peças produzidas, ou na produção de compósitos, em que as cargas não mais têm função de baratear o processo, mas sim melhorar as propriedades mecânicas da matriz (HUFENBACH et al., 2011).

Com o avanço das pesquisas em nanocompósitos, em que a fase dispersa deve ter pelo menos uma das dimensões inferiores a 1000 nm (SASIPRYIA et al., 2013), diversas cargas já se mostraram viáveis para aplicação, como nanopartículas (ASSIS, 2012), nanotubos de carbono (SALES, 2013), nanoesferas (CAIADO, 2014) e as próprias nanofibras (PLOTEGHER; RIBEIRO, 2013). Devido à elevada razão de aspecto, associada a uma elevada área superficial específica, as nanofibras têm mostrado grandes potenciais de aplicação como sensores ópticos eletrônicos, biosensores, matrizes para a imobilização de catalisadores, reforços estruturais, filtros capazes de reter microorganismos e partículas sólidas extremamente finas

de líquidos ou gases, substratos para crescimento de órgãos e tecidos biológicos, encapsulação e liberação controlada de fármacos, curativo para a regeneração da pele, entre outros (HUANG et al., 2003; AUSSAWASATHIENA et al., 2005; MA et al., 2005; PHAN et al., 2006; GOPAL et al., 2006; MARTINS et al., 2007; VELEIRINHO et al., 2009; OLIVEIRA, 2011; COSTA et al., 2012; ZADOROSNY, 2013; VALENTE, 2014; SILVA et al., 2015).

Existem poucas técnicas conhecidas na literatura, que são capazes de produzir fibras de óxidos cerâmicos em tamanho nanométrico, destacando-se a eletrofiação (EF) e a fiação por sopro em solução (*Solution Blow Spinning – SBS*), esta segunda, desenvolvida nos últimos 10 anos.

Uma alternativa ao método EF foi desenvolvida por Medeiros e colaboradores (2009; 2010) que propuseram a fiação por sopro em solução (SBS). Esse método consiste em fiar por meio de forças aerodinâmicas em vez de utilizar elevados campos elétricos. A Figura 1 exemplifica o sistema de SBS usado para fiação.

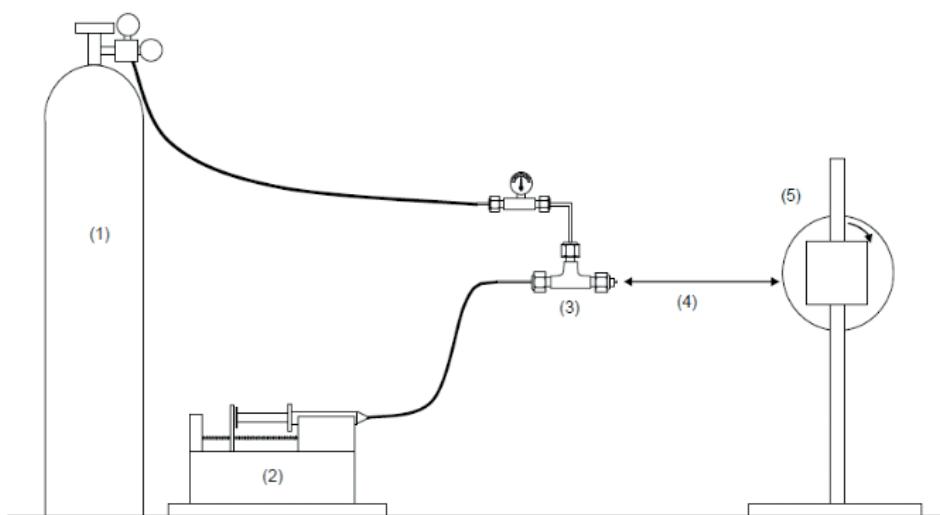


Figura 1 - Esquematização do processo SBS: (1) Reservatório do gás, (2) bomba de injeção, (3) matriz de fiação, (4) distância de trabalho e (5) coletor.

Fonte: Farias (2013).

O SBS utiliza-se de uma solução precursora que será injetada da seringa para o bocal/ matriz de fiação. O bocal consiste em dois canais concêntricos onde, pelo bocal interno irá passar a solução precursora, enquanto pelo bocal externo irá passar o gás pressurizado advindo do cilindro, podendo esse gás ser Argônio, Hélio ou Ar comprimido. Esse gás, ao passar pelo bocal externo, irá sair a uma alta velocidade devido à pressão a qual estava submetido. Dessa forma, quando a força atinge um valor crítico, de maneira a superar as tensões superficiais do líquido (solução precursora), este é arrastado em forma de filamento, formando um jato polimérico, que será captado pelo coletor.

A priori, a utilização desse método mostrou-se eficiente para a produção de

nanofibras poliméricas (MEDEIROS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011a; OLIVEIRA et al., 2011b; OLIVEIRA et al., 2012; TEÓFILO et al., 2014; SILVA et al., 2015) e recentemente nanofibras cerâmicas, de mulita e sílica (FARIAS et al., 2015; TEIXEIRA et al., 2016). Destaca-se ainda a diferença no que diz respeito ao volume de produção, enquanto na eletrofiação a produção média é de 3 mL por hora, a fiação por sopro em solução possui taxa de produção de 45ml por hora (WOJASI et al., 2011).

Porém, na área de nanocompósitos, não apenas as nanofibras podem ser utilizadas, mas também argilas, em especial, a Montmorillonita (MMT). Por, assim como as nanofibras, possuir elevada razão de aspecto e ainda ter capacidade de esfoliação. As aplicações de compósitos com MMT vão desde imobilizadores de enzimas (ALVES et al., 2017) até propriedades de barreira, evitando a difusão de água (AN; SLAVUTSKY, 2012). Porém, para as cargas argilosas há uma limitação, que é a tendência à aglomeração. Essa aglomeração é um fator que pode proporcionar ao compósito uma redução de suas propriedades mecânicas, por produzir pontos concentradores de tensão. Uma maneira de minimizar esse fato seria a organofilização da argila, ou seja, torná-la quimicamente similar à matriz por meio de agentes específicos que favoreçam reações químicas. Esse processo pode melhorar não somente as propriedades mecânicas do material, mas também propriedades térmicas (AN; SLAVUTSKY, 2012).

O presente estudo pretende produzir nanofibras de sílica por SBS e incorporar em matriz de Poliamida 66 (PA-66), para obter híbridos PA-66/nanofibras, e paralelamente incorporar argila MMT para obter híbridos PA-66/MMT, de forma que se possa fazer um comparativo entre os efeitos dessas cargas de elevada razão de aspecto em propriedades mecânicas, bem como em alterações microestruturais, desse importante polímero de engenharia. Como a aplicação de nanofibras de sílica como carga em termoplásticos ainda é incipiente, um estudo comparativo com uma carga muito utilizada como a MMT tem sua relevância justificada.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização desse estudo utilizou-se a Poliamida 66 (PA-66) como matriz e as seguintes cargas: i) argila montmorilonítica comercial, codificada como *Cloisite Na<sup>+</sup>*, proveniente da Southern Clay Products (Texas/EUA), a qual foi utilizada tanto na forma natural, como após organofilização em laboratório; ii) nanofibras de sílica, sintetizadas em laboratório a partir de uma solução precursora contendo poli(cloreto de vinila) (PVC), tetrahidrofurano (THF), ácido clorídrico (HCl) e tetraetilortosilicato (TEOS).

Para síntese das nanofibras, a solução precursora foi submetida ao processo SBS utilizando-se ar comprimido e os seguintes parâmetros de fiação: taxa de injeção de 7,2 mL h<sup>-1</sup>, pressão de 50 psi, distância de trabalho de 30 cm e de projeção de 2 mm (TEÓFILO et al, 2014). A manta fiada foi tratada termicamente (700°C), para remoção de orgânicos e outros voláteis, e sua morfologia analisada em um microscópio eletrônico de varredura (Shimadzu XDR-6000). Os diâmetros das fibras foram medidos utilizando o *ImageJ*, um software da National Institutes of Health USA.

Para organofilizar a argila, primeiramente preparou-se uma dispersão de argila MMT sódica com água destilada (0,04 g/ml) sob agitação mecânica a 1300 rpm por 20min. Seguidamente foi adicionada uma mistura do tensoativo iônico Praepagen WB com água destilada (0,5g/ml) e o conjunto agitado por mais 20 min. A dispersão obtida ficou em repouso por 24h, sendo em seguida lavada com 2L de água destilada sob filtração a vácuo, seca em estufa, desagregada em almofariz e passada em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm).

Para a produção dos filmes puros, a PA 66 foi dissolvida em ácido fórmico (13% m/v) e depositada em placa de *petri* para evaporação do solvente em estufa. Para a produção dos filmes híbridos, foi utilizado o mesmo procedimento, sendo que com a adição de nanocargas lamelares (MMT natural e modificada) e de nanofibras de sílica às soluções filmogênicas, em quantidades que resultasse em híbridos com teores nominais de 1, 1,5 e 2,5% em massa.

Análises de (DR-X) foram realizadas nos compósitos de PA-66/MMT natural, PA-66/MMT organofílica e PA-66/nanofibra de sílica, em um equipamento Shimadzu XDR-6000 (40kV; 30mA;  $\lambda_{\text{CuK}\alpha} = 1,5418 \text{ \AA}$ ;  $2^\circ \leq 2\theta \leq 30^\circ$ ; 1°/min). E testes mecânicos foram conduzidos nos filmes poliméricos, sob tração, em uma máquina universal de ensaio DL (Digital Line) da EMIC com célula de carga de 200kgf e taxa de deslocamento do travessão de 5 mm/min.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização das fibras produzidas

Através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) é possível avaliar a morfologia das fibras produzidas como também calcular o diâmetro médio das mesmas. Na Figura 2a observa-se uma microscopia com aumento de 5.000 vezes, comprovando a obtenção de fibras de pequeno diâmetro através do processo de fiação por sopro em solução. É possível notar regiões em que as fibras estão dispersas e regiões em que estão dispostas em forma de feixes, e tal aglomeração pode vir a causar efeito concentrador de tensão quando incorporadas na matriz polimérica.

No histograma dos diâmetros médios apresentado na Figura 2b observa-se uma larga faixa de distribuição, porém, aproximadamente 70% das fibras, encontram-se com diâmetros abaixo de 700 nm, condição que, segundo observações da literatura (SASIPRYIA et al., 2013), pode-se considerar como fibras nanométricas.

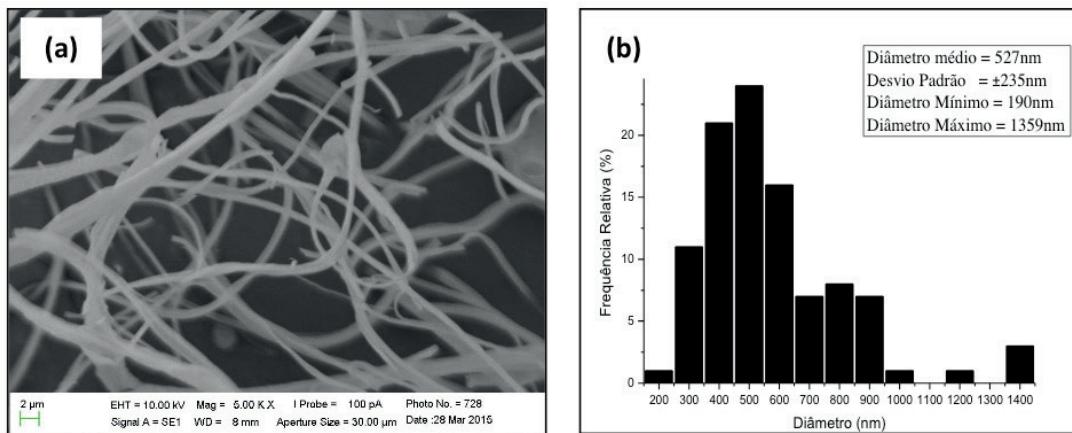


Figura 2 - Nanofibras de sílica obtidas por SBS: a) MEV com aumento de 5.000X; b) Gráfico da distribuição de diâmetros.

Fonte: Dos Autores

### 3.2 Ensaios Mecânicos de Tração

Os ensaios mecânicos de tração foram conduzidos em corpos de prova produzidos a partir dos filmes poliméricos puros e híbridos, os valores médios de Limite de Resistência à Tração (LRT) e de deformação obtidos podem ser visualizados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Observa-se na Figura 3 que o efeito das cargas lamelares, MMT natural e modificada, foram semelhantes para o teor de 2,5%, pois é notório o aumento na resistência a tração dos compósitos em relação ao polímero puro. Já para a concentração de 1% de argila, o incremento só é notório para a MMT natural, sendo o LRT deste 70% maior do que dos compósitos com argila modificada. Em relação ao polímero puro, o aumento foi de cerca de 43%, obtendo um aumento real no LRT quando se considera os desvios. E para o teor de argila de 1,5%, observa-se que há redução na resistência à tração em relação ao teor de 1% tanto para a MMT natural quanto para a MMT modificada. Contudo os compósitos com argila natural permanecem com melhoria significativa em se comparando com o polímero puro.

Para os compósitos de PA 66/nanofibra de sílica, pode-se perceber pela Figura 3 que estes tiveram as menores resistências dentre os compósitos avaliados. Para o teor de 1% de nanofibra, a redução em relação ao polímero puro foi de quase 60%, uma redução significativa levando em consideração os desvios. Ao aumentar o teor de carga, o LRT aumentou de forma sutil, não havendo melhorias significativas. Com a concentração de 2,5% de nanofibras, o LRT foi o maior se comparado ao LRT dos compósitos com teores de 1% e 1,5%, mas ainda 30% menor que o polímero puro,

levando a crer que foi promovido o efeito concentrador de tensão por compatibilização ineficiente entre carga e matriz.

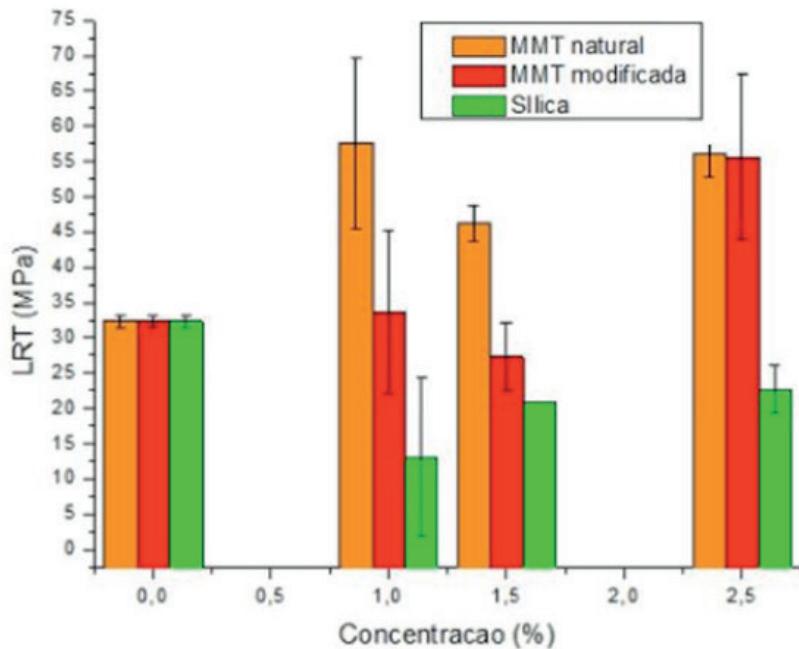


Figura 3 – Limite de Resistência à tração para a poliamida 66 com diferentes teores de nanofibra de sílica e argila MTT natural e modificada (organofílica).

Fonte: Dos Autores.

Através da Figura 4, é possível observar que a deformação dos compósitos de PA 66 com MMT natural cresce à medida que o teor de carga aumenta, chegando à máxima deformação com 2,5% de argila. Já para os compósitos de PA 66 com a argila modificada, a deformação decresce até concentrações de 1,5% de carga, porém quando o teor passa para 2,5% a deformação é recuperada, ficando no patamar do polímero puro. Isso sugere o teor de 2,5% como ótimo para fins de carregamento com MMT em PA 66, pois no caso em que não promove melhoria, também não prejudica a ductilidade da matriz. Já para as nanofibras de sílica, observa-se que não ocorrem melhorias na capacidade deformacional da matriz polimérica para nenhum dos teores empregados.

Dessa maneira, fica evidenciada a melhor interação da PA 66 com a MMT natural, visto que foi a única carga que promoveu melhorias tanto na resistência mecânica quanto na ductilidade com todos os teores utilizados. É sabido que os oxigênios presentes nas superfícies externas do argilomineral são compatíveis com polímeros contendo grupos funcionais polares, podendo ocasionar boas interações. Possivelmente isso tenha ocorrido no presente estudo, devido à polaridade da matriz empregada.

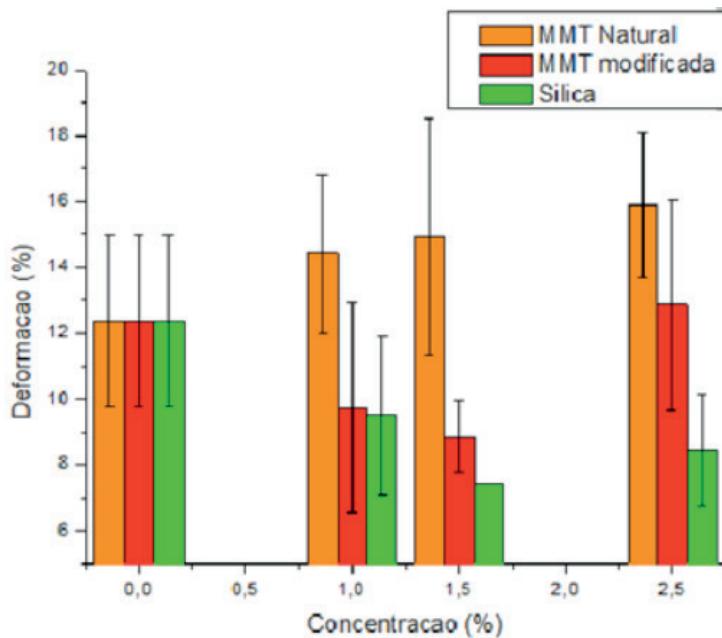


Figura 4 – Deformação percentual para a poliamida 66 com diferentes teores de nanofibra de sílica e argila MTT natural e modificada (organofílica).

Fonte: Dos Autores.

### 3.3 DRX dos compósitos

A Figura 5 mostra os espectros de raios-X para os compósitos de PA 66 com argila natural e modificada (Figura 5a) e com nanofibras de sílica (Figura 5b). Em todas as amostras estão presentes picos entre  $20^\circ$  e  $25^\circ$  referente à fase cristalina  $\alpha$  das poliamidas. Para a poliamida 66 com carga natural é possível notar que o pico de intensidade nesse intervalo é maior, podendo inferir que há uma maior ordenação (cristalinidade) da fase matriz para esse compósito, o que condiz com os resultados dos ensaios mecânicos, uma vez que os compósitos de PA 66 aditivados com argila natural obtiveram melhores propriedades mecânicas.

É importante ressaltar que o pico característico da fase cristalina da argila MMT natural, localizado geralmente entre  $5^\circ$  e  $10^\circ$  (LAFUENTE; YANG, 2015), não aparecem nos espectros de DRX, sugerindo que pode ter havido interação entre a carga e a matriz de forma a obter um nanocompósito, o que também poderia justificar os melhores resultados de propriedades mecânicas observados para o híbrido PA 66/MMT natural.

Os picos próximos a  $23^\circ$  nas amostras de poliamida são referentes a cristalinidade de plano hkl (020) (BEZERRA, 2009). Esse tipo de pico é encontrado nas poliamidas puras. Uma vez que as matrizes utilizadas nesse estudo continham teores de argila e de nanofibras de sílica, pode-se sugerir que as cargas utilizadas não interferiram na cristalinidade da matriz.

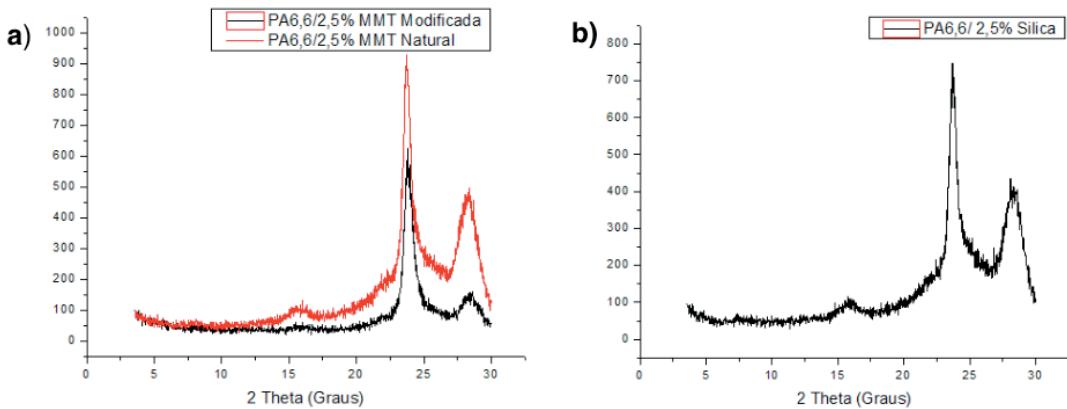


Figura 5 – Difratograma de raios-X para os compósitos com 2,5% de carga: a) PA 66 com argila MMT natural e modificada; b) PA 66 com nanofibra de sílica.

Fonte: Dos Autores

## 4 | CONCLUSÕES

Foi possível produzir nanofibras de maneira satisfatória pelo método de SBS. Dentre as cargas utilizadas a argila MMT natural proporcionou uma melhoria efetiva na resistência à tração e deformação da poliamida 66 para todas as concentrações utilizadas, enquanto que a MMT modificada só conferiu melhoria ao se usar uma concentração de 2,5%. As nanofibras de sílica adicionadas a PA 66 não conferiram incremento nas propriedades mecânicas analisadas, podendo ter atuado como concentradoras de tensão. As cargas utilizadas não interferiram na cristalinidade da matriz polimérica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. F.; REINA, M. P.; SCHWANKE, A. J.; PERGHER, S.; MONTI, R.; NETO, A. B.; PAULA, A. V.; **Avaliação de diferentes metodologias de imobilização de lipases comerciais em argila montmorillonita visando aplicação na síntese de triglicerídeos dietéticos.** Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica São Paulo: Blucher, 2017.

ASSIS, L. M.; ZAVAREZE, E. R.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SOUZA-SOARES, L.A. Revisão: **Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos.** Brazilian Journal Food Technology, Campinas , v. 15, n. 2, p. 99-109, jun. 2012 .Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S198167232012000200001&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198167232012000200001&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 26 mar. 2019. Epub 24-Abr 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000004>.

AUSSAWASATHIENA, D.; DONG, J.-H; DAI, L. **Electrospun polymer nanofiber sensors.** Synthetic Metals, n. 154, p. 37-40, 2005.

BEZERRA, D. C., DE GOUVEIA, T.R., LEITE, A. M. D, COSTA, A. C. F. M., ARAÚJO, E. M. **Obtenção de compósitos de pa 6/ ferritani. Caracterização estrutural por drx dos pós de ferrita e dos compósitos.** 10º CBPol, 2009.

CAIADO, K.L.; ASSIS, M. D.; FARIA, A. L.; SARTORATTO, P.P.C.; SILVA, D.O.C.; SILVA, P.M. **Preparação e Atividade Catalítica de uma Ferroporfirina Imobilizada em Nanoesferas Magnéticas de Maguemita-sílica**, resumo 32º Reunião anual SBQ, 2009.

COSTA, R. G. F.; OLIVEIRA, J. E.; PAULA, G. F.; PICCIANI, P. H. S.; MEDEIROS, E. S.; RIBEIRO, C.; MATTOSO, L. H. C. **Eletrofiação de Polímeros em Solução - Parte I: Fundamentação Teórica.** Polímeros, v. 22, n. 2, p. 170-177, 2012.

FARIAS, R. M. C. **Síntese e caracterização de fibras de mulita obtidas pela técnica fiação por sopro em solução (SBS)**. 2013. 91f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba.

FARIAS, R. M. C.; MENEZES, R. R.; OLIVEIRA, J. E.; MEDEIROS, E. S. **Production of submicrometric fibers of mullite by solution blow spinning (SBS)**, Materials Letters, v. 149, p. 47-49, 2015.

GOPAL, R.; KAUR, S.; MA, Z.; CHAN, C.; RAMAKRISHNA, S.; MATSUURA, T. **Electrospun nanofibrous filtration membrane**. Journal of MembraneScience, v. 281, p.581-586, 2006.

HUANG, Z-M; ZHANG, Y. Z.; KOTAKIC, M.; RAMAKRISHNA, S. **A review on polymer nanofibers and their applications in nanocomposites**. Composites Science and Technology. v. 63. P. 2223-2253, 2003.

HUFENBACH, W.; ADAM, F.; FISCHER, W. -J.; KUNADT, A.; WECK, D. **Mechanical behaviour of textile-reinforced thermoplastics with integrated sensor network components**. Materials & Design, Surrey, v. 32, p. 4931-4935, 2011.

LAFUENTE, B. D. R.T; YANG, H. S. N. **The Power of databases: The RRUFF project**. Highlights in Mineralogical Crystallography. P 1- 30, 2015.

MA, Z.; KOTAKI, M.; INAI, R.; RAMAKRISHNA, S. **Potential of Nanofiber Matrix as Tissue-Engineering Scaffolds**. Tissue Engineering, v. 11, p. 101-109, 2005.

MARTINS, A.; ARAUJO, J. V.; REIS, R. L.; NEVES, N. M. **Electrospun nanostructured scaffolds for tissue engineering applications**. Nanomedicine, v. 2, n. 6, p. 929-942, 2007.

MEDEIROS, E. S.; GLENN, G. M.; KLAMCZYNSKI, A. P.; ORTS, W. J.; MATTOSO, L. H. C., **Solution Blow Spinning**, US Patent, 0062.08, 2010.

MEDEIROS, E., S., GLENN, G. M., KLAMCZYNSKI, A. P., ORTS, W. J., MATTOSO, L. H. C., **Solution blow spinning: a new method to produce microand nanofibers from polymer solutions**, Journal of Applied Polymer Science, v. 113, p. 2322–2330, 2009.

OLIVEIRA, J. E. **Nanofibras poliméricas aplicadas em sensores e biosensores**. 2011. 240f. Tese de Doutorados – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, São Paulo.

OLIVEIRA, J. E., MORAES, E. A., COSTA, R. G. F., AFONSO, A., MATTOSO, L. H. C., ORTS, W. J., MEDEIROS, E. S., **Nano and submicrometric fibers of poly(D,L-Lactide) obtained by solution blow spinning: process and solution variables**, Journal of Applied Polymer Science, v. 122 p. 3396-3405, 2011a.

OLIVEIRA, J. E.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; ZUCALOTTO, V. **Poly (lactic acid)/carbon nanotube fibers as novel platforms for glucose biosensors**. Biosensors, v. 2, n. 1, p. 70-82, 2012.

OLIVEIRA, J. E.; ZUCALOTTO, V.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S. **Multi walled carbon nanotubes and poly(lactic acid) nanocomposite fibrous membranes prepared by solution blow spinning**. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, v. 12, n. 3, p. 2733-2741, 2011b.

PHAN, Q. P.; SHARMA, U.; MIKOS, A. G. **Electrospinning of Polymeric Nanofibers for Tissue Engineering Applications: A Review**. *TissueEngineering*, v. 12, p. 1197-1211, 2006.

PLOTEGHER, F.; RIBEIRO, C. **Preparação e Caracterização de Compósitos Poliméricos Baseados em Amido Termoplástico e Materiais de Alta Área Superficial: Zeólita ZSM-5 e Sílica Coloidal**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 23, n. 2, p.236-241, 2013.

SALES, Ricardo José Ferreira. **Materiais Compósitos Reforçados com Nanotubos de Carbono**. 2013. 134 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia Militar, Academia Militar, Lisboa, 2013.

SASIPRIYA, K, SURIYAPRABHA, R., PRABU, P., RAJENDRAN, V.. **Synthesis and characterisation of polymeric nanofibers poly (vinyl alcohol) and poly (vinyl alcohol)/silica using indigenous electrospinning set up**. *Material Resistance*, São Carlos , v. 16, n. 4, p. 824-830, Aug. 2013.

SILVA, T. H.; OLIVEIRA, J. E.; MEDEIROS, E. S. **Obtenção de micro e nanofibras de PVC pela técnica de Fiação por Sopro em Solução**. *Polímeros*, v. 25, n. 2, p. 229-235, 2015.

SLAVUTSKY, Aníbal Marcelo; BERTUZZI, María Alejandra; ARMADA, Margarita. **Water barrier properties of starch-clay nanocomposite films**. *Braz. J. Food Technol.*, Campinas , v. 15, n. 3, p. 208-218, Sept. 2012 .

TEIXEIRA, R. S., OLIVEIRA, G. L., FARIAS, R. C., SILVA, F. D. C., MENEZES, R. R., TEÓFILO, E. T. **Obtenção de nanofibras de sílica pelo método sbs e investigação preliminar de sua aplicação como carga em matriz polimérica**. Natal, RN. 22º CBECIMat, 2016.

TEÓFILO, E. T.; FARIAS, R. M. C.; COSTA, D. L.; NEVES, G. A.; MEDEIROS, E. S.; MENEZES, R. R. **Obtenção de Nanofibras Vinílicas pelo Método de Fiação por Sopro em Solução**, in: Anais do XIV Latin American Symposium on Polymers – XII Ibero American Congresso on Polymers, Porto de Galinhas, Out (2014).

VALENTE, C. A. **Síntese de nanofibras de polipirrol para potencial aplicação em conduto biodegradável para regeneração nervosa**. 2014. 139f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais – PGETEMA – PUC - RS.

VELEIRINHO, B.; LOPES-DA-SILVA J. A. **Application of electrospun poly(ethylene terephthalate) nanofiber mat to apple juice clarification**. *Process Biochemistry*, v. 44, n. 3 p. 353–356, 2009.

WOJASI, M.; PILAREK, M.; CIACH, T. **Comparative studies of electrospinning and solution blow spinning processes for the production of nano fibrous poly ( L- lactic acid )**. *Materials for biomedical engineering*. , v. 16, n. 2, 2011

ZADOROSNY, L. **Produção e Caracterização de Micro e Nanofibras de Poli(fluoreto de vinilideno) – PVDF Obtidos pela Técnica de Fiação por Sopro em Solução**. 2013. 86f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pósgraduação em Ciência dos Materiais Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

## ESTUDO DAS FORÇAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L

Data de aceite: 25/11/2019

**Milla Caroline Gomes**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

**Márcio Bacci da Silva**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

**RESUMO:** Nos processos de microusinagem a espessura e o raio da aresta de corte possuem grandes influências nas forças desenvolvidas durante o processo de corte. Quando a espessura de corte é menor que a mínima, tem-se formação do cavaco ao longo de uma aresta de corte arredondada devido ao tamanho comparável entre a espessura e o raio da aresta de corte, tendo como resultado um aumento não linear da energia específica. Devido as influências da espessura e do raio da aresta de corte na força desenvolvida nos processos de microusinagem, estudos do comportamento destas forças estão sendo realizados para melhorar o entendimento do processo de corte que ocorre na microusinagem. Visando contribuir com o conhecimento sobre este processo, o trabalho irá estudar as forças de corte desenvolvidas no microfresamento do aço

inoxidável austenítico AISI 316L. Para isso será utilizado microfresas de metal duro revestidas com (Al, Ti)N da Mitsubishi Materials, que possuem diâmetro de corte de 400  $\mu\text{m}$ . Os sinais da força serão adquiridos por meio da utilização de um dinamômetro e amplificador de sinais da Kistler, juntamente com uma placa de aquisição da National Instruments e um computador com o software LabView Signal Express para leitura dos sinais. Como resultado, espera-se obter as forças de corte desenvolvidas durante o microfresamento utilizando um dinamômetro convencional.

**PALAVRAS-CHAVE:** microusinagem, microfresamento, forças de corte, aço inoxidável

**STUDY OF CUTTING FORCES IN AISI  
316L AUSTENITIC STAINLESS STEEL  
MICROMILLING**

**ABSTRACT:** In micromachining processes the thickness and radius of the cutting edge have major influences on the forces developed during the cutting process. When the cutting thickness is less than the minimum, chip formation occurs along a rounded cutting edge due to the comparable size between the thickness and radius of cutting edge, resulting in a nonlinear increase in specific energy. Due to the influence of thickness and radius of cutting edge on the force developed in micromachining processes,

studies of the behavior of these forces are being developed to improve understanding of the cutting process that occurs in micromachining. In order to contribute to the knowledge about this process, the work will study the cutting forces developed in the micro milling of austenitic stainless steel AISI 316L. For this it will be used WC microtools coated with (Al, Ti) N from Mitsubishi Materials, with a diameter of 400 µm. Force signals will be acquired using a Kistler dynamometer and signal amplifier, along with a National Instruments acquisition board and a computer with LabView Signal Express software for signal reading. As a result, it is expected to obtain the cutting forces developed during the micromilling using a conventional dynamometer.

**KEYWORDS:** micromachining, micromilling, cutting force, stainless steel

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos processos de microusinagem a redução da espessura de corte não possui o mesmo efeito nas forças de corte quando comparado com os processos convencionais, as quais são diretamente influenciadas pela formação do cavaco (CHENG; HUO, 2013; CHAE, PARK; FREIHEIT, 2006).

Com relação as forças de corte o efeito da espessura é incerto, ao mesmo tempo que a força é elevada devido ao aumento da seção transversal do cavaco, a mesma é reduzida, uma vez que nesta condição o ângulo de saída efetivo da ferramenta se torna mais positivo, o que diminui a ocorrência do *ploughing* (Bissacco; Hansen; De Chiffre, 2005).

A diminuição não proporcional entre a força e a espessura de corte tem como consequência o aumento na energia específica, a qual é definida como a quantidade de energia consumida na remoção de um volume unitário de material e é determinada pela razão entre a potência de corte e taxa de remoção (Cheng; Huo, 2013).

Nos processos de microusinagem devido ao tamanho comparável entre a espessura e o raio da aresta de corte, a formação do cavaco ocorre ao longo de uma aresta de corte arredondada. Isto faz com que um grande volume de material seja deformado plasticamente para que somente uma pequena parte seja transformada em cavaco, tendo como resultado um aumento não linear da energia específica de corte. Isto ocorre quando a espessura de corte é menor que a mínima, o que leva a ocorrência dos fenômenos do atrito e do *ploughing*, que aumentam a quantidade de energia dissipada no processo, mas não contribuem com a remoção de material (Chae; Park; Freiheit, 2006; Ng Et al., 2006).

É importante determinar as forças de corte teoricamente por meio de modelos que são desenvolvidos para prever a potência de corte necessária na usinagem (Machado et al., 2011). Sendo assim, o modelo analítico das forças de corte dos processos de usinagem convencionais, baseado na seção transversal de um cavaco

a ser retirado, foi refinado para os processos de microusinagem ao ser acrescentado a parcela referente a ocorrência do *ploughing*. Na Equação 1.1 tem-se o modelo utilizado na microusinagem, onde a força de corte ( $F_c$ ) é dada em função da pressão específica de corte ( $k_s$ ), da área da seção transversal de um cavaco a ser formado, a qual é determinada pelo produto da largura de corte ( $b$ ) pela espessura de corte ( $h$ ), além da contribuição do *ploughing*, dada pelo produto do coeficiente da aresta de corte ( $k_e$ ) pela largura de corte ( $b$ ) (Cheng; Huo, 2013).

$$F_c = k_s b h + k_e b \quad 1.1$$

Diante das influências da espessura e do raio da aresta de corte na força de corte para os processos de microusinagem, estudos do comportamento das forças estão sendo desenvolvidos para melhorar o entendimento dos processos de microusinagem, uma vez que as forças estão correlacionadas com o desgaste das microferramentas de corte e com a estabilidade do processo (Cheng; Huo, 2013; Jin; Altintas, 2013). Nestes estudos são encontrados modelos numéricos, analíticos, e simulações por elementos finitos para determinação das forças (Araujo; Mougo; De Oliveira Campos, 2013; Yuan et al., 2018).

Um exemplo da aplicação de modelagem analítica foi apresentado no trabalhado de Kang et al. (2007). Neste os autores desenvolveram um modelo analítico para prever as forças de corte desenvolvidas em uma microfresa de topo, considerando o raio da aresta de corte da ferramenta. Os resultados obtidos pelo modelo foram validados a partir da realização do microfresamento da liga de alumínio Al7075, com microfresas de metal duro de 200  $\mu\text{m}$  de diâmetro.

Como resultado os pesquisadores observaram que ao considerar o raio da aresta de corte no modelo, os resultados obtidos para a força na direção normal não foram tão superiores aos valores das forças na direção do avanço, sendo este resultado diferente dos encontrados nos processos de usinagem convencional e em trabalhos de microfresamento que desenvolveram modelagem das forças de corte, porém, não consideraram o efeito do raio da aresta de corte da microferramenta. A explicação para a pequena diferença encontrada entre as forças, nestas duas direções, foi dada pela atuação de uma força de atrito, causada pelo contato entre a ferramenta e a peça de trabalho na superfície de folga. Além disso, foi concluído que as forças de corte previstas pelo modelo foram consistentes com as encontradas experimentalmente.

Já Afazov, Ratchev e Segal (2010) utilizaram do método de elementos finitos (finite element method - FEM) para prever as forças de corte durante o microfresamento do aço AISI 4340. Os autores desenvolveram um modelo analítico para determinação da espessura de corte, considerando a trajetória da ferramenta para diferentes

parâmetros de usinagem (avanço, velocidade de corte, raio da aresta de corte e a quantidade de arestas das microfresas), além de levar em conta a ocorrência de batimento radial. Com base no modelo de elementos finitos, foi determinada uma equação não linear para representar a relação entre as forças de corte, a espessura e a velocidade de corte. Com esta relação foi possível prever as forças para cada condição de corte utilizada, isso foi confirmado pela validação dos resultados a partir de ensaios experimentais.

Com o objetivo de estudar as forças de corte desenvolvidas na microusinagem, este trabalho irá realizar análises dos sinais da força no microfresamento do aço inoxidável austenítico AISI 316L, utilizando microfresas de metal duro, revestidas com (Al, Ti)N com 400  $\mu\text{m}$  de diâmetro de corte.

## 2 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O material de trabalho será o aço inoxidável austenítico AISI 316L. Este material foi o escolhido para a realização dos ensaios, por possuir, dentre outras características, alta resistência à corrosão e boas propriedades mecânicas, o que torna-o biocompatível. Devido a isso, o mesmo é utilizado em vários setores para a produção de microcomponentes. Assim, é extremamente necessário estudá-lo, para compreender o seu comportamento quando microusinado.

O microfresamento será o processo usado na realização dos ensaios para a fabricação de microcanais. Assim, a máquina-ferramenta utilizada será a microfresadora fabricada pela empresa Minitech Machinery Corporation® modelo CNC Mini-mill/GX. Esta possui rotação do eixo árvore máxima de 60 000 rpm. A máquina é constituída por 3 eixos com resolução de posicionamento de 0,1  $\mu\text{m}$ . A mesma se encontra localizada sob uma mesa inercial, especialmente projetada para diminuir a influência de vibrações de fontes externas durante a realização da microusinagem. Na Figura 1 tem-se uma imagem da máquina-ferramenta utilizada.

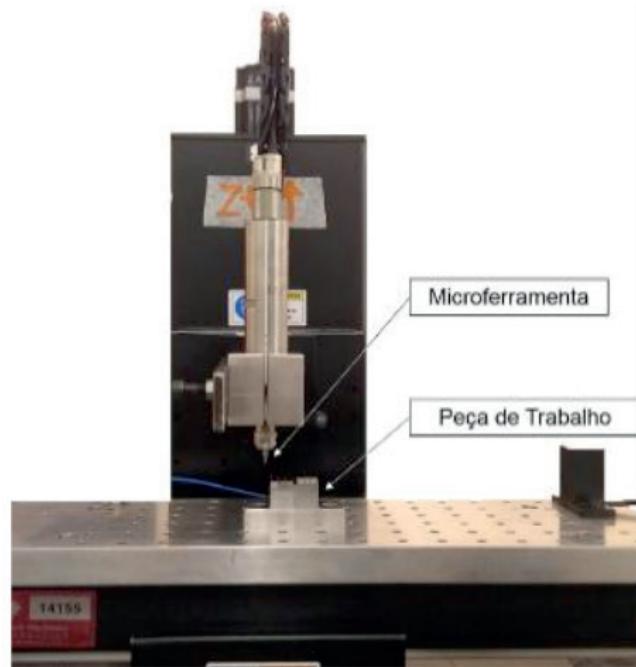


Figura 1 - Microfresadora CNC Mini-mill/GX

As microferramentas empregadas na realização dos ensaios serão microfresas inteiriças de metal duro, revestidas com (Al, Ti)N, constituídas por duas arestas de corte, fabricadas pela Mitsubishi Materials. Estas microfresas possuem diâmetro de corte (DC) igual a  $400 \mu\text{m}$ , comprimentos de corte (APMX) igual a  $800 \mu\text{m}$ , diâmetro (DCON) e comprimento (LF) da haste iguais a 4 mm e 40 mm, respectivamente. A Fig. 2 mostra uma ilustração das microferramentas utilizadas, com a identificação de cada parâmetro geométrico especificado.

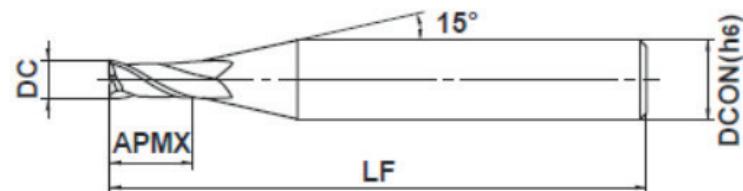


Figura 2. Parâmetros geométricos das microfresas

A aquisição dos sinais de força será realizada por meio da utilização de um dinamômetro, amplificador de sinais, placa de aquisição, apresentados na Fig. 3, e um computador com o *software* LabView Signal Express para leitura dos sinais.

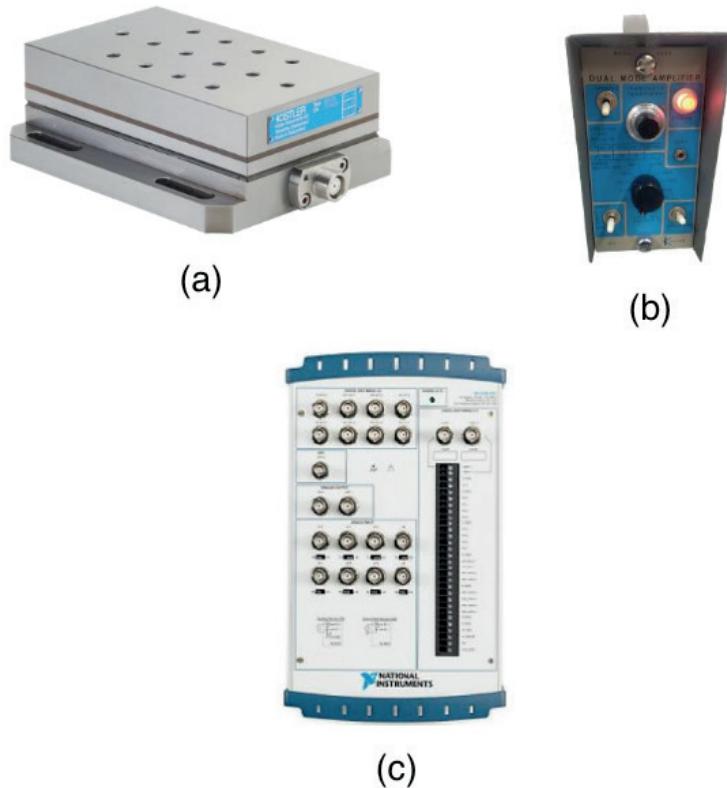


Figura 3. Equipamentos para a aquisição da força de corte (a) dinamômetro, (b) amplificador de sinais e (c) placa de aquisição

O dinamômetro utilizado será da marca Kistler do tipo 9257B, o qual possui sensibilidade igual a 7,5 pC/N e frequência natural de 3,5 kHz. O condicionamento dos sinais da força de corte será realizado pelo amplificador de carga da marca Kistler modelo 504E e será utilizada a placa da National Instruments NI USB-6551 para realizar a conversão do sinal analógico para o digital.

Então, pela realização dos ensaios será possível desenvolver uma metodologia para medir as forças de corte desenvolvidas no microfresamento, utilizando o sistema de aquisição descrito. Além disso, por meio deste trabalho será possível estudar os efeitos dos parâmetros de corte nas forças de corte adquiridas, correlacionando-os com o efeito escala.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU, e às agências de fomento governamentais CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro. Agradecemos também à comissão organizadora do POSMEC 2019.

## REFERÊNCIAS

- AFAZOV, S. M.; RATCHEV, S. M.; Segal, J. Modelling and simulation of micro-milling cutting forces. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 210, n. 15, pp. 2154-2162, 2010.
- ARAUJO, A. C.; MOUGO, A. L.; DE OLIVEIRA CAMPOS, F. Micromilling Cutting Force on Machining Aluminium Alloy. In: **8th International Conference Micromanufacturing (ICOMM)**, 2013.
- BISSACCO, G.; HANSEN, H. N.; SLUNSKY, J., Modelling the cutting edge radius size effect for force prediction in micro milling, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Vol. 57, n° 1, pp. 113–116, 2008.
- CHAE, J.; PARK, S. S.; FREIHET, T. Investigation of Micro-Cutting Operations. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Vol. 46, n° 3-4, pp. 313-332, 2006.
- CHENG, K.; HUO, D. **Micro-Cutting – Fundamentals and Applications**. Ed. Wiley, United Kingdom, 2013, 366p.
- JIN, X.; ALTINTAS, Y. Chatter stability model of micro-milling with process damping. **Journal of manufacturing science and engineering**, Vol. 135, n. 3, pp. 1-9, 2013.
- KANG, I. S.; KIM, J. S.; KIM, J. H.; KANG, M. C.; SEO, Y. W. A mechanistic model of cutting force in the micro end milling process. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 187, pp. 250-255, 2007.
- MACHADO, A. R.; SILVA, M. B.; COELHO, R.T.; ABRÃO, A.M. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2a edição. São Paulo: Blucher, 2011.
- NG, C.K.; MELKOTE, S.N.; RAHMAN, M.; KUMAR, A. S. Experimental study of micro- and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Vol. 46, n. 9, pp. 929–936, 2006.
- YUAN, Y.; JING, X.; EHMANN, K. F.; CAO, J.; LI, H.; ZHANG, D. Modeling of cutting forces in micro end-milling. **Journal of Manufacturing Processes**, Vol. 31, pp. 844-858, 2018.

## PROJETO E CONSTRUÇÃO DE FORNO DIDÁTICO PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO

Data de aceite: 25/11/2019

Data de submissão: 13/10/2019

### Carlos Eduardo Costa

UNINTER, Escola Superior Politécnica  
Curitiba – PR

<http://lattes.cnpq.br/3150944563721123>

### Jefferson Maiko Luiz

UNISOCIESC, Dep. de Eng. Mecânica  
Curitiba – PR

### Ivan Rodrigues dos Santos

UNISOCIESC, Dep. de Eng. Mecânica  
Curitiba – PR

### Emerson da Silva Seixas

UNINTER - Escola Superior Politécnica  
Curitiba – PR

<http://lattes.cnpq.br/4299735816566579>

### Milton Luis Polli

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Curitiba - PR

<http://lattes.cnpq.br/3005966147961108>

engenharias as práticas de laboratório e os trabalhos de conclusão de curso tem atuado neste seguimento tendo por objetivo propiciar ao acadêmico condições que em breve farão parte de sua vida profissional. Diante do fato, o objetivo deste trabalho é apresentar resultados do desenvolvimento teórico e prático de um forno a gás para fundição de alumínio. O projeto foi executado tendo por base uma estrutura de aço, cimento refratário, manta de fibra cerâmica e tijolo isolante. O processo de aquecimento foi realizado com um queimador a gás GLP. As paredes do forno foram dimensionadas com 150 mm de espessura. Testes realizados atingiram 704 °C em 70min de operação. Foram fundidos 850g de alumínio da liga *AlSi9Cu3* em 50min. O dimensionamento e a combinação de materiais com propriedades refratárias e isolantes conduziram a resultados bem próximos aos calculados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processo de Fundição, Forno didático, Prática acadêmica.

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF A

### DIDACTIC OVEN FOR ALUMINUM CASTING

**ABSTRACT:** The degree of demand from the professional market towards the egress is increasing, regardless of the level (technical, undergraduate or graduate). Different forms have been adopted in order to enable the

**RESUMO:** Cada vez é maior o grau de exigência do mercado profissional para com o egresso independentemente do nível (técnico, graduado ou pós-graduado). Diferentes formas tem sido adotadas tendo em vista capacitar o aluno ainda durante sua vida acadêmica. No caso da graduação especialmente no caso das

student even during his academic life. In the case of undergraduate studies, especially in the case of engineering, laboratory practices and course completion works have been acting in this follow-up aiming to provide the academic conditions that will soon be part of their professional life. In this context, the objective of this paper is to present results of the theoretical and practical development of a gas oven for aluminum casting. The project was executed based on a steel structure, refractory cement, ceramic fiber blanket and insulating brick. The heating process was performed with a LPG gas burner. The furnace walls were dimensioned with 150 mm thickness. Tests performed reached 704 °C in 70min of operation. 850g of  $AlSi_9Cu_3$  alloy aluminum were melted in 50 min. The sizing and combination of materials with refractory and insulating properties led to experimental results very close to calculated ones.

**KEYWORDS:** oven for aluminum casting; laboratory practices, professional life.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com certeza a capacitação profissional é a base para a ascensão de um indivíduo e por consequência da nação promovendo a longevidade e qualidade de vida. Também é sabido que tanto a evolução tecnológica como a filosófica tem por base as instituições de ensino independentemente do grau a que se refere (técnico, graduação ou pós graduação). Especialmente quando tratado da graduação cada vez maiores exigências tem sido feitas quanto aos profissionais recém graduados quanto a experiência prática sobre a área de formação somado aos conhecimentos gerais e língua estrangeira. Deste modo a interdisciplinaridade é ponto essencial na formação acadêmica. Tendo em vista tal objetivo cada vez maior valor tem sido dado a interatividade entre teoria e prática no ensino de graduação especialmente na disciplina TCC (trabalho de conclusão de curso). Nesta linha o presente trabalho apresenta resultados de estudos, projeto e desenvolvimento de um forno inicialmente com finalidade didática para fundição da liga de alumínio.

## 2 | CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO

Quanto à natureza, este trabalho caracteriza-se como aplicado uma vez que tem por objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática bem como dirigido a solução problema específico. E quanto a abordagem é do tipo quantitativo, pois visa quantificar dados, opiniões e documentos (Silva, 2005).

## 3 | O ALUMÍNIO

A figura 1 apresenta as etapas para a obtenção do alumínio desde a mineradora,

o transporte ao beneficiamento.

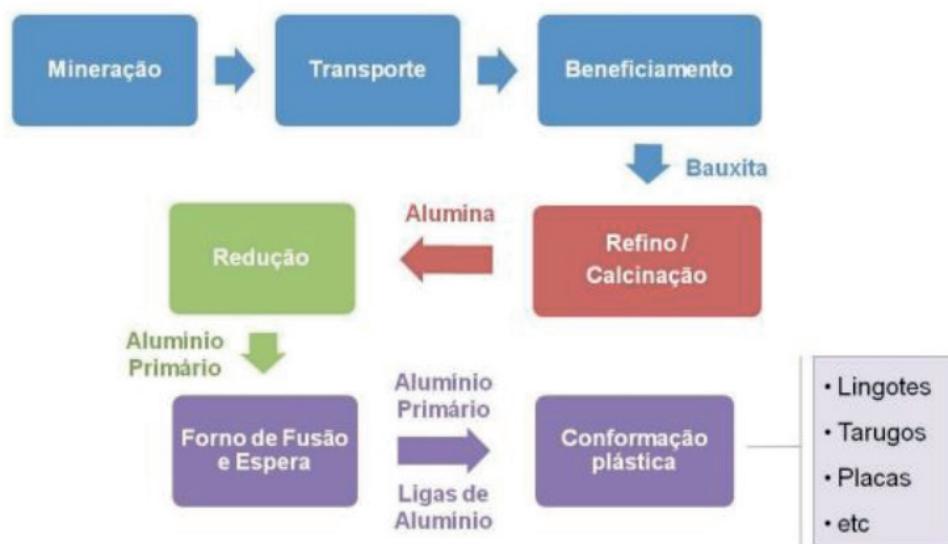


Figura 1. Fluxograma para obtenção do alumínio.

De acordo com o ABAL (Associação Brasileira de Alumínio) o alumínio é o terceiro material mais utilizado no meio industrial sendo sobreposto apenas pelo aço. Tem como principais vantagens a baixa densidade relativa, a alta resistência à oxidação, a facilidade de manufatura. Devido principalmente as propriedades citadas o alumínio encontra lugar de destaque nos setores elétrico, estruturais especialmente em aeronaves, na construção civil, instrumentos domésticos com destaque na fabricação de embalagens. Atualmente tem também encontrado lugar de destaque na indústria automotiva na fabricação de blocos de motores, pistões e distribuidores. Além do vasto campo de aplicação e propriedades acima referidas soma-se ao alumínio o alto poder de reciclagem com pequena perda das propriedades físicoquímicas quando refundido.

## 4 | OS FORNOS

Semelhante aos aços, o alumínio líquido é obtido através da fundição em fornos específicos, sendo que neste caso estes podem possuir mais de um tipo de classificação. Normalmente os fornos são identificados pela fonte de energia usada (elétricos ou a combustível) e pelo modo operacional (cadinho, revérbero, de cuba, etc.) (BALDMAN; VIEIRA, 2014). Como principais processos aplicados para a solidificação do alumínio destacam-se os processos de moldagem em areia, moldagem em casca, sob pressão, *shell molding*, fundição de precisão, centrífuga e alta precisão. Salienta-se que a escolha do processo adequado está relacionado as dimensões e geometria da peça, do tipo de liga a ser fundida, do número de peças a ser produzido e da qualidade superficial desejada. Além da escolha do processo e

parâmetros tecnicamente viável, pondera-se o lado econômico.

A figura 2 apresenta a classificação do alumínio quanto a sua aplicação nas principais áreas e formas.

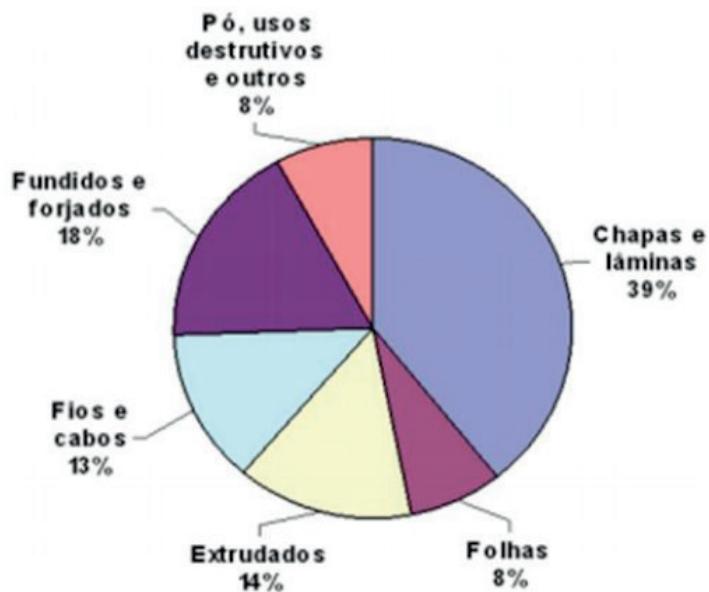


Figura 2. Classificação do alumínio quanto a aplicação (ABAL, 2008).

## 5 | A INTERDISCIPLINARIDADE

A atividade prática no ensino superior especialmente nos cursos de Engenharia é de grande relevância no processo de capacitação destes futuros profissionais. O completo entendimento dos processos de fabricação e das lógicas industriais transforma estudantes de Engenharia em Engenheiros com a capacidade de projetar, desenvolver e manter equipamentos e processos em alta produtividade. No caso específico deste trabalho diversas áreas da relação ensino-aprendizado foram aplicadas com destaque ao desenho técnico por meio de um software CAD, o dimensionamento característico da estrutura propriamente dita, a seleção de materiais (metálicos e refratários), a termodinâmica, o ponto de fusão dos materiais e a segurança no ambiente acadêmico e laboral. Em todas as fases buscou-se a melhor relação custo-benefício e meio ambiente (Callister,W., 2002).

## 6 | MATERIAIS E MÉTODOS

Independentemente do tipo de forno o funcionamento obedece às seguintes etapas: carregamento do material sólido, acionamento dos queimadores e observação da temperatura até que a carga alcance o ponto de fusão. Após a fusão do material remove-se a escória que se formará na superfície do cadiño, realimentando o sistema e repetindo a operação até que alcançado o momento para o vazamento do

material líquido no molde da peça com a geometria desejada.

## 6.1 O projeto

A figura 3 apresenta o fluxograma das atividades aplicadas no desenvolvimento deste trabalho. Como premissas do projeto consideram-se: a finalidade, o material a ser fundido, a capacidade de fundição, o tipo de aquecimento, e a troca do calor necessária e resultante do processo. Quanto ao dimensionamento inicial / materiais: atividades simultâneas, os cálculos de trocas de calor para definição das espessuras dos isolantes, as propostas de layout e, a pesquisa de materiais e fornecedores. Quanto ao projeto final: o esboço, o modelamento 3D e detalhamento 2D em software CAD, as informações completas de lista de materiais.

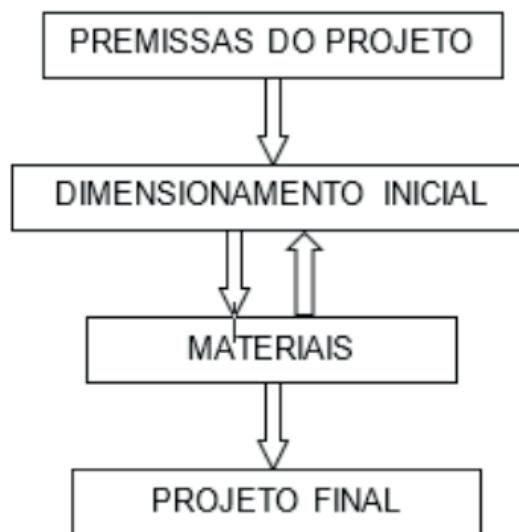


Figura 3. Fluxograma de atividades.

Considerando as premissas estabelecidas e a desejada relação custo-benefício chegou-se as respostas quanto ao projeto idealizado: forno para fins didáticos, alumínio o material a ser fundido, capacidade de fundição do forno de 2 litros, tipo queimador a gás e, temperatura interna 800°C e temperatura externa 50°C.

## 6.2 O desenvolvimento

Para a determinação das temperaturas teórica e prática visando os materiais, custo e segurança adequadas é de fundamental importância a determinação dos fenômenos responsáveis pela fusão dos materiais envolvidos na fabricação do forno e o material a ser fundido (BRAGA F. W., 2006). A figura 4 apresenta as quatro propostas iniciais considerando como 2 litros o volume idealizado para o alumínio fundido e temperatura interna de 800°C. As dimensões são resultados da utilização somente cimento refratário como isolante. A tabela 1 apresenta os valores de saída para as quatro situações. Interessante observar os diferentes valores para as paredes

isolantes inviabilizando a fabricação do forno.

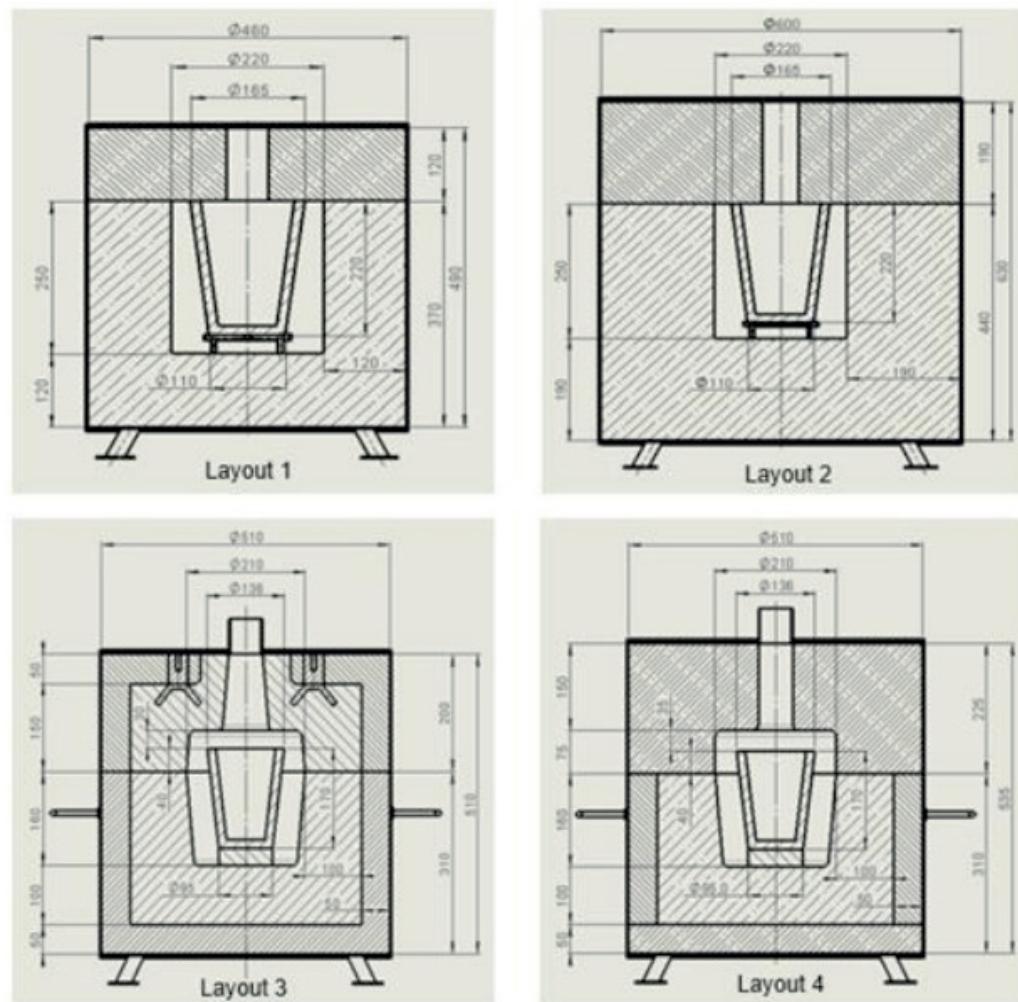


Figura 4. Layouts pré-dimensionados.

Layout	Tamanho do cadrinho (l)	Espessura do cimento refratário na base (mm)	Espessura do cimento refratário na tampa (mm)	Espessura da manta cerâmica na base (mm)	Espessura da manta cerâmica na tampa (mm)	Espessura tijolo isolante no fundo (mm)
1	2	120	120	-	-	-
2	2	190	190	-	-	-
3	1	100	100	50	50	-
4	1	100	-	50	150	50

Tabela 1. Dados de saída para o dimensionamento inicial.

Diante do fato acima partiu-se para novas pesquisas de materiais visando a otimização do projeto. Para tanto foi reduzido o cadrinho de 2 para 1 litro, introduzido manta de fibra cerâmica como segundo material isolante no entorno do concreto refratário. Tal escolha foi realizada devido à baixa densidade específica, 2,73 g/cm<sup>3</sup> e ao baixo coeficiente de condutividade térmica, 0,25 W/m°C. O cadrinho utilizado para foi da Linha Carbeto de Silício, Tipo A/F 6, com capacidades de 1,08l, o que equivale à 2,7 kg de alumínio. São recomendados para temperaturas de até 1300 °C. A Manta

refratária utilizada foi o modelo B6 com  $96 \text{ kg/m}^3$  de densidade tendo por principal característica ser um isolante de alta refratariedade. O cimento refratário utilizado foi o da marca EKW, modelo Cast 31/6 com capacidade para suportar temperaturas até  $1550^\circ\text{C}$  e densidade de  $2400 \text{ kg/m}^3$ . O tijolo refratário isolante utilizado foi do tipo paralelo 800 e de densidade  $800 \text{ kg/m}^3$ , recomendado para uso em zonas de aquecimento e resfriamento de fornos industriais com elevadas temperaturas devido ao seu baixo peso e baixa condutividade térmica e consequente otimização no uso do poder calorífico do forno.

## 7 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 apresenta o projeto final do forno em corte destacando os principais componentes e também a vista isométrica. Como principais características destacam-se: manta de fibra cerâmica na tampa, com alto isolamento e baixo peso para abertura e fechamento, a combinação de cimento refratário que ficará em contato com a chama e manta de fibra cerâmica para isolamento, e o tijolo refratário no fundo para suportar o peso do cimento refratário.

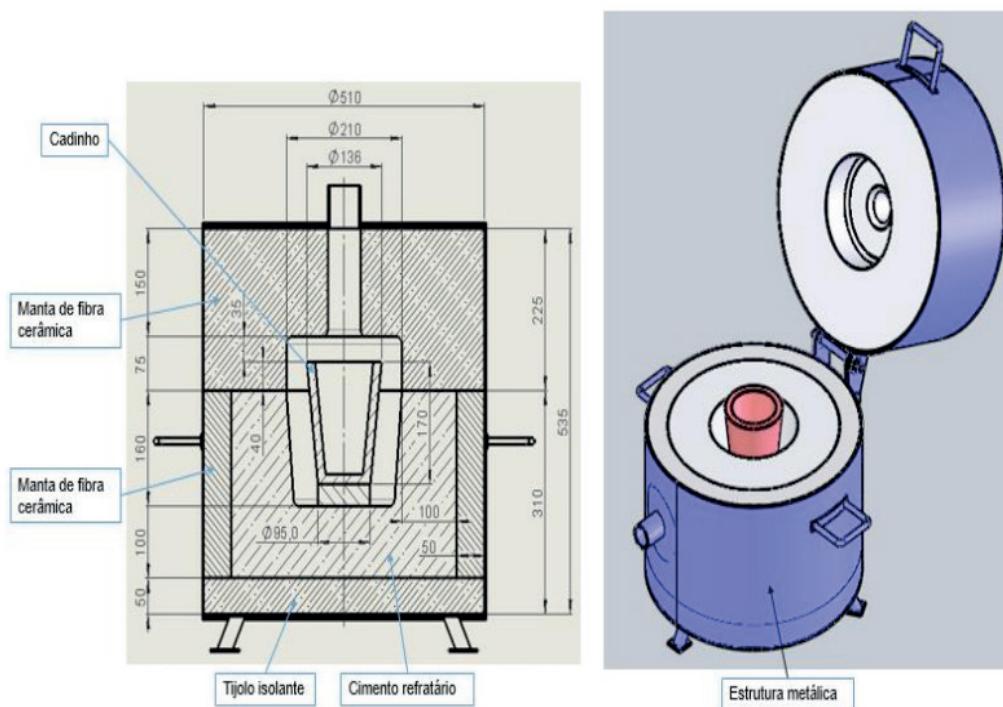


Figura 5. Projeto do forno.

A figura 6 apresenta detalhes dos elementos e etapas realizadas na construção do forno didático culminando com o vazamento.



Figura 6. Elementos e etapas para a construção do forno didático.

Após a construção do protótipo do forno, foram realizados testes iniciais para verificação do funcionamento do equipamento. Foi utilizado 850g de alumínio da liga *AlSi9Cu3*. A tabela 2 apresenta resultados de medições realizadas ao longo de setenta minutos em quatro pontos diferentes do forno. Sendo o primeiro ponto próximo ao material fundido, segundo ponto na tampa superior próximo a saída de ar, terceiro ponto na lateral da tampa, e quarto ponto na lateral da base na face oposta a chama. A tabela 3 apresenta os valores verificados considerando o tempo e a posição de tomada da temperatura.

Tempo (min)	Temperatura interna (°C)	Temperatura tampa sup. (°C)	Temperatura lateral tampa (°C)	Temperatura base lateral (°C)	Temperatura ambiente (°C)
0	25	25	25	25	25
5	118	30	25	25	25
10	240	59	24	24	24
15	342	67	23	27	23
20	423	78	24	27	23
25	490	88	24	28	23
30	537	99	25	28	23
35	554	112	26	27	22
40	565	116	28	29	22
45	565	116	28	29	22
50	584	127	29	32	22
55	615	140	29	32	22
60	656	136	30	32	21
65	686	137	30	33	20
70	704	136	32	35	20

Tabela 3. Temperatura em função da posição de verificação.

A figura 7 apresenta a curva de aquecimento do forno. Por meio desta verifica-se que entre 35 e 45 minutos tendo a temperatura estabilizado a 565 °C, pois neste ponto o material estava passando do estado sólido para o líquido. No tempo de 50 minutos o alumínio estava totalmente líquido e a temperatura era de 584 °C.

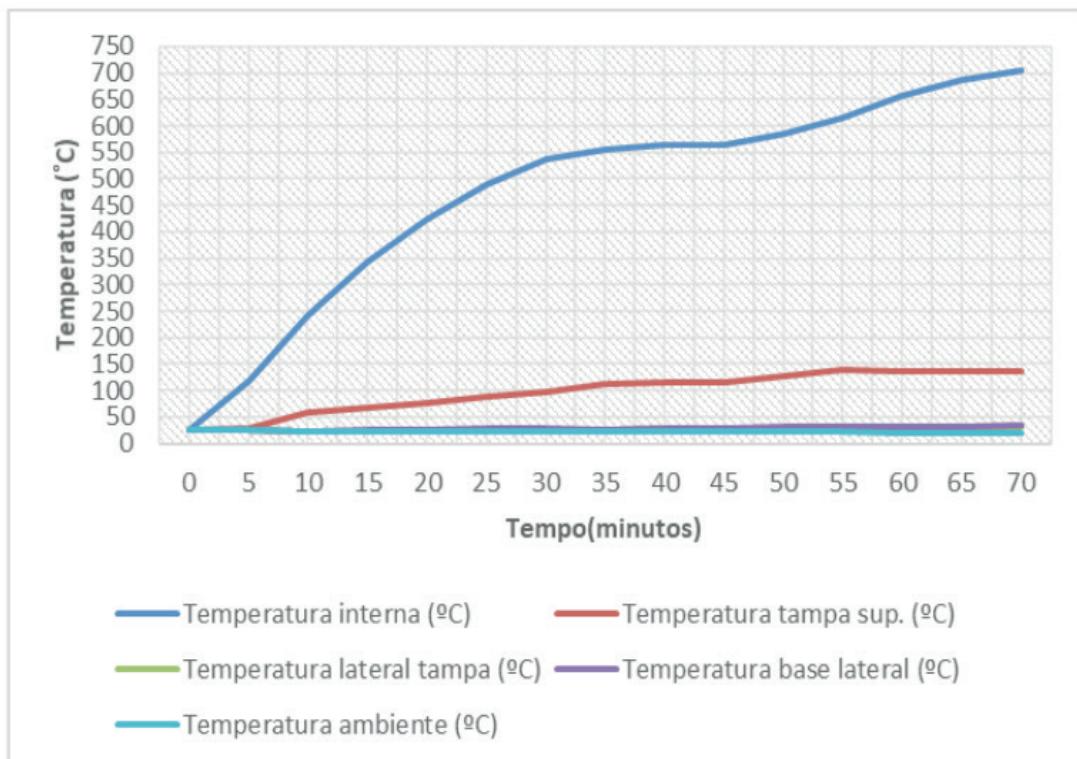


Figura 7. Temperatura em função do tempo para diferentes posições do forno.

## 8 | CONCLUSÕES

A metodologia de cálculo de transferência de calor se mostrou adequado no sentido do fluxo, sendo verificadas temperaturas próximas as calculadas na tampa superior. Porém, a técnica de análise para dimensionar a paredes laterais merece revisão.

Além da proposta inicial da utilização para fins didáticos o forno também é indicado para a fabricação de peças como ornamentos de pequeno volume.

A interdisciplinaridade foi plenamente atendida com destaque a relação custo x benefício, segurança e volume final desejado.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira do Alumínio – ABAL, **Fundamentos e aplicações do alumínio**, São Paulo, 2007.
- BALDMAN, R. L.; VIEIRA, E. A.. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**, São Paulo, Saraiva, 2014.
- Braga F. W. **Fenômenos de Transporte para Engenharia**, 1ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- Callister, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia dos Materiais**, 5ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002.
- SILVA, E. L; MENEZES, E. M.. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**, 4 ed. Florianópolis, 2005

## QUANTIFICAÇÃO DE HIDROGÊNIO EM CORPOS DE PROVA DE UM AÇO ARBL PARA ENSAIOS DE PUNCIONAMENTO ESFÉRICO

Data de aceite: 25/11/2019

**Luiz Fernando Maia de Almeida**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

**Rosenda Valdés Arencibia**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

**Sinésio Domingues Franco**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

**RESUMO:** Neste trabalho foi determinado o tempo de saturação de hidrogênio em corpos de prova de um aço de alta resistência e baixa liga (ARBL) utilizados em ensaios de punctionamento esférico. Para tanto, realizou-se permeação de hidrogênio via proteção catódica durante diferentes intervalos de tempo e mediu-se a quantidade de hidrogênio difusível utilizando o método de extração a quente por corrente de gás. Foi observado que a quantidade de hidrogênio nos corpos de prova cresce significativamente quando variado o tempo de permeação de 0,5 h até 2 h. Foi possível concluir que o tempo para saturar os corpos de prova avaliados com hidrogênio

está entre 2 h e 3 h e que a permeação de hidrogênio em um tempo superior a 3 h não acrescenta hidrogênio ao corpo de prova de maneira significativa, mostrando a importância na otimização do tempo de ensaio.

**PALAVRAS-CHAVE:** permeação de hidrogênio, tempo de saturação, ensaios de punctionamento esférico.

### HYDROGEN CONTENT DETERMINATION OF HIGH STRENGTH STEEL SMALL PUNCH TEST SPECIMENS

**ABSTRACT:** In this study, the hydrogen saturation time of high strength low alloy steel specimens used in small punch tests was determined. Hydrogen charging was performed under cathodic protection during different time intervals and the carrier gas hot extraction technique was used for diffusible hydrogen measurement. Hydrogen content in the specimens increased significantly for charging times from 0.5 h to 2 h. From 2 h, the specimens tend to saturation. It was concluded that for the specimens evaluated in this study, the saturation time is between 2 h and 3 h; and a hydrogen charging time greater than 3 h does not add hydrogen to the specimen significantly, showing the importance in the optimization of the test time.

**KEYWORDS:** hydrogen charging, saturation

time, small punch test.

## 1 | INTRODUÇÃO

A fragilização por hidrogênio ( $H_2$ ) é um fenômeno severo que afeta quase todos os metais e ligas, dependendo do meio em que estão inseridos (Barnoush; Vehoff, 2010). Devido ao hidrogênio apresentar diâmetro atômico muito pequeno e fácil mobilidade no estado sólido, ele se difunde facilmente no material, provocando a concentração de tensões e introduzindo defeitos microestruturais, levando, consequentemente, à fragilização dos materiais.

A difusão de hidrogênio nos aços pode ocorrer mediante carregamento catódico na presença de soluções eletrolíticas ou em atmosferas gasosas em alta pressão contendo hidrogênio. Grande parte das peças utilizadas na indústria de óleo e gás é submetida à proteção catódica, com objetivo de reduzir a perda de massa por corrosão. No entanto, durante esse processo há geração de hidrogênio, podendo acarretar na fragilização e consequente falha dos componentes em operação (falha assistida pelo meio). De acordo com Silva *et al.* (2007), cerca de 25 % das falhas ocorridas neste tipo de indústria estão associadas à presença do hidrogênio na microestrutura dos metais.

Existem diversas formas para se avaliar a susceptibilidade dos aços à fragilização por hidrogênio, dentre elas: o ensaio de tração com baixa taxa de deformação (BTD), o carregamento em patamares progressivos em meio assistido (*Rising Step Load* - RSL), o deslocamento da abertura da trinca (*Crack Tip Opening Displacement* - CTOD), os ensaios de tração com carga constante, a nanoindentação instrumentada e os ensaios de punctionamento esférico (*Small Punch Test* - SPT). O SPT é uma técnica que consiste em carregar um corpo de prova (CP) por meio de um punção esférico, onde são medidos a força exercida pelo punção e o deslocamento. A partir da curva de resposta é possível avaliar propriedades mecânicas, tais como: limite de escoamento, limite de resistência e propriedades de fluência. Este ensaio tem como vantagem principal o pequeno volume de material necessário para ser testado, possibilitando a avaliação de componentes que estão em equipamentos em operação. Geralmente são utilizados CPs na forma de disco com aproximadamente 8 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura (CWA 15627, 2007).

A utilização dessa técnica no estudo da fragilização por hidrogênio é relativamente recente, e, por isso, há poucos resultados disponíveis na literatura (García *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2017). Todavia, essa técnica apresenta um grande potencial no estudo desse fenômeno, haja vista que as dimensões do CP são relativamente pequenas, o que reduz o tempo de saturação do hidrogênio. Assim, o

objetivo deste trabalho é determinar o tempo de saturação de hidrogênio nos corpos de prova fabricados em um aço de alta resistência e baixa liga (ARBL) para ensaios de punctionamento esférico por meio de uma permeação anterior ao ensaio.

## 2 | METODOLOGIA

A quantificação de hidrogênio nos corpos de prova foi realizada em um analisador de extração a quente G4 PHOENIX DH, da marca Bruker, com resolução de 0,01 µg/g, mostrado na Fig. 1. Para tanto foi utilizado o método de extração a quente por corrente de gás em um forno tubular com um detector de condutividade térmica (*thermal conductivity detector* - TCD) acoplado. O gás de arraste utilizado foi o nitrogênio com pureza de 99,999 % (N<sub>2</sub> 5.0). Esse gás é utilizado devido à grande diferença da sua condutividade térmica quando comparado ao hidrogênio (Salmi *et al.*, 2015).

Os CPs analisados neste trabalho possuem formato de um disco com 8 mm de diâmetro e 0,350 mm de espessura, tendo a mesma geometria dos utilizados nos ensaios SPT, de modo a reproduzir as mesmas condições de difusão de hidrogênio. Estes foram fabricados a partir de um aço de alta resistência e baixa liga, denominado aço F, cuja composição química e propriedades mecânicas são mostradas nas Tab. 1 e Tab. 2, respectivamente.

C	S	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	Mo	V	Al
0,290	0,0032	0,769	0,315	1,48	0,216	0,126	0,691	0,0097	0,0383

Tabela 1: Composição química do aço F

Módulo de Elasticidade E (GPa)	Limite de Escoamento $\sigma_y$ (MPa)	Limite de resistência a tração $\sigma_{ut}$ (MPa)	Dureza (HV10)
210	775,83	848,42	266,6

Tabela 2: Propriedades mecânicas do aço F

A permeação de hidrogênio foi realizada por meio de proteção catódica, em uma célula eletroquímica com fluido eletrolítico (água deionizada com 3,5 % de NaCl grau técnico) e três eletrodos (Fig. 2). Foi utilizado um eletrodo de Ag/AgCl como referência, uma placa de grafite como contra eletrodo e o corpo de prova como eletrodo de trabalho. Foi aplicada uma tensão elétrica constante de -1,2 V considerando diferentes intervalos de tempos a fim de determinar o tempo de saturação do corpo de prova.



Figura 1: Analisador de hidrogênio por extração a quente

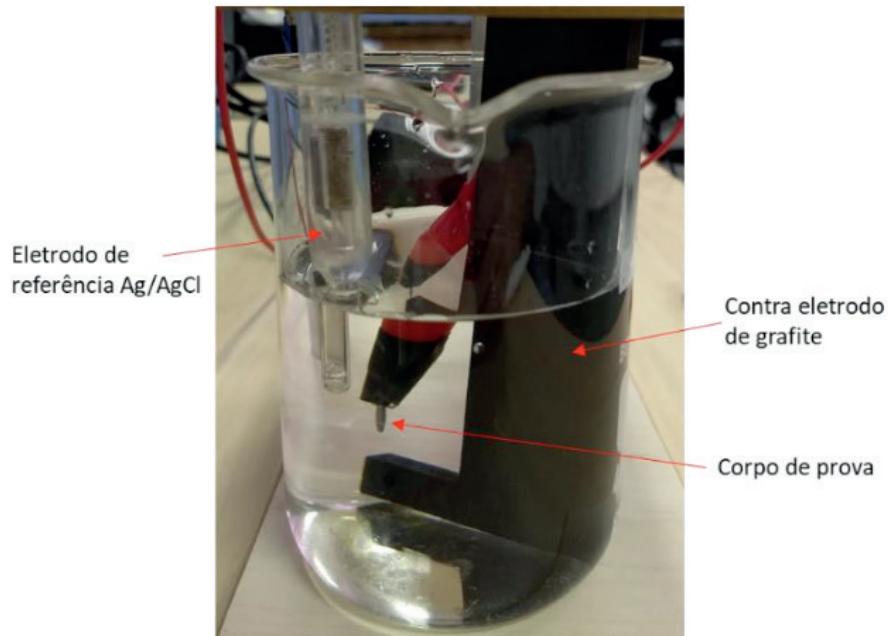


Figura 2: Célula eletroquímica utilizada para a permeação de hidrogênio no corpo de prova

Inicialmente foi medida a massa dos CPs em uma balança digital da marca Mettler Toledo, com capacidade máxima de 220 g e resolução de 0,1 mg. Em seguida, os CPs foram posicionados na célula eletroquímica para a permeação de hidrogênio, que ocorreu nos seguintes tempos: 0,5 h, 1 h, 1,5 h, 2 h, 3 h e 24 h. A escolha dos tempos de permeação foi baseada no trabalho de García *et al.* (2015), os quais observaram que para corpos de prova com geometria similar o tempo de saturação foi de 2 h. Após o tempo de permeação, os CPs foram retirados, limpados com acetona, secados com papel toalha e introduzidos no analisador em no máximo 30 s para evitar que a quantidade de  $H_2$  diminuísse. No analisador, a análise foi conduzida a uma temperatura constante de 400 °C por 15 min, sendo realizadas três

medidas da quantidade de hidrogênio para cada tempo de permeação.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 mostra os valores médios da quantidade de hidrogênio em ppm para cada tempo de permeação. As barras de erro indicam o desvio padrão com nível de confiança de 95,45 %.

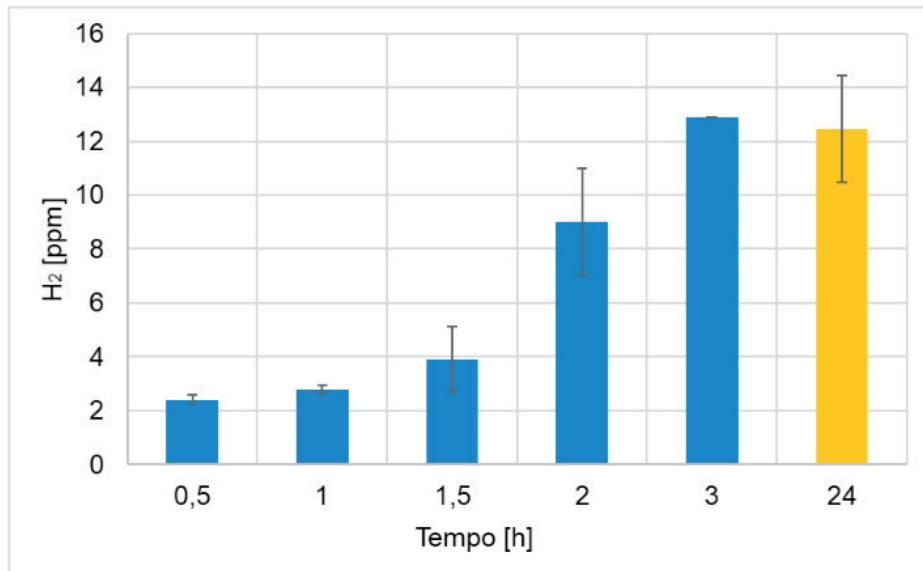


Figura 3: Resultados da quantificação de hidrogênio para os diversos tempos de permeação

A partir da Fig. 3, se observa que a quantidade de  $H_2$  difusível nos CPs cresce de 2,40 ppm (em 30 min) até 9,01 ppm (em 120 min). A partir desse tempo, a quantidade de  $H_2$  tende à saturação, exibindo valores médios de aproximadamente 12 ppm. Este resultado se mostra de acordo com os obtidos por García *et al.* (2015), que fizeram a permeação de  $H_2$  em dois aços CrMoV por 24 h e obtiveram valores médios de 10,6 e 13,6 ppm em cada aço.

É possível concluir que o tempo de saturação para os CPs avaliados neste trabalho está entre 120 min e 180 min, sendo necessária a realização de análises mais refinadas entre estes dois limites para se obter o valor de tempo mais próximo ao tempo de saturação real do corpo de prova deste material. Ressalta-se ainda a baixa repetibilidade dos valores de quantidade de hidrogênio mesmo para tempo de permeação de 24 h.

### 4 | CONCLUSÕES

O tempo de saturação para os corpos de prova de ensaios de punctionamento esférico de aço F está entre 120 e 180 min. Portanto, para se chegar mais próximo

ao valor do tempo real de saturação, são necessárias mais análises com tempos de permeação entre esses dois intervalos. A determinação do tempo de saturação de H<sub>2</sub> antes do ensaio de punctionamento esférico é importante para otimizar o tempo do ensaio. Uma permeação de H<sub>2</sub> em um tempo superior ao de saturação não acrescenta hidrogênio ao corpo de prova de forma significativa, bem como não melhorou a repetibilidade dos resultados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ao CNPQ, à FAU e à PETROBRAS pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

Arroyo, B.; Álvarez, J. A.; Lacalle, R.; Uribe, C. García, T. E.; Rodríguez, C. **“Analysis of key factors of hydrogen environmental assisted cracking evaluation by small punch test on medium and high strength steels”**. Materials Science and Engineering A, Vol. 691, 2017, pp. 180-194.

Barnoush, A.; Vehoff, H. **“Recent developments in the study of hydrogen embrittlement: Hydrogen effect on dislocation nucleation”**. Acta Materialia, Vol. 58, 2010, pp. 5274-5285.

CEN Workshop Agreement. **“Small-Punch Test Method for Metallic Materials”**. CWA 15627:2007, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2007.

García, T. E.; Rodríguez, C. Belzunce, F. J.; Peñuelas, I.; Arroyo, B. **“Development of a methodology to stdy the hydrogen embrittlement of steels by means of the small punch test”**. Materials Science and Engineering, Vol. 626, 2015, pp. 342-351.

Salmi, S.; Rhode, M.; Jüttner, S.; Zinke, M. **“Hydrogen determination in 22MnB5 steel grade by use of carrier gas hot extraction technique”**. Weld World, Vol. 59, 2015, pp. 137-144.

Silva, A. G. S. G.; Ponte, H. A.; Pashcuk, A. **“Estudo da influência do hidrogênio permeado nas propriedades eletroquímicas do Nb/Nb2O5 para o desenvolvimento de um sensor”**. In: 4º PDPETRO, 2007, Campinas – SP.

## DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA PRÉ-TRINCA POR FADIGA NO ENSAIO SNTT

Data de aceite: 25/11/2019

### Guilherme Bernardes Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

### Waldek Vladimir Bose Filho

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Faculdade de Engenharia Mecânica São Carlos – SP

### Sinésio Domingues Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

### Rosenda Valdés Arencibia

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – MG

**RESUMO:** O método SNTT (*Spiral Notch Torsion Test*) permite a determinação da tenacidade à fratura aplicando torção pura a um corpo de prova com entalhe em V e ângulo de passo de 45°. O método SNTT é relativamente novo e não conta com uma metodologia documentada que permita reproduzir o ensaio, consequentemente, o ensaio SNTT não é padronizado. Estes fatores têm contribuído para a não adoção do método por parte da comunidade científica, apesar

de seu potencial. Assim, o presente trabalho tem como objetivo descrever e documentar a metodologia do ensaio SNTT, isto é, como deve ser realizado o processo de pré-trincamento por fadiga, via modelos analíticos. Concluiu-se que por meio das equações apresentadas, é possível controlar o crescimento da trinca e prever seu comportamento durante o processo de abertura e propagação.

**PALAVRAS-CHAVE:** SNTT, Pré-trinca, Tenacidade à fratura.

### METODOLOGY FOR FATIGUE PRE-CRACK MONITORING IN THE SNTT TEST

**ABSTRACT:** The Spiral Notch Torsion Test (SNTT) method allows the determination of the fracture toughness by applying pure torsion to a V-notch specimen with a 45° pitch angle. The SNTT method is relatively new and has no documented methodology to replicate the assay, therefore the SNTT test is not standardized. These factors have contributed to the non-adoption of the method by the scientific community, despite its potential. Thus, the present work aims to describe and document the methodology of the SNTT test, that is, how the fatigue pre-cracking process should be performed via analytical models. It was concluded that through the presented equations, it is possible to control the crack growth and

predict its behavior during the opening and propagation process.

**KEYWORDS:** *SNTT, Pre-crack, Fracture toughness.*

## 1 | INTRODUÇÃO

A tenacidade à fratura dos materiais tem se destacado no cenário técnico-científico, em decorrência de sua utilidade na previsão do comportamento do material e na prevenção da ocorrência de falhas estruturais. A tenacidade à fratura é definida por diferentes normas dependendo do tipo de material ou geometria de corpo de prova. Para metais ela é geralmente definida pelas ASTM E399-90 (ASTM, 2019) ou ainda pela ASTM 1820 (ASTM, 2019) e deve ser entendida como a propriedade que estabelece a capacidade que o material dispõe de resistir à propagação de trincas.

No início do século XX, vários métodos que objetivavam a estimativa dessa propriedade foram desenvolvidos, dentre eles o método de tensão compacta, o por flexão de três pontos, dentre outros. Esses métodos foram padronizados, posteriormente, pela norma ASTM E399-90 (ASTM, 2019). Entretanto, esses métodos convencionais possuem limitações significativas, principalmente no que se refere às dimensões dos corpos de prova a serem ensaiados, as quais devem ser suficientes para garantir a dominância de um estado plano de deformação na frente da trinca (Wang et al., 2004).

Para superar essas limitações Wang et al. (2002) desenvolveram um método alternativo capaz de estimar a tenacidade à fratura (*Spiral Notch Torsion Test – SNTT*) aplicando torção pura em corpos de prova cilíndricos com um entalhe em V sob um ângulo de 60° e ângulo de passo de 45° (Fig. 1).

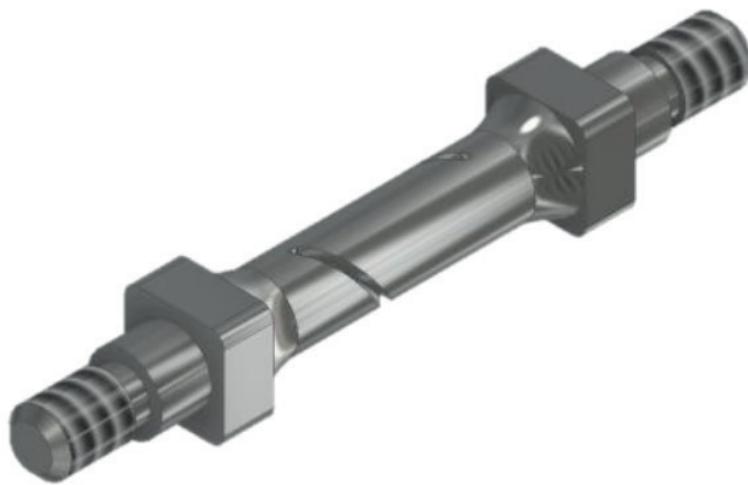


Figura 1: Desenho 3D do corpo de prova SNTT.

A torção pura estabelece um campo de tensão de tração/compressão equibiaxial uniforme desenvolvendo, portanto, efetivamente um Modo I de falha

(modo de abertura). Dessa forma, é possível gerar um valor de tenacidade à fratura intrínseca do material testado, eliminando o efeito das dimensões do corpo de prova e estabelecendo um método de teste mais confiável, econômico e capaz de ter uma propagação de trinca consistente e estável.

Wang et al. (2014) obtiveram, por meio de simulações numéricas, equações para determinar a tenacidade à fratura dos materiais nos testes SNTT. A partir destas simulações numéricas foram desenvolvidas equações analíticas da flexibilidade elástica e da tenacidade à fratura, que tiveram as suas robustezes confirmadas por ensaios experimentais, sendo necessário o conhecimento do torque e do ângulo de torção no instante em que o corpo de prova fratura. Entretanto, antes de realizar o ensaio SNTT, é necessário submeter o corpo de prova a ciclos de fadiga, objetivando a nucleação e crescimento de uma pré-trinca por fadiga a partir do entalhe helicoidal.

Vale ressaltar que o entendimento e aplicação deste método apresentam limitações significativas, pois não se dispõe de uma metodologia documentada de forma detalhada nem de normas técnicas sobre este tipo de ensaio. Ainda, os trabalhos publicados posteriormente à criação do método carecem de clareza dificultando a reprodução do ensaio. Desta forma, a obtenção de resultados de ensaios SNTT confiáveis se torna bastante limitada. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo descrever a metodologia a ser adotada ao longo do processo de pré-trincamento por fadiga, via modelos analíticos apresentados por Wang et al. (2014).

## 2 | MODELOS ANALÍTICOS PARA ENSAIO SNTT

Wang et al. (2000), no início do estudo do método SNTT, utilizaram os softwares PATRAN e ABAQUS no desenvolvimento de uma malha tridimensional para análise do corpo de prova e do crescimento da trinca durante o ensaio. O objetivo desse estudo era identificar como ocorria o crescimento da trinca e as principais variáveis de influência na mesma. Porém os resultados obtidos inicialmente não foram considerados satisfatórios por não garantirem o requisito de se ter Modo I puro.

Em trabalhos mais recentes (WANG et al., 2012; WANG et al., 2014) apresentaram detalhes sobre os procedimentos do ensaio SNTT. Dentre as informações apresentadas pode ser citado o uso de um cilindro cujo valor de altura  $h$  foi estabelecido sendo um-oitavo do comprimento do passo do entalhe do corpo de prova SNTT ( $p$ ). Essa relação de um-oitavo visa garantir um ângulo de passo do entalhe no cilindro,  $\theta_h$ , de  $45^\circ$ , como mostra a Eq. (1).

$$\theta_h = 2\pi \frac{h}{p} = 2\pi \left( \frac{1}{8} \right) = \frac{\pi}{4} \quad (1)$$

Wang et al. (2014) com as simulações realizadas no cilindro, obtiveram equações capazes de descrever o comportamento da taxa de liberação de energia durante o ensaio SNTT ( $G$ ) e da deformação angular de cada elemento finito do cilindro ( $\gamma$ ) (Eqs. (2) e (3)). Vale ressaltar que essas equações são válidas para relações  $\frac{a}{D}$  de 0,1 a 0,45.

$$\frac{\gamma}{T} \mu \left(1 - \frac{a}{D}\right)^4 = 3,3445 \left(\frac{a}{D}\right)^4 - 5,2514 \left(\frac{a}{D}\right)^3 + 4,0568 \left(\frac{a}{D}\right)^2 - 2,2298 \left(\frac{a}{D}\right) + 0,6226 \quad (2)$$

$$\frac{GA}{T\theta \left(1 - \frac{a}{D}\right)^2} = -154,56 \left(\frac{a}{D}\right)^4 + 188,95 \left(\frac{a}{D}\right)^3 - 62,398 \left(\frac{a}{D}\right)^2 + 20,626 \left(\frac{a}{D}\right) - 0,4716 \quad (3)$$

Nas Equações (2) e (3),  $a$  é o comprimento total da trinca,  $D$  é o diâmetro do corpo de prova,  $T$  é o torque aplicado,  $\theta$  é o ângulo de torção total do cilindro e  $\mu$  é o módulo de cisalhamento do material do corpo de prova.

De acordo com Wang et al. (2000), é possível relacionar o fator de intensidade de tensão com a taxa de liberação de energia para cada um dos modos de fratura (Eq. 4). Ainda, sabe-se que para um material com comportamento elástico linear o valor de  $G$  é igual ao valor da integral  $J$ .

$$G = K^2 \frac{(1 - \nu^2)}{E} \quad (4)$$

De posse das Eqs. (2) e (3), de acordo com Wang et al. (2014), é possível estimar o valor de  $G$  e, aplicando a Eq. (4), o valor de  $K_{IC}$  pode ser calculado. Nesse caso, como houve a garantia de que o valor do ângulo de passo do entalhe era de  $45^\circ$  e a torção aplicada foi pura, se desenvolveu um modo I puro de fratura, e consequentemente, se garante que o valor estimado é a tenacidade à fratura do material.

### 3 | METODOLOGIA

Inicialmente, é necessário conhecer as propriedades mecânicas do material ensaiado (limite de escoamento, módulo de cisalhamento, coeficiente de Poisson e, principalmente, o valor teórico da tenacidade à fratura), bem como a geometria do corpo de prova SNTT testado. Para tanto foi considerado um corpo de prova de aço AISI 4340 fabricado com um entalhe de profundidade igual a  $0,1 D$ . Tendo em vista que o comprimento da trinca no início do processo é igual à profundidade do entalhe, a relação inicial  $\frac{a}{D}$  é igual a 0,1. É desejável ao final da pré-trinca por fadiga que o comprimento da mesma seja  $0,3 D$ . Vale ressaltar que a relação  $\frac{a}{D}$  é definida pelo

operador, desde que a mesma se encontre entre 0,1 e 0,45.

De posse das Eqs. (2) e (3), estima-se o torque necessário para desenvolver na ponta da trinca um  $K_{IC}$  máximo equivalente a 60 % do valor teórico da tenacidade à fratura, procedimento esse recomendado pela norma ASTM E399-90 (ASTM, 2019). A seguir são definidos os valores de torque do ciclo de fadiga (Eq. (5)) e o valor do ângulo de torção que o corpo de prova SNTT estará submetido ao final da pré-trinca (esse valor está diretamente ligado à relação  $\frac{a}{D}$  desejada e é o critério de parada do processo).

$$T_{máx} = T_{estimado} = 10T_{min} \quad (5)$$

Durante o ensaio, mede-se então o ângulo de torção do corpo de prova. À medida que a trinca cresce, o valor de  $\frac{a}{D}$  progride de 0,1 a 0,3. Sabe-se que quando a trinca atingir o comprimento desejável, isto é,  $\frac{a}{D} = 0,3$ , o ângulo de torção medido será igual ao valor definido previamente (critério de parada), e, portanto, finalizar-se o processo de pré-trincamento. O fluxograma mostrado na Fig. (2) resume a metodologia aplicada ao processo de pré-trinca do corpo de prova SNTT.

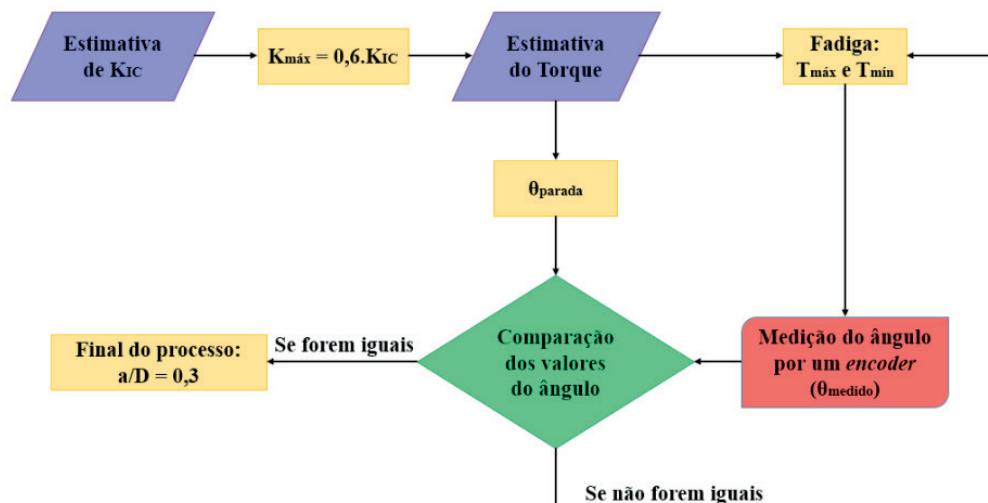


Figura 2: Fluxograma da metodologia do processo de pré-trinca por fadiga de corpos de prova SNTT.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ao CNPQ, à FAU e à PETROBRAS pelo suporte financeiro.

## DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## REFERÊNCIAS

ASTM E399-90, 2019. **“Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials”**. West Conshohocken: American Society for Testing Materials.

ASTM E1820-01, 2019. **“Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness”**. West Conshohocken: American Society for Testing Materials.

Wang, J. A.; Liu K. C.; McCabe, D. E; 2002. **“An Innovative Technique for Measuring Fracture Toughness of Metallic and Ceramic Materials”**, Fatigue and Fracture Mechanics: 33rd Volume, W. G. Renter and R. S. Piascik, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA.

Wang, J. A., Ren, F.; Tin, T. Liu, K. C., 2014. **“The development of in situ fracture toughness evaluation techniques in hydrogen environment”**, International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 40, No 4, pp. 2013-2024.

Wang, J. A.; TAN, T.; Jiang, H.; Zhang, W.; Feng, Z.; **“Developing Fatigue Pre-crack Procedure to Evaluate Fracture Toughness of Pipeline Steels Using Spiral Notch Torsion Test”**. Oak Ridge National Laboratory, Aug, 2012.

## BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS UTILIZANDO A MICROALGA *Synechococcus nidulans*

Data de aceite: 25/11/2019

### **Juliana Silveira de Quadros**

Universidade Federal do Pampa, Departamento de Engenharia de Alimentos  
Bagé – Rio Grande do Sul

### **Paulo Fernando Marques Duarte Filho**

Universidade Federal do Pampa, Departamento de Engenharia de Alimentos  
Bagé – Rio Grande do Sul

### **Fernando Junges**

Universidade Federal do Pampa, Departamento de Licenciatura em Química  
Bagé – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** Pesquisas visando tratamentos de efluentes que sejam eficientes e de baixo custo, desenvolveram a técnica de biossorção, esta que utiliza matérias orgânicas vivas ou mortas como biossorventes. As microalgas apresentam esse potencial devido a sua capacidade de retenção. O presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento da microalga *Synechococcus nidulans* em meio de cultura contendo o metal pesado cádmio em diferentes concentrações e verificar o percentual de remoção. A microalga utilizada neste estudo foi cedida pelo Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande e mantida em meio Zarrouk a 28°C em estufa termostatizada do

tipo BOD. As concentrações do metal pesado utilizadas nos ensaios de crescimento são 0,2; 0,4; 0,8 e 1,6 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ). Realizou-se um experimento controle para comparação. Os experimentos foram realizados em triplicata. Foram determinadas a concentração máxima de biomassa ( $X_{\text{máx}}$ ), produtividade máxima de biomassa ( $P_{\text{máx}}$ ) e velocidade específica máxima de crescimento ( $\mu_{\text{max}}$ ). Realizou-se a espectroscopia de absorção atômica para quantificar o metal pesado remanescente na solução e por diferença foi calculado o percentual de remoção do mesmo. Através dos resultados obtidos pode-se verificar que a presença do cádmio em baixas concentrações não influenciou negativamente o crescimento da microalga. Obteve-se o maior valor de  $X_{\text{máx}}$  ( $0,41 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) para os cultivos realizados com concentração do metal de  $1,6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Contudo, os maiores percentuais de remoção (75%) foram obtidos na menor concentração do metal ( $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ). Conclui-se que a microalga apresentou crescimento em meio de cultivo contendo o metal pesado cádmio similar ao meio padrão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metal Pesado; Biossorção; Microalga.

**HEAVY METAL BIOSORPTION USING  
*Synechococcus nidulans* MICROALGAE**

**ABSTRACT:** Research aimed at efficient and

low cost effluent treatments developed the biosorption technique, which uses living or dead organic matter as biosorbents. Microalgae have this potential due to their retention capacity. The objective of this study was to evaluate the growth of *Synechococcus nidulan* microalgae in culture medium containing cadmium heavy metal at different concentrations and to verify the percentage of removal. The microalgae used in this study was provided by the Biochemical Engineering Laboratory of the Federal University of Rio Grande and kept in Zarrouk medium at 28 ° C in a BOD type thermostatted greenhouse. Heavy metal concentrations used in growth assays are 0.2; 0.4; 0.8 and 1.6 (mg.L-1). A control experiment was performed for comparison. The experiments were performed in triplicate. Maximum biomass concentration ( $X_{max}$ ), maximum biomass productivity ( $P_{max}$ ) and maximum specific growth rate ( $\mu_{max}$ ) were determined. Atomic absorption spectroscopy was performed to quantify the remaining heavy metal in the solution and the percentage of its removal was calculated by difference. From the obtained results it can be verified that the cadmium presence in low concentrations did not negatively influence the microalgae growth. The highest value of  $X_{max}$  (0.41 g.L-1) was obtained for the cultures with metal concentration of 1.6 mg.L-1. However, the highest removal percentages (75%) were obtained at the lowest metal concentration (0.2 mg.L-1). It was concluded that the microalgae showed growth in culture medium containing cadmium heavy metal similar to the standard medium.

**KEYWORDS:** Heavy Metal; Biosorption; Microalgae.

## 1 | INTRODUÇÃO

O crescimento industrial e o descarte inadequado de efluentes geram a contaminação ambiental que vem agravando a situação atual do meio ambiente e, por consequência, o equilíbrio dos ecossistemas. Entre a composição destes efluentes podem ser encontrados os metais pesados. Define-se metais pesados como metais e metalóides com uma densidade atômica superiores a 4 g/cm<sup>3</sup> e que possuem toxicidade, os quais geram problemas tanto ao meio ambiente como também à saúde humana (DIAS, 2014). Esses metais permanecem nesse meio devido ao alto tempo de permanência no meio e sua capacidade de bioacumulação.

Segundo a Resolução 430 do CONAMA:

“O lançamento de efluentes em corpos de água, com exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.”

O excesso de metais pesados podem causar muitas doenças para o ser humano, já que são acumulativos no corpo humano, esses problemas também atingem o meio ambiente visto que geram um alto teor de contaminação. Os efluentes industriais são

constituídos de cádmio, cromo, manganês e níquel, e quando descartados de forma inadequada atingem os lençóis freáticos ou mesmo reservatórios e rios, que são as fontes de abastecimento de água das cidades (JIMENEZ, 2004). Dentre esses padrões estabelecidos podemos encontrar para os metais cádmio (Cd) e chumbo (Pb), os valores de  $0,2\text{mg.L}^{-1}$  e  $0,5\text{mg.L}^{-1}$  respectivamente. Sendo assim, buscam-se utilizar alternativas viáveis economicamente e de forma que não causem mais danos ao meio ambiente para atingir esses padrões. Pesquisas visando se adequar a essas características empregam a bioassorção como forma promissora para o tratamento de efluentes. Segundo Muraleedharan et al., 1991, define-se bioassorção como um processo no qual sólidos de origem natural ou seus derivados são usados na retenção de metais pesados de um ambiente aquoso (apud TEDESCO, 2010). Para a realização desta, são utilizados diversos micro-organismos como bactérias, fungos e algas, devido a sua alta capacidade de bioassorção de metais pesados.

Pode-se destacar então as microalgas, em especial as cianobactérias, organismos do reino monera, unicelulares, procariontes e autótrofos. Além disso, habitam vários ambientes, desde que haja umidade e possuem uma baixa exigência nutricional, sendo capazes de realizar fotossíntese e aproveitar o nitrogênio atmosférico (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004). São utilizadas principalmente em tratamento de águas residuais, desintoxicação biológica e controle de metais tóxicos em águas naturais ou em águas contaminadas industrialmente. Esse destaque é através da sua capacidade de retenção e imobilização desses compostos, além de poder acumular metais na sua parede externa por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos (DAL MAGRO, 2013). A microalga do gênero *Synechococcus*, uma cianobactéria, unicelular, aeróbia fotossintética, presente em oceano e responsável por cerca de um quarto da produção de oxigênio. Suas células são do tipo cilíndricas a longo cilíndricas. Tem uma reprodução assexuada, ocorrendo por fissão binária (MARTINS, 2012).

Com isso, o presente estudo teve por objetivo avaliar o crescimento da microalga *Synechococcus nidulans* em meio líquido contendo os metais pesados cádmio em diferentes concentrações visando posterior aplicação em indústrias que contenham efluentes com composição destes.

## 2 | METODOLOGIA

A microalga utilizada neste estudo foi a *Synechococcus nidulans* cedida pelo Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). A microalga foi mantida na Universidade Federal do Pampa – Campus Bagé em meio padrão Zarrouk (Zarrouk, 1966) a  $28^{\circ}\text{C}$  em estufa termostatizada do tipo

BOD com foto-período de 12h em Erlenmeyer de 500 mL de volume útil com aeração realizada por compressores de ar (Figura 1). Os experimentos foram realizados em meio Zarrouk acrescidos de diferentes concentrações dos metais pesados cádmio, conforme Tabela 1, nas mesmas condições de temperatura e fotoperíodo utilizadas na manutenção do inóculo, além disso foi realizado um experimento controle somente com o meio padrão Zarrouk para posterior comparação.

Cádmio (mg.L <sup>-1</sup> )
0,2
0,4
0,8
1,6

Tabela 1 – Concentrações de metais pesados utilizados nos experimentos.

Fonte: Autores, 2017.



Figura 1 – Experimentos mantidos em estufas do tipo BOD.

Fonte: Autores, 2017.

Os experimentos foram realizados em triplicata e submetidos a análise de variância em *software* estatístico. Diariamente foram determinadas concentração celular através de espectrofotometria, através de curva padrão que relaciona peso seco com absorbância (Figura 2a) e pH através de pHmetro (Figura 2b).

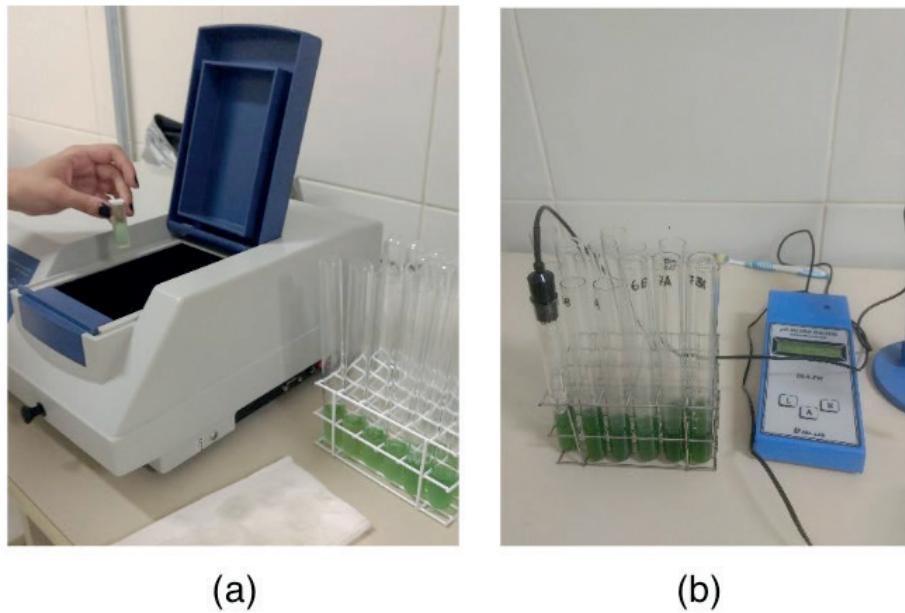


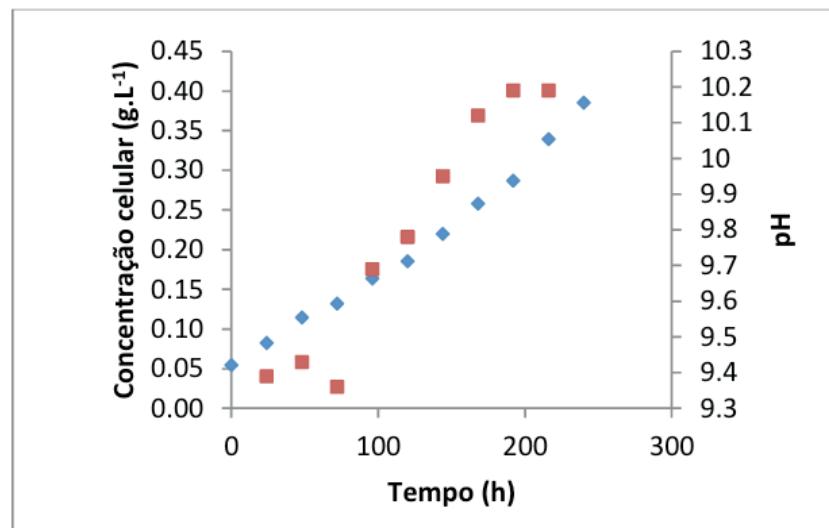
Figura 2 – Obtenção dos parâmetros, espectrofotômetro (a) e pHmetro (b).

Fonte: Autores, 2017.

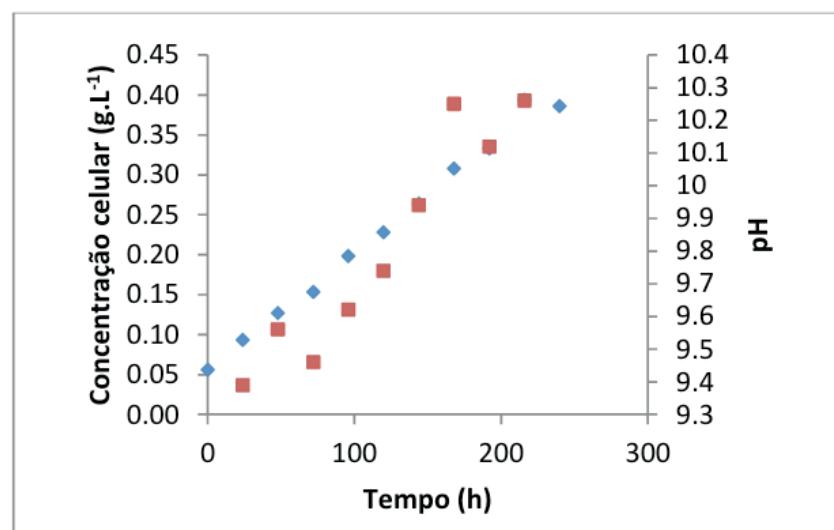
Após a realização dos experimentos, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm a 20minutos, onde separou-se o sobrenadante da biomassa microalgal. Os mesmos foram acondicionados em frascos e mantidos em temperatura de -18°C até o momento das análises de quantificação do metal pesado remanescente. Para isso foi realizado a análise de espectroscopia de absorção atômica. Segundo Cienfuegos e Vaitzman (2000), o método de espectroscopia de absorção atômica se fundamenta na quantidade de radiação absorvida pelos átomos neutros no estado fundamental do elemento de interesse, os quais são produzidos no nebulizador-queimador. A absorção é proporcional à população de átomos no estado fundamental, sendo proporcionais a concentração da solução distribuída na chama. A quantidade absorvida é medida pela diferença entre o sinal transmitido na presença e na ausência do elemento a ser determinado.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

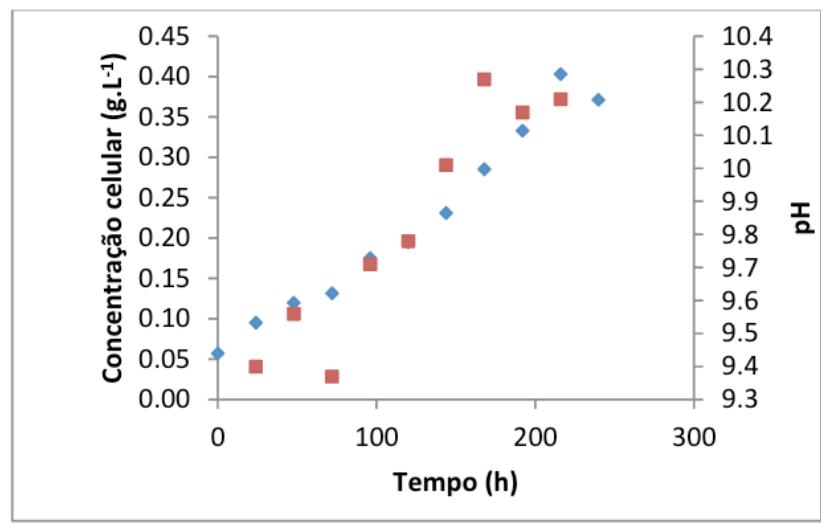
A Figura 3 mostra os gráficos de crescimento e pH da microalga *Synechococcus nidulans* nos meios de cultivo contendo o metal pesado cádmio em diferentes concentrações.



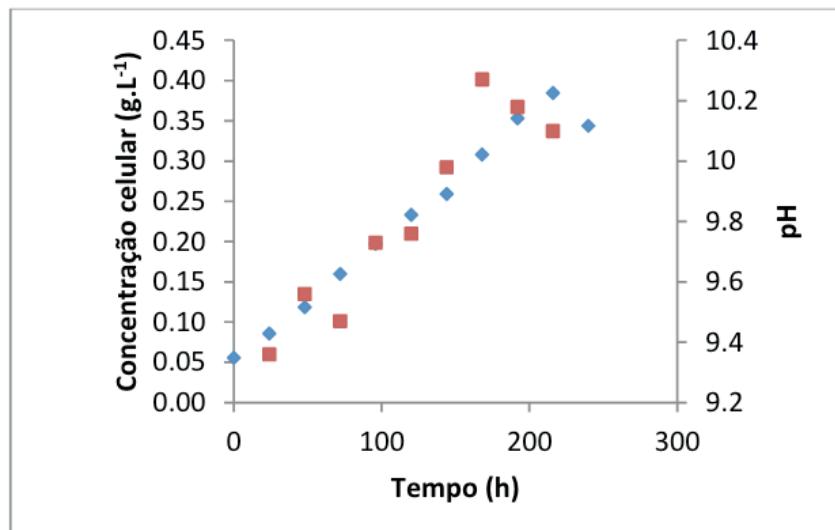
(a)



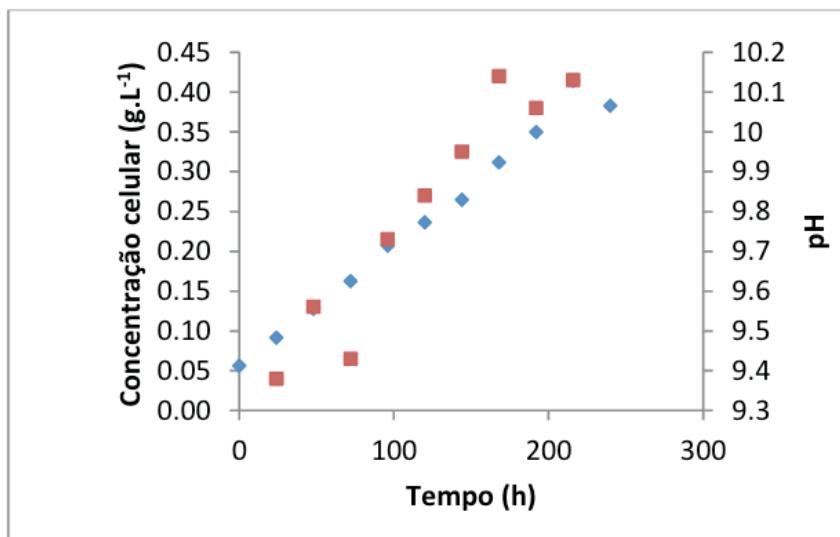
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3 – Curvas de crescimento celular (em azul) e pH (em vermelho) da microalga *Synechococcus nidulans*: (a); controle (b); 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de cádmio (c); 0,4 mg.L<sup>-1</sup> de cádmio (d); 0,8 mg.L<sup>-1</sup> de cádmio e (e) 1,6 mg.L<sup>-1</sup> de cádmio.

Fonte: Autores, 2017.

Observa-se que em todos os experimentos em que foi adicionado o metal pesado, a microalga apresentou comportamento semelhante ao experimento utilizado como controle, obtendo biomassa final de aproximadamente 0,4 g.L<sup>-1</sup>. Verifica-se então que, a microalga apresenta crescimento em meio contendo metal pesado cádmio semelhante ao meio com elevada concentração de cádmio (1,6 mg.L<sup>-1</sup>).

No que se refere a variação de pH, no decorrer dos dez dias de crescimento celular da microalga, foi verificado que houve um aumento deste acompanhado do aumento do crescimento celular, ficando na faixa de 9 a 11. KUMAR et al. (2010) afirma que a maioria das microalgas apresenta crescimento elevado em valores de

pH neutros, entretanto possuem algumas espécies são tolerantes a valores mais elevados, como a *Synechococcus nidulans*, utilizada neste trabalho, e a *Spirulina*, que possuem um crescimento favorecido em meios com pH em torno de 9,0. Entretanto, temos espécies que mantém um crescimento com pH baixo, como é o caso da *Chlorococcum littorale*. A Tabela 2 apresenta os dados referentes velocidade específica máxima de crescimento ( $\mu_{\max}$ ), produtividade máxima ( $P_{\max}$ ) e concentração celular máxima ( $X_{\max}$ ) para a microalga *Synechococcus nidulans* cultivada no meio Zarrouk com diferentes concentrações de cádmio.

Concentração de cádmio (mg.L <sup>-1</sup> )	X <sub>max</sub> (g.L <sup>-1</sup> )	P <sub>max</sub> (g.L <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> )	$\mu_{\max}$ (dia <sup>-1</sup> )
Controle	0,39±0,02	0,03±0,03	0,015±0,002
0,2	0,39±0,03	0,03±0,00	0,017±0,000
0,4	0,40±0,02	0,04±0,00	0,015±0,002
0,8	0,39±0,03	0,04±0,00	0,014±0,001
1,6	0,41±0,01	0,04±0,00	0,013±0,001

Tabela 2. Velocidade específica máxima de crescimento ( $\mu_{\max}$ ), produtividade máxima ( $P_{\max}$ ) e concentração celular máxima ( $X_{\max}$ ) para a microalga *Synechococcus nidulans* cultivada no meio Zarrouk com diferentes concentrações de cádmio.

Fonte: Autores, 2017.

Os dados apresentados na Tabela 2 justificam os comportamentos observados nos gráficos de crescimento da Figura 3, ou seja, a incorporação do metal pesado no meio Zarrouk não afetou o crescimento da microalga. Esses dados permitem inferir que a microalga assimilou em seu metabolismo o metal pesado. Outra possibilidade, é que em meio alcalino o metal pesado pode não estar disponível para o metabolismo do micro-organismo e por isso não afetou o seu crescimento. Segundo Tedesco (2010), mostra que em seu experimento quanto menor a concentração de metal pesado maior o seu  $\mu_{\max}$ , o que não aconteceu no presente trabalho. Podemos justificar essa diferença de resultados pela escolha do metal e da microalga, que foi cromo IV e *Spirulina platensis*.

Através da análise de variância para a resposta  $\mu_{\max}$ , foi possível observar que as diferentes concentrações de cádmio influenciaram estatisticamente ( $p<0,05$ ) a resposta. O maior valor observado de  $\mu_{\max}$  foi obtido para a concentração de 0,2 mg.L<sup>-1</sup> enquanto que, o menor valor foi para 1,6 mg.L<sup>-1</sup>. Contudo, para o valor máximo de biomassa obtida ( $X_{\max}$ ) não houve influência da concentração de cádmio ( $p>0,05$ ).

Foi observado percentual de remoção aproximadamente de 30% para a concentração de metal pesado de 1,6 mg.L<sup>-1</sup>, conforme tabela 3. Contudo, para a concentração de 0,2 mg.L<sup>-1</sup> o percentual de remoção foi de 75,5%. Sendo assim, podemos inferir que a microalga metabolizou o metal pesado. Contudo, são

necessários maiores estudos acerca de como esse processo ocorre.

Concentração de cádmio (mg.L <sup>-1</sup> )	Percentual de remoção (%)
0,2	75,50±1,41
0,8	39,75±16,26
1,6	30±8,83

Tabela 3 – Percentual de remoção do metal pesado cádmio no cultivo da microalga *Synechococcus nidulans*.

Fonte: Autores, 2017.

O resultado da concentração de 0,4 mg.L<sup>-1</sup> foi omitido por problemas experimentais na amostra. Verifica-se também que o percentual de remoção do metal foi reduzindo pelo aumento gradual da concentração do mesmo no meio de cultivo.

Os dados de percentual obtidos corroboram com os de Dal Magro (2013), que realizou um experimento com menor concentração de biomassa e maior concentração de cromo (VI). Obtendo um menor índice de remoção, de 51,47%, concluindo então que a alta concentração de cromo (VI) em baixos níveis de bioassorvente pode comprometer o processo bioassortivo, reduzindo o potencial de captação do metal pela biomassa. O descuido nesse processo pode gerar a saturação da capacidade do bioassorvente em função da saturação dos sítios ativos existentes na parede celular do mesmo, e por consequência pode gerar uma quantidade grande de biomassa contaminada, necessitando de tratamento adequado para que não gere danos ao meio ambiente e aos seres vivos, comprometendo assim a relação custo-benefício do processo.

Reck (2018), que realizou a bioassorção dos metais cobre e zinco pela microalga *Spirulina platensis*, que atingiu menores índices de remoção em menores concentrações de biomassa para cobre indicando que a alta concentração deste metal em baixos níveis de bioassorvente. Assim como Dal Magro (2013), observou, no experimento em questão também pode ter ocorrido uma saturação da capacidade do bioassorvente microalgal.

## 4 | CONCLUSÃO

Ao final da realização dos experimentos e através da análise estatística dos dados obtidos, pode-se verificar que a presença do metal pesado cádmio nas diferentes concentrações testadas não influenciaram o crescimento da microalga *Synechococcus nidulans* no que tange a máxima biomassa obtida ( $X_{max}$ ). A maior biomassa obtida de 0,41 g.L<sup>-1</sup> foi na concentração de 1,6 mg.L<sup>-1</sup> do metal. Contudo,

na concentração de 0,2 mg.L<sup>-1</sup> foi a que obteve a maior  $\mu_{\max}$ , de 0,17 dia<sup>-1</sup>, bem como o maior percentual de remoção que foi de 75%. Assim, a microalga *Synechococcus nidulans* apresenta-se como alternativa biotecnológica para bioassorção do metal pesado cádmio em concentrações na faixa de 0,2 mg.L<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso: julho de 2019.

CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D. **Análise Instrumental.** Rio de Janeiro: Interciênciia, 2000.

DAL MAGRO, C. et al. **Bioassorção passiva de cromo (VI) através da microalga *Spirulina platensis*.** Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010040422013000800011&script=sci\\_arttex](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010040422013000800011&script=sci_arttex)>. Acesso em: julho de 2019.

DIAS, C.S; **Potencial biotecnológico da microalga *Synechococcus nidulans* para tratamento de águas ácidas de drenagem da região de mineração em Candiota-RS.** Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1228/1/POTENCIAL%20BIOTECNOLOGICO%20DA%20MICROALGA%20SYNECHOCOCCUS%20NIDULANS%20PARA%20TRATAMENTO%20DE%20%C3%81GUAS%20%C3%81CIDAS%20DE%20DRENAGEM%20DA%20REGI%C3%83O%20DE%20MIN~1.pdf>>. Acesso em: julho de 2019.

JIMENEZ, R.S.; DAL BOSCO, S.M; CARVALHO, W.A. **Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita escolecita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v27n5/a11v27n5.pdf>>

TEDESCO, C; et.al. **Remoção de cromo VI pela microalga *Spirulina platensis*.** Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2010-2/CRISTIANE%20TEDESCO.pdf>>. Acesso em: julho de 2019.

RECK, L. et. al. **Bioassorção dos metais cobre e zinco pela microalga *Spirulina platensis*.** Disponível em:<[http://scheneventos.com.br/eba/envio/files/460\\_arq1.pdf](http://scheneventos.com.br/eba/envio/files/460_arq1.pdf)>. Acesso em: setembro de 2019.

VIDOTTI, E.C.; ROLLEMBERG, M.C.E. **Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e a química analítica.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n1/18822.pdf>>. Acesso em: julho de 2019.

## DISTRIBUIÇÃO BIDIMENSIONAL DA PROFUNDIDADE DE MISTURA NO RESERVATÓRIO DE LAJEADO, TOCANTINS

Data de aceite: 25/11/2019

### **Marcelo Marques**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Meio Ambiente  
Umuarama, Paraná

### **Elaine Patricia Arantes**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Meio Ambiente  
Umuarama, Paraná

### **Fernando Oliveira de Andrade**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba, Paraná

### **Alexandre Kolodynskie Guetter**

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Curitiba, Paraná

### **Cristhiane Michiko Passos Okawa**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, Paraná

### **Isabela Arantes Ferreira**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, Paraná

**RESUMO:** O termo profundidade de mistura é definido como a profundidade máxima perturbada pela onda de vento ao propagar. No presente trabalho esse conceito é aplicado

ao Reservatório de Lajeado, localizado no estado do Tocantins. As profundidades são determinadas com base em representações bidimensionais da superfície do corpo hídrico, obtidas pela aplicação da técnica de simulação denominada paramétrica bidimensional (MPB), recentemente desenvolvida. Conclui-se tratar-se de local que dificilmente atinge uma condição de estratificação térmica, devendo ser comum a ressuspensão de sedimentos do fundo.

### **BIDIMENSIONAL DISTRIBUTION OF MIXING DEPTH IN LAJEADO RESERVOIR, TOCANTINS**

**ABSTRACT:** The term mixing depth is defined as the maximum depth disturbed by the wind wave when propagating. In the present work this concept is applied to the Lajeado Reservoir, located in the state of Tocantins. Depths are determined based on two-dimensional representations of the water body surface, obtained by the simulation technique named parametric two-dimensional simulation method (MPB). It is concluded that this study area is a site that hardly reaches a thermal stratification condition, and resuspension of bottom sediments should be common.

## 1 | INTRODUÇÃO

Lagos e reservatórios constituem-se em componentes indissociáveis da paisagem brasileira, presentes em todas as grandes bacias hidrográficas. A opção do Brasil pela hidroeletricidade e a crescente demanda de energia permitem antever que a ocupação de novas bacias hidrográficas ou sub-bacias por reservatórios será inevitável (Marques, 2013).

O fundo destes corpos hídricos são, em grande parte, cobertos por sedimentos. Devido à grande superfície dos reservatórios exposta ao vento, verifica-se a geração de ondas. Quanto maior o comprimento da onda e menor a profundidade, maiores as tensões de cisalhamento geradas no fundo e a consequente ressuspensão de sedimentos.

Grande parte destes sedimentos são depositados devido interferências antrópicas, favorecendo a ocorrência de erosão, voçorocas, transporte de sedimentos nos rios, depósitos em locais inadequados e assoreamento de reservatórios artificiais.

A deposição de sedimentos em reservatórios bem como o seu transporte e ressuspensão constituem-se em problemas de alcance nacional haja visto que somente em território brasileiro existem pouco mais de 23 mil lagos e reservatórios com mais de 20 hectares (Mello et al., 2007).

A ação do vento nestes locais pode ser importante principalmente quando o eixo longitudinal do reservatório é orientado na sua direção predominante. A profundidade média destes corpos hídricos também é um fator extremamente importante, pois, corpos de água rasos têm uma resposta mais rápida a processos de aquecimento e resfriamento ou a ressuspensão de sedimentos devido a ondas de vento (Arantes et al., 2015). Estas ondas podem induzir processos de mistura em toda coluna d'água tendendo a destruir a estratificação vertical favorecendo a criação de gradientes longitudinais e transversais mais intensos (Smith, 1994). Estudos em corpos hídricos desse tipo frequentemente demandam informações relacionadas à dinâmica da massa hídrica.

O termo profundidade de mistura é definido como a profundidade máxima afetada pela onda ao se propagar. O efeito da dispersão longitudinal provocado por ondas geradas pela ação do vento constitui-se em um processo de importante impacto no ambiente podendo provocar ressuspensão de sedimentos e desestratificação térmica do corpo hídrico.

O conceito foi apresentado por Marques (2013) e se baseia na constatação de que uma onda de determinado comprimento, propagando-se, perturba a massa líquida a uma profundidade máxima equivalente à metade de seu comprimento. Desse modo, ao determinar a metade do comprimento da onda em um ponto se está determinando a profundidade de mistura, como mostrado pela Figura 1.

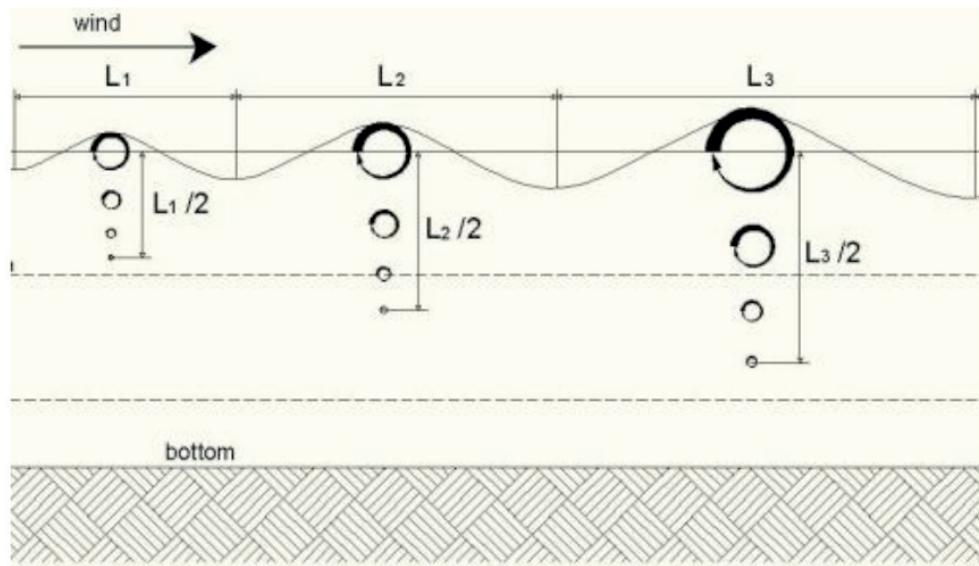


Figura 1: Representação da profundidade de mistura para ondas de comprimento  $L_i$

No presente trabalho esse conceito foi aplicado ao reservatório de Lajeado de maneira a obter a representação da profundidade de mistura em toda a superfície livre para 16 direções de ventos e para intensidades de 5, 10, 15 e  $20\text{ms}^{-1}$ . A técnica de modelagem computacional empregada foi a paramétrica bidimensional (MPB) desenvolvida por Marques (2013).

## 2 | ÁREA DE ESTUDOS

A usina hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães, também conhecida como Hidrelétrica de Lajeado se situa no Estado do Tocantins entre os municípios de Miracema do Tocantis e Lajeado. Constitui-se em uma das maiores obras civis no país construída com recursos da iniciativa privada. Sua localização está representada pela Figura 2. A barragem apresenta 2.100 m de comprimento e vertedouros com 14 vãos e capacidade para escoar 49.870  $\text{m}^3/\text{s}$  de água. De acordo com Pereira (2002), o reservatório encontra-se em área de cerrado com baixo tempo de retenção (24 dias) e morfometria pouco complexa. O reservatório possui profundidade média de 3m, uma superfície de 626  $\text{km}^2$ , área de drenagem de 184.219,0  $\text{km}^2$  e a velocidade média do rio Tocantins de 300m/h (Pereira, 2002).



Figura 2: Localização do reservatório da UHE de Lajeado

### 3 | MODELO ONDACAD

A determinação da distribuição do *fetch* foi realizada com base no método geométrico de Saville (1954), pelo traçado apresentado esquematicamente para vento nordeste, conforme Figura 3a. De acordo com o método, o *fetch* em cada ponto e para determinada direção é definido pela equação (1).

$$F = \sum_i x_i \cos \alpha_i / \sum_i \cos \alpha_i \quad (1)$$

Onde  $F$  é o *fetch*,  $\alpha_i$  é o ângulo entre a direção do vento e a direção secundária; e  $x_i$  é o comprimento na direção secundária.

No presente trabalho foi introduzido um importante aperfeiçoamento. O *fetch* passa a ser determinado por um método integral, ao invés de um somatório, conforme Figura 3b e as equações (2) e (3).

$$F = \int_{-\alpha}^{\alpha} F \cos \varphi d\varphi / \int_{-\alpha}^{\alpha} \cos \varphi d\varphi \quad (2)$$

$$0 \leq \alpha \leq \pi / 4 \quad (3)$$

A distribuição do *fetch* de modo automatizado é realizada por um programa concebido em linguagem LISP denominado ONDACAD podendo ser interpretado por programas de projeto assistido por computador, como o AutoCAD, zwCAD e CorelCAD.

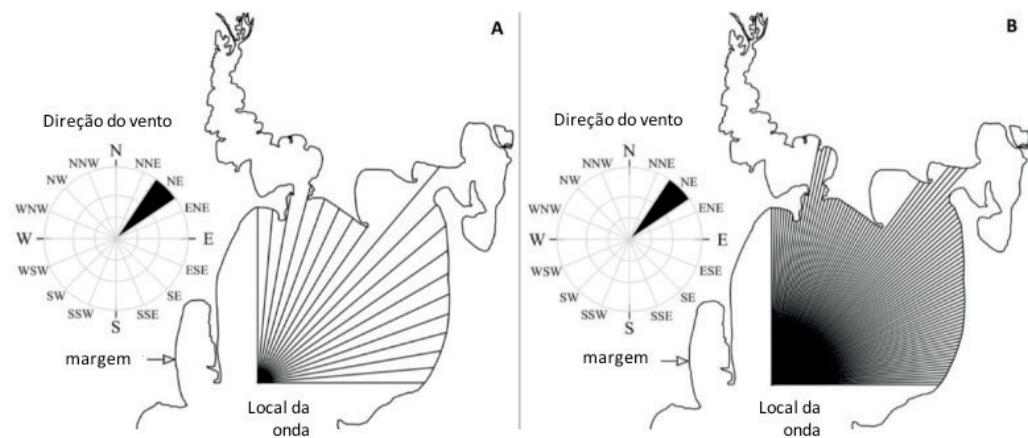


Figura 3: traçado esquemático para determinação do *fetch*: (a) pelo método de Saville (1954); (b) pelo aumento da resolução angular entre linhas radiais (Marques, 2013)

Um dos módulos do modelo ONDACAD gera a distribuição do *fetch* com base na discretização da superfície do corpo de água pela geração de uma malha estruturada quadrangular (Figura 4a). Os nós da malha são percorridos respeitando-se a direção do vento fornecida e aplicando o método de Saville (1954) em alta resolução (Figura 4b e Figura 4c).

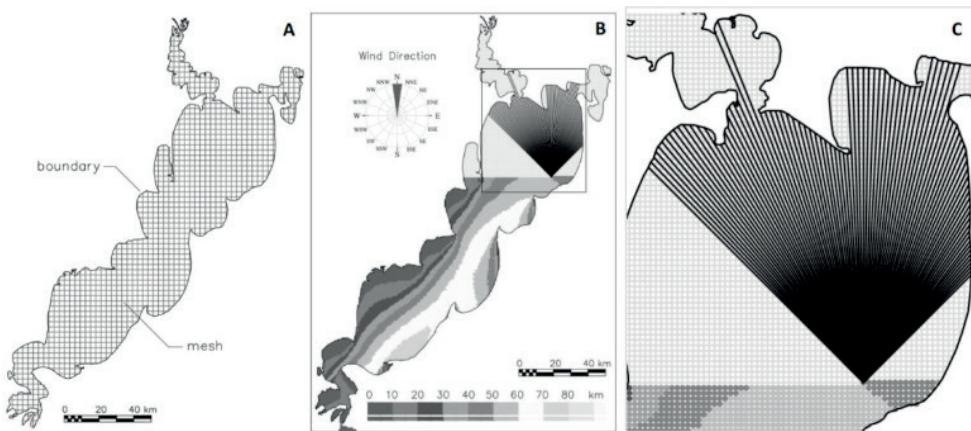


Figura 4 - (a) Geração de uma malha estruturada quadrangular; (b) Processamento propositalmente interrompido para mostrar os nós da malha sendo percorridos; (c) Ampliação de parte da Figura 4b.

## 4 | PROFUNDIDADE DE MISTURA

Pela técnica de modelagem adotada, um campo de *fetch* é convertido em um campo de profundidade de mistura através de uma equação paramétrica. A equação paramétrica é obtida com base em conceitos físicos tratados pela teoria linear de ondas, para a qual o comprimento da onda em águas profundas é definido pela equação (4).

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (4)$$

Onde  $L$  é o comprimento da onda,  $g$  a aceleração gravitacional e  $T$  o período da onda.

Para a determinação do período da onda é adotado o modelo SMB. Trata-se de uma equação paramétrica amplamente difundida no meio técnico e tratada com profundidade por Marques (2013). O período da onda é condicionado pela aceleração da gravidade ( $g$ ), pelo comprimento do *fetch* ( $F$ ) e pela intensidade do vento ( $U$ ), conforme a equação (5).

$$T = 7,54 \frac{U_{10}}{g} \tanh \left[ 0,077 \left( \frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,25} \right] \quad (5)$$

Segundo Bretschneider (1966), o método referido como SMB foi inicialmente proposto por Sverdrup e Munk (1947) e posteriormente modificado pelo autor, recebendo as letras iniciais do sobrenome de seus idealizadores. O método SMB foi objeto de inúmeras revisões e é um dos mais importantes modelos paramétricos de previsão de ondas (Cardone e Ross, 1979). É bastante empregado em função de sua simplicidade e eficiência (Kinsman, 1965; Wiegel, 1970).

Substituindo a equação (5) na equação (4) e assumindo que a profundidade de mistura ( $pfm$ ) é a metade do comprimento da onda ( $L$ ) se obtém a equação seguinte.

$$pfm = \frac{4,52U_{10}^2}{g} \left\{ \tanh \left[ 0,077 \left( \frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,25} \right] \right\}^2 \quad (6)$$

Pela condição assumida de campo de ondas que são limitadas pelo *fetch*, as informações sobre a duração do vento tornam-se prescindíveis. Foi através da equação (6) que o campo de *fetch* foi transformado em um campo de profundidade de mistura pela utilização do modelo ONDACAD.

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do modelo computacional ONDACAD permitiu a geração de 16

mapas, um para cada direção, para cada uma das quatro intensidades de campo de vento adotadas, totalizando 64 mapas. As profundidades máximas perturbadas pela onda ao se propagar foram atingidas para vento sul. Foram adotadas quatro direções para representar os resultados de modo ilustrativo: Norte, Sul, Leste e Oeste. As profundidades máximas atingidas para todas as direções e intensidades de vento das simulações são apresentadas pelas Tabelas 1 e 2.

U (m/s)	Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNW	NW	WNW
		Fetch máx (km)	8,5	9,60	14,10	14,90	15,20	14,90	13,10
5	PFM máx (m)	3,2	3,35	3,89	3,97	4,00	3,97	3,78	3,31
		4,5	4,62	4,95	5,00	5,01	5,00	4,89	4,59
		8,2	8,26	8,53	8,57	8,58	8,57	8,48	8,23
		14,6	14,71	14,94	14,98	14,99	14,98	14,90	14,69

Tabela 1: Profundidades máximas (unidade em metros) atingidas pela onda para direções E a WNW

U (m/s)	Direção	W	WSW	SW	SSW	S	SSE	SE	ESE
		Fetch máx (km)	8,30	10,10	14,30	15,80	15,90	15,40	13,60
5	PFM máx (m)	3,16	3,42	3,91	4,06	4,07	4,02	3,84	3,29
		4,49	4,66	4,96	5,05	5,05	5,03	4,92	4,58
		8,15	8,29	8,54	8,61	8,61	8,59	8,50	8,22
		14,62	14,74	14,95	15,01	15,01	14,99	14,92	14,69

Tabela 2: Profundidades máximas (unidade em metros) atingidas pela onda para direções W a ESE

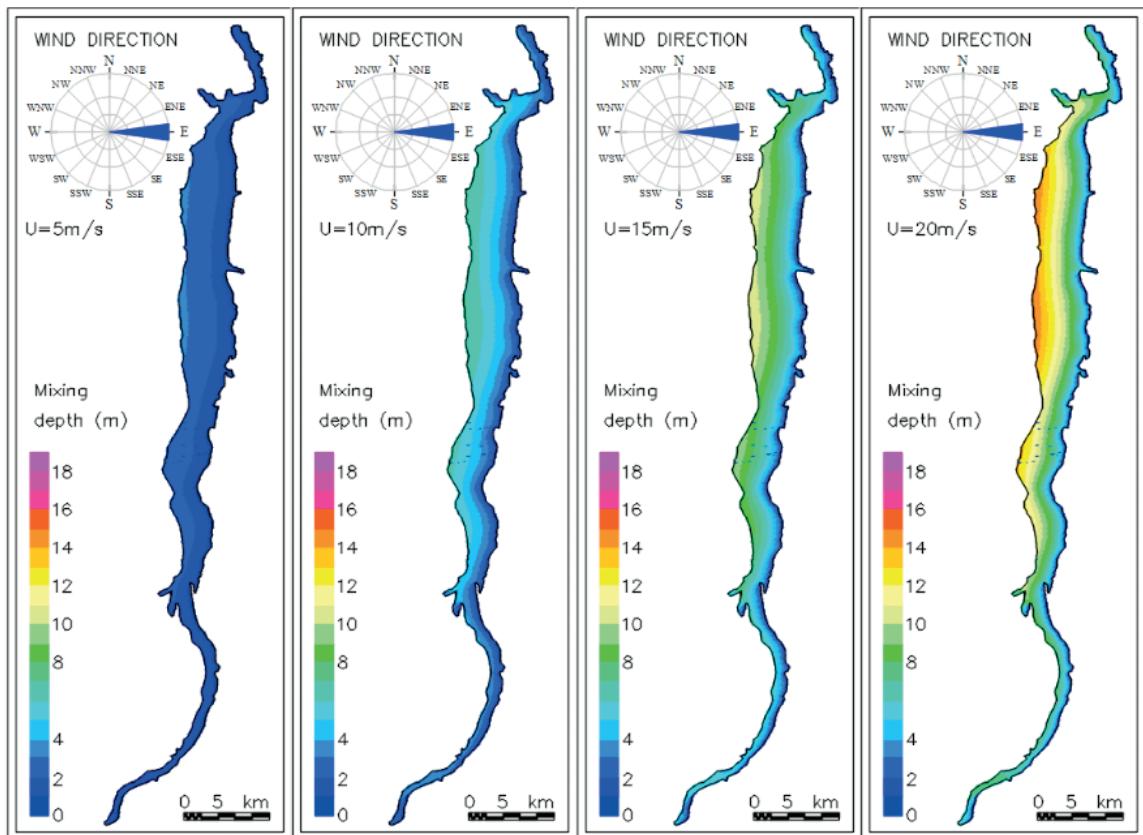


Figura 5: Distribuição das profundidades atingidas pelas ondas geradas por vento E

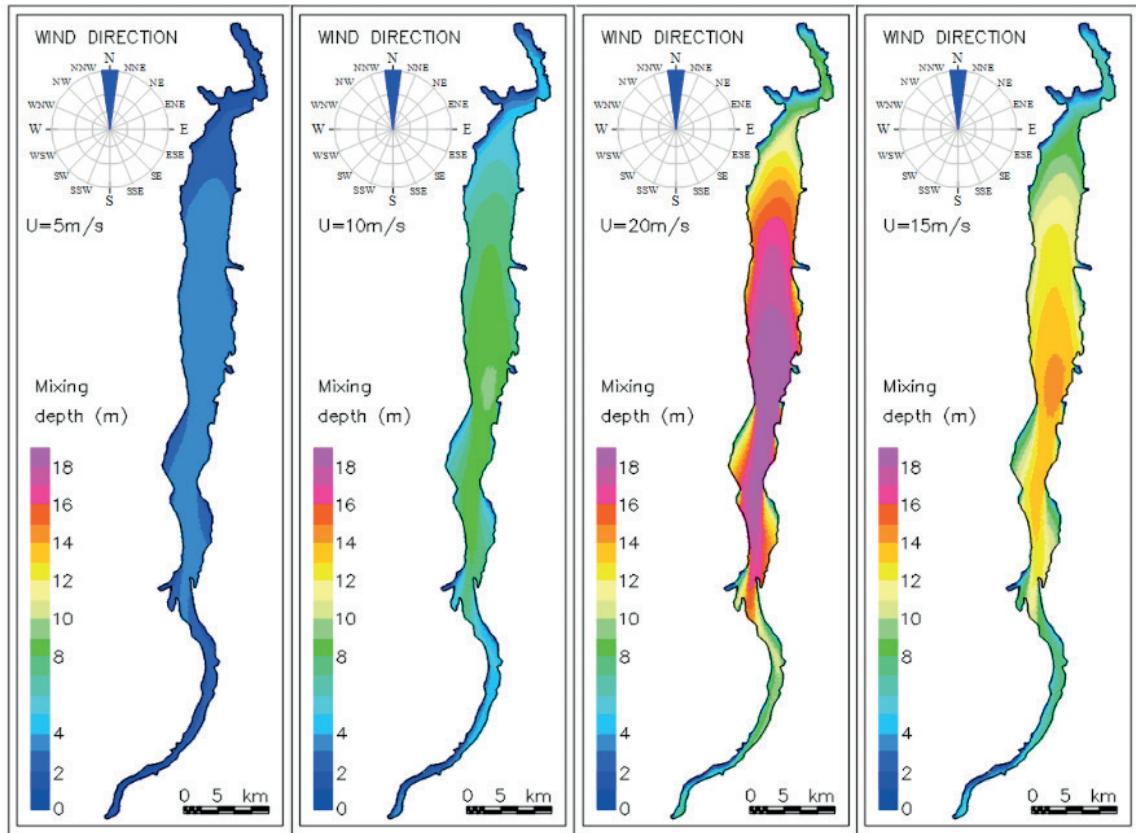


Figura 6: Distribuição das profundidades atingidas pelas ondas geradas por vento N

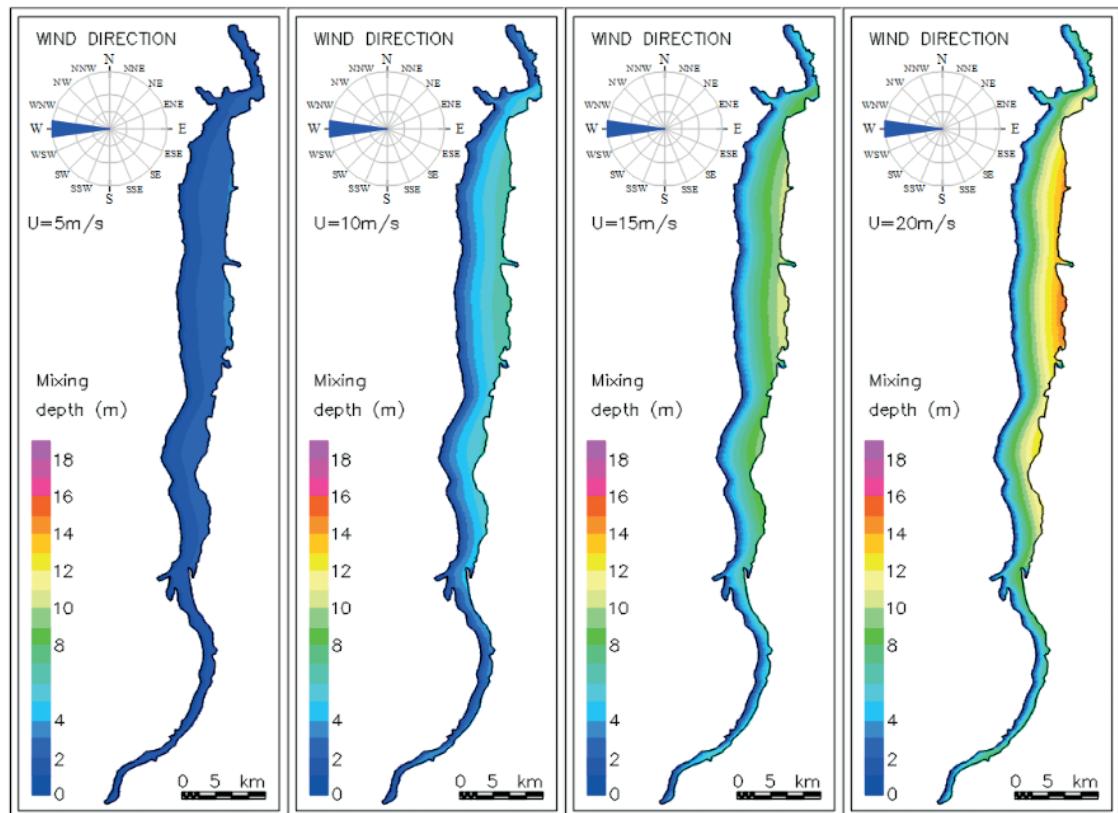


Figura 7: Distribuição das profundidades atingidas pelas ondas geradas por vento W

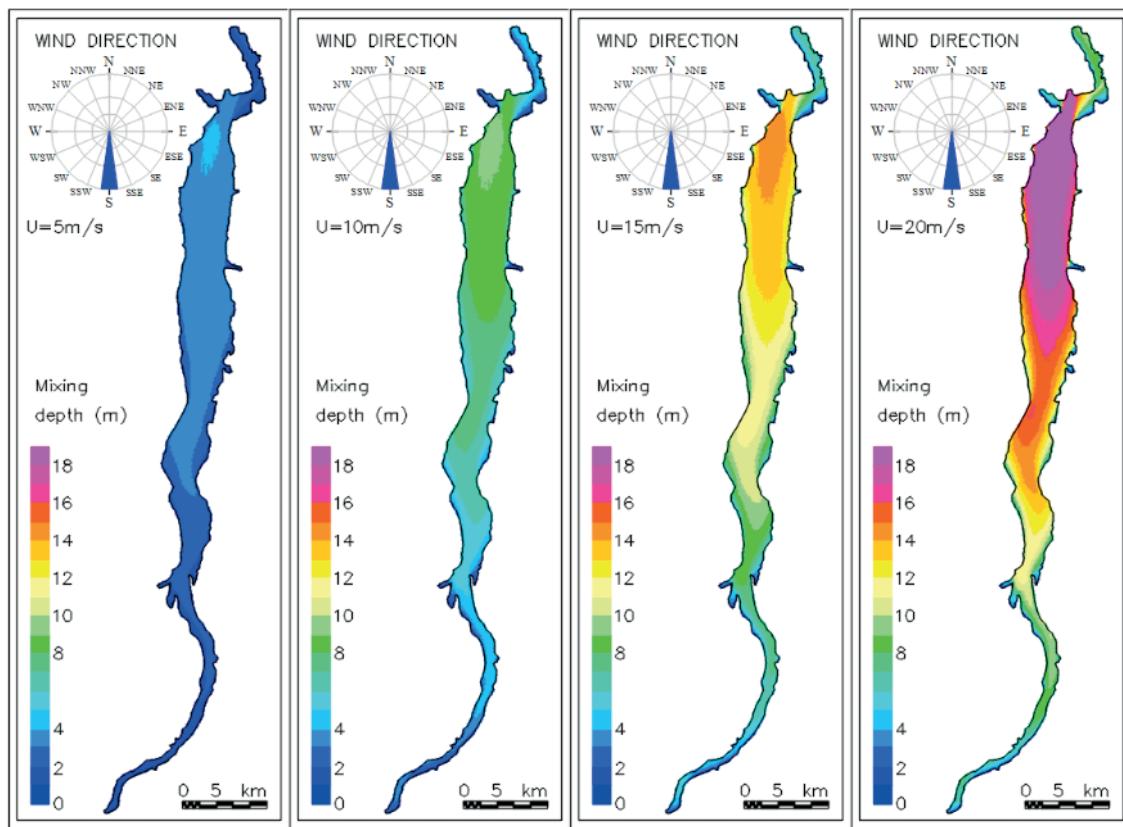


Figura 8: Distribuição das profundidades atingidas pelas ondas geradas por vento S

Com base na tabela 2, observa-se que a menor profundidade perturbada pelas ondas foi de 3,2 metros, atingida pelo vento de 5m/s no sentido leste, transversal ao reservatório. Ventos provenientes da direção sul permitem a combinação aos maiores comprimentos de fetch, gerando ondas que atingem as maiores profundidades. Por meio da Tabela 2 pode-se verificar que ventos soprando a  $20\text{ ms}^{-1}$  geraria ondas que, ao se propagar, atingiriam 15 metros de profundidade caso as condições batimétricas assim permitissem.

A profundidade média do reservatório é de 3m e um vento que sopra na direção do maior comprimento livre atinge esta profundidade, mesmo soprando com intensidade de  $5\text{ms}^{-1}$ . Esta intensidade do vento é considerada de pequena intensidade e grande probabilidade de ocorrência. Portanto, estima-se que na área de estudo seja bastante comum que as perturbações geradas pela propagação das ondas atinjam o fundo. Deste modo, através dos resultados obtidos é possível constatar que se trata de um reservatório que dificilmente atinge uma condição de estratificação térmica, devendo ser comum a ressuspensão de sedimentos do fundo.

Através dos mapas gerados para as quatro intensidades do vento foi elaborado um mapa de localização das maiores profundidades atingidas, conforme Figura 9.

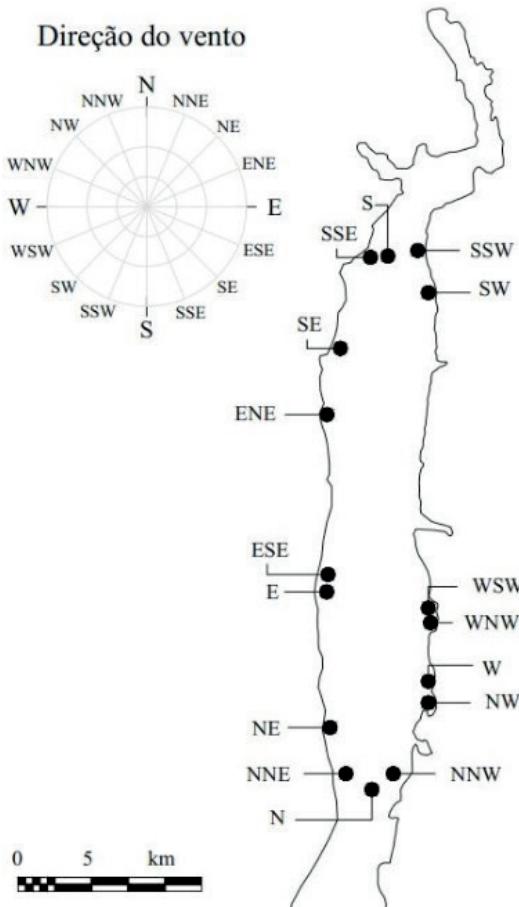


Figura 9: Localização das maiores profundidades atingidas para cada direção

Pela Figura 9 observa-se que a intensidade do vento não interfere na localização da maior profundidade atingida. Ventos de diferentes intensidades soprando da mesma direção não alteraram a posição da profundidade máxima atingida pela onda. Outro aspecto a destacar é que esta localização coincide com a localização do maior comprimento de *fetch* tornando os mapas de distribuição do *fetch* valiosas ferramentas na localização de profundidades extremas atingidas pelas ondas de vento ao se propagar.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método gráfico de determinação do *fetch*, de aplicação trabalhosa pelo projetista, por exigir uma excessiva quantidade de operações gráficas, pôde ser aprimorado e aplicado com sucesso pela utilização de processamento computacional viabilizando a aplicação do conceito de campo de *fetch* e sua transformação para campo de profundidade de mistura. A técnica foi validada para altura de ondas, tornando oportuna a validação da profundidade de mistura por estudos futuros.

Pelas conclusões do estudo, o reservatório de Lajeado dificilmente atinge uma condição de estratificação térmica, devendo ser comum a ressuspensão de

sedimentos do fundo. As maiores profundidades foram atingidas para ventos orientados na direção do comprimento predominante do reservatório. A aplicação do conceito de profundidade de mistura via modelagem paramétrica bidimensional mostrou-se viável. O reduzido tempo de processamento na geração dos mapas e a demanda somente das informações sobre o vento (intensidade e direção) pode tornar oportuna a incorporação do modelo em sistemas de previsão em tempo real.

Um importante desdobramento que pode ser empreendido por trabalhos futuros é a incorporação da batimetria do lago no processo de modelagem, de modo a permitir o mapeamento das tensões no fundo geradas pela onda ao se propagar.

## REFERÊNCIAS

- Bretschneider, C. L.. 1966. **Wave generation by wind, deep and shallow water.** In: A.T. Ippen (Editor), *Estuary and Coastline Hydrodynamics*. McGraw-Hill, New York, pp. 744.
- Cardone, V. J.; Ross, D. B.. 1979. **Wave Prediction Methods and Data Requirements**, *Ocean Wave Climate*, edited by M. D. Earle and A. Malahoff, Plenum Publishing Corp.
- Fernandez, R. L. ; Bonansea, M. ; Marques, M. . 2014. **Monitoring Turbid Plume Behavior from Landsat Imagery**. *Water Resources Management*, v. 28, p. 3255-3269, 2014.
- Kinsman, B. 1965. *Wind Waves; Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*. Prentice Hall, Inc., 676 pp.
- Marques, M.. 2013. **Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais**. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 219 pp.
- Marques, M.; Andrade, F. O. 2017. **Automated computation of two-dimensional fetch fields: case study of the Salto Caxias reservoir** in southern Brazil. *Lake and Reservoir Management*, v. 32, p. 1-12, 2017.
- Marques, M.; Andrade, F. O. ; Guetter, A. K. 2013. **Conceito do Campo de Fetch e sua Aplicação ao Reservatório de Itaipu**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, p. 243-253, 2013.
- Marques, M.; Maciel, G. F. ; Dall'Aglio Sobrinho, M. 2007. **Estimativa das máximas pistas de vento no reservatório da barragem de Ilha Solteira - Estado de São Paulo** -. *Acta Scientiarum. Technology* (Impresso), v. v. 29, p. 79-84, 2007.
- Melo, M. S.; Carvalho, M. S. B. S.; Soares, A. M. L.; Barreto, R. N. C.. 2007. **Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Ministério da Integração Nacional, Agência Nacional das Águas. Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. Fortaleza: Funceme, 108p.
- Pereira, V. L. R.. 2002. **A Limnologia e o gerenciamento integrado do reservatório da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães - UHE Lajeado Tocantins**. Tesis Doctoral de La Universidad Estadual de São Paulo, CRHEA-EESC-USP, Brasil: 262 p
- Saville, T.. 1954. **The effect of fetch width on wave generation**. *Technical Memorandum No. 70*, U.S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 9 pp
- Sverdrup, H.U.; Munk, W.H.. 1947. **Wind, sea and swell: Theory of relations for forecasting**. Publication 601, *Hydrographic Office*, U.S. Navy, pp. 50

## ESTUDO PROSPECTIVO E TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE SYNGAS UTILIZANDO CATALISADORES

Data de aceite: 25/11/2019

### Munique Gonçalves Guimarães

Universidade de Brasília, Instituto de Química  
Brasília – DF

### Grace Ferreira Ghesti

Universidade de Brasília, Instituto de Química  
Brasília – DF

### Camila Lisdália Dantas Ferreira

Universidade de Brasília, Centro de  
Desenvolvimento Tecnológico  
Brasília – DF

e de patentes utilizando-se as seguintes combinações de palavras: “biogás”, “syngas” e “syngas and cataly\*”. Concluiu-se que as pesquisas sobre syngas e catálise apresentam baixa maturidade e que existe bastante espaço para desenvolvimento tecnológico nessa área, incentivado, muitas vezes, por políticas públicas específicas em diversos países.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás. Catálise.

Prospecção Tecnológica

### PROSPECTIVE AND TECHNOLOGICAL STUDY OF SYNGAS GENERATION USING CATALYSIS

**ABSTRACT:** With an awareness of global warming, rising prices and fuel shortages, alternative sources of energy are needed. Substitution is a biomass, which presents a large amount of energy lost during the decomposition process. Biogas is an abundant source of energy, non-polluting, cheap and non-competing for space with other crops or food production. Thus, the work aims to present a prospective study that portrays the research stage in the area. These were the word combinations for the study: “biogás”, “syngas” and “syngas and cataly \*”. The work as research on the system and low schooling have a long nature and a technological incentive in the area of incentive in several countries.

**RESUMO:** Com a crescente conscientização sobre o aquecimento global, o aumento de preço e a escassez dos combustíveis fósseis, torna-se necessário pesquisar e desenvolver fontes de energia alternativas. Uma possível fonte substituta é a biomassa, que tem grande quantidade de energia armazenada, mas perde boa parte desta para o ambiente nos processos de decomposição. O biogás é fonte de energia abundante, não poluidora, barata e que não compete com outras culturas e nem com a produção alimentícia. A partir desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar um estudo prospectivo do estágio das pesquisas e da proteção patentária na área de biogás, syngas e catálise. Para tal, foram feitas pesquisas em bases de dados acadêmica

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com a crescente conscientização sobre o aquecimento global – devido, principalmente, às emissões de gases de efeito estufa –, o aumento de preço e a escassez dos combustíveis fósseis, sentiu-se a necessidade de pesquisar e desenvolver fontes de energia alternativas, geradas a partir de recursos renováveis que apresentem alta eficiência, disponibilidade local para a geração de energia descentralizada e baixo nível de poluição (ZENG *et al.*, 2018).

Nesse contexto, uma possível fonte substituta de combustíveis fósseis é a biomassa, que tem grande quantidade de energia armazenada, mas perde boa parte desta para o ambiente nos processos de decomposição: quando as bactérias retiram o alimento para sua sobrevivência, em contrapartida, lançam gás e calor na atmosfera. Esse gás é chamado biogás, uma fonte de energia abundante, não poluidora, barata e que não compete com outras culturas e nem com a produção alimentícia (SERRANO-LOTINA *et al.*, 2011).

O biogás é produzido pela digestão anaeróbica, ou fermentação, de compostos orgânicos oriunda de diversas fontes, como: resíduos agrícolas, resíduos animais, lixo doméstico, resíduos industriais, esgoto (ZENG *et al.*, 2018). Trata-se de um produto gasoso constituído por uma mistura de  $\text{CH}_4$  (55 - 70% v/v) e  $\text{CO}_2$  (27 - 44% v/v) e, em menor quantidade, de outras impurezas, cuja concentração pode variar significativamente dependendo das características da biomassa, das condições operacionais, da disponibilidade de nutrientes, do biodigestor, do tempo de retenção, da taxa de degradação e outros (MORAL *et al.*, 2018).

A composição do biogás afeta as possibilidades de seu aproveitamento, e uma elevada concentração de impurezas pode torná-lo energeticamente inviável (MORAL *et al.*, 2018). Contudo, existem vários métodos disponíveis para limpeza de biogás, como absorção física, absorção, separação por membrana, separação criogênica e métodos químicos de conversão (KADAN; PANWAR, 2017).

Diante disso, o biogás tem se apresentado como uma fonte atrativa de carbono renovável e sua exploração pode ser vantajosa do ponto de vista tecnológico, uma vez que esse gás tem altos níveis de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  (gases de efeito estufa), os quais, por meio de biodigestores, purificam-no convertendo-o em gás de síntese, ou syngas ( $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ ), com a aplicação de um catalisador. O intuito desse tratamento é gerar produtos de alto valor agregado como na utilização da rota de reforma a seco que produz hidrocarbonetos substitutos do petróleo (MORAL *et al.*, 2018).

Motivados pela possibilidade de geração de hidrocarbonetos com alto valor

agregado, pela produção de energia descentralizada e por processos que sejam limpos em relação aos resíduos químicos gerados e que tenham baixo custo de produção, há um grande incentivo de diversos países para que estudos na área de catálise sejam conduzidos de forma que o processo se torne mais eficiente ambientalmente.

Os catalisadores são substâncias que alteram a velocidade de uma reação e devem atender a alguns pré-requisitos, como: seletividade em relação às reações desejadas, resistência à desativação, estabilidade térmica e mecânica. Além disso, devem apresentar características físicas importantes como: tamanho dos poros, área específica, localização da fase ativa, interação da fase ativa com o suporte, tamanho das partículas (ZENG *et al.*, 2018).

Para a reforma de biogás, a principal dificuldade reacional está na desativação do catalisador, principalmente devido a fatores como: deposição de carbono na superfície, sinterização das partículas dos metais, fraca interação entre a fase metálica e o suporte, adsorção química forte de impurezas sobre os centros ativos do catalisador, transporte a vapor, atrito e esmagamento (DRIF *et al.*, 2015). Por isso, o desenvolvimento de um bom catalisador inicia já na primeira etapa da reforma de biogás, com a escolha da fase ativa a ser empregada. Catalisadores metálicos são comumente utilizados em reações envolvendo hidrogênio e hidrocarbonetos, sendo o metal o principal componente do catalisador responsável pela ocorrência da reação química. Isso se deve ao fato de este tipo de substância adsorver facilmente em superfícies metálicas (HERMES, 2010).

Nesse sentido, pesquisas verificaram que catalisadores a base de metais nobres (Ru, Pt, Pd e Ir) são os mais indicados para a reforma de biogás, uma vez que apresentam boa atividade e alta resistência à deposição de coque. Entretanto, esses metais elevam os custos dos processos, devido ao alto custo e à pouca disponibilidade, inviabilizando seu uso. Por isso, os metais de transição dos grupos 8, 9 e 10 como Ni, Fe e Co são utilizados com frequência em substituição aos metais nobres, por serem bastante reativos, de baixo custo e apresentarem alta disponibilidade (LI *et al.*, 2017).

Outra importante etapa do desenvolvimento de um bom catalisador é a escolha do suporte, a fim de alcançar elevada conversão de biogás. Os suportes são utilizados para aumentar a dispersão da fase ativa e o volume de poros, ampliar a área específica, melhorar a resistência mecânica e a estabilidade térmica e apresentar baixa sinterização, com o objetivo de inibir a deposição de carbono efetivamente e assim manter a atividade inicial e suas propriedades físico-químicas (YAO *et al.*, 2017).

Diversos suportes são empregados na reforma do biogás, e os mais utilizados são: alumina ( $Al_2O_3$ ) e sílica ( $SiO_2$ ), além de  $MgO$ ,  $ZrO_2$ , óxidos de lantanídeos ( $CeO_2$ ,

$\text{LaO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ), SBA-15, KIT-6, MCM-41, zeólitas e hidrotalcitas. (YAO *et al.*, 2017)

Atualmente, as mudanças tecnológicas e as inovações estão cada vez mais presentes na vida das pessoas e nas grandes corporações. Por isso, a capacidade de realizar uma boa e adequada gestão do conhecimento tecnológico pode ser um diferencial para empresas que buscam a inovação e um diferencial no mercado. De acordo com Terra (2010 apud TEIXEIRA, 2013), o conhecimento tecnológico pode ser considerado um fator de vantagem igualmente importante quando comparado ao capital financeiro, físico, humano, aos recursos naturais e a localização de uma organização.

Isso posto, estudos prospectivos surgem como uma importante ferramenta de auxílio na gestão do conhecimento tecnológico. De acordo com Teixeira (2013), “[...] uma boa gestão tecnológica passa pelo entendimento da evolução do mercado de tecnologias, visando a antecipar possíveis novas tecnologias ou necessidades emergentes”. A perspectiva apresentada por este trabalho pretende justamente entender a evolução das pesquisas e proteções patentárias nas áreas de biogás, syngas e catálise, para que seja possível identificar as tendências de mercado.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseou-se em duas perspectivas de prospecção em bases de dados: (i) tecnológica, realizada por meio de pesquisas de patentes; e (ii) científica, realizada por meio de pesquisa de artigos científicos. Para a prospecção tecnológica, utilizou-se a base de dados Orbit Intelligence®; para a científica, a Web of Science®. As buscas nessas bases de dados ocorreram no período de 1º a 3 de julho de 2018.

Na base Orbit Intelligence®, realizou-se uma busca avançada por patentes depositadas entre 1998 e 2017 que continham as combinações de palavras “biogás”, “syngas”, “(syngas and cataly\*)” no título das patentes. A base Orbit Intelligence® também foi utilizada para a geração das figuras e dos gráficos que ilustram os resultados obtidos. Na base Web of Science®, conduziu-se uma pesquisa básica utilizando-se os mesmos termos mencionados anteriormente no título de artigos científicos publicados entre 1998 e 2017. O principal operador booleano utilizado foi “and”; e o truncamento, “\*”.

Por fim, realizou-se uma análise dos dados recuperados a partir da perspectiva mercadológica e da maturidade das pesquisas conduzidas, das tecnologias geradas e dos produtos identificados no mercado até o momento.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a condução da prospecção tecnológica e científica nas bases de dados referidas na metodologia, foram utilizadas as palavras-chave “biogás”, “syngas” e a combinação “(syngas and cataly\*)”. Tais palavras foram selecionadas por satisfazerem critérios técnicos e científicos da área, sendo as que recuperaram documentos mais coerentes ao alcance dos objetivos deste estudo. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos nas pesquisas de patentes e artigos científicos que serão discutidos no decorrer deste trabalho.

Palavras-Chave	Bancos Patentários	Banco Científico
	<b>Software ORBIT</b>	<b>Web of Science</b>
biogás	6549	5458
syngas	1133	3466
syngas and cataly*	256	1229

Quadro 1. Pesquisa por combinações de palavras-chave no software Orbit Intelligence e Web of Science.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo.

Em linhas gerais, os resultados para a palavra-chave “biogás” mostraram que há mais patentes do que artigos científicos publicados, ao passo que, para as outras duas buscas, “syngas” e “(syngas and cataly\*)”, há mais artigos científicos publicados do que patentes. O resultado é importante para evidenciar a baixa maturidade das pesquisas sobre syngas e catálise e o espaço para desenvolvimento tecnológico que essa área possui.

#### 3.1 Biogás

A presença acentuada de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  no biogás torna sua utilização atrativa ambientalmente, por serem gases de efeito estufa (GEE) com potencial para reduzirem a poluição causada ao meio ambiente, além de serem um biocombustível alternativo, sustentável e amigavelmente correto (DOS SANTOS; DE SOUSA; PRATA, 2018). É comumente utilizado em comunidades isoladas e residências rurais como fonte para a obtenção de chama em fogões e para a proteção do solo, do ar e da vegetação lenhosa (SERRANO-LOTINA *et al.*, 2011).

Por causa dos principais problemas relacionados ao uso direto do biogás em motores de combustão interna, principalmente devido a emissões tóxicas e à baixa eficiência gasosa, uma abordagem atrativa é convertê-lo usando a reforma catalítica, que tem o potencial para aproveitá-lo plenamente ao converter os gases de efeito estufa ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ) em  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}$ , ou syngas (gás de síntese) (VITA *et al.*, 2018).

A Figura 1 apresenta o resultado do levantamento do número de patentes e

artigos encontradas com a palavra-chave “biogás”. O objetivo da busca foi demonstrar quanto a tecnologia ainda está sendo pesquisada por empresas e universidades ao longo dos últimos 20 anos. Percebe-se até o ano de 2013 um número maior de patentes depositadas se comparado com o número de artigos científicos publicados.

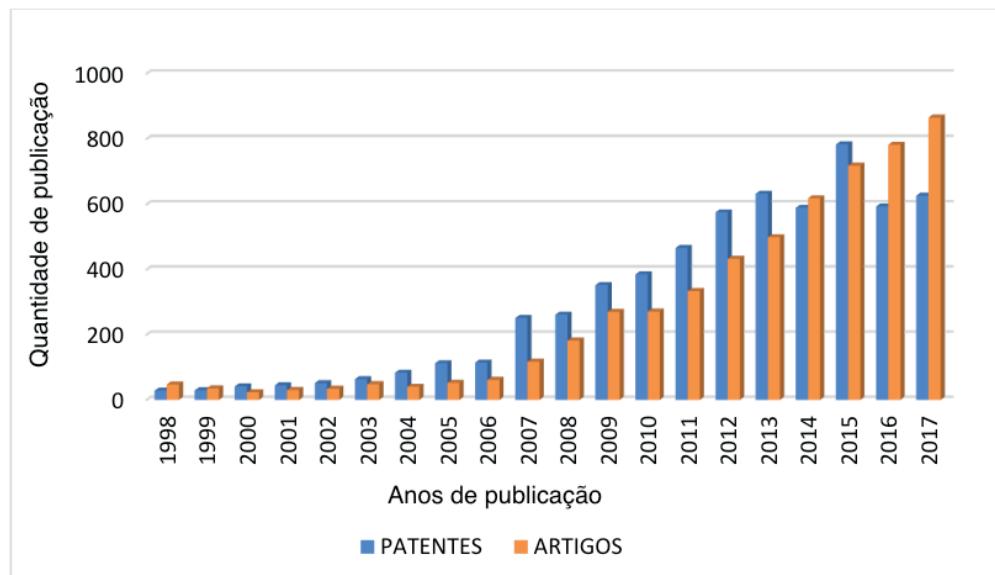


Figura 1. Quantidade de depósito de patentes e de publicação de artigos nos últimos 20 anos sobre “biogás”, recuperados pela busca nas bases Orbit Intelligence® (azul) e Web of Science® (vermelho)

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no Excel.

Tal resultado evidencia uma mudança de tendência de pesquisa aplicada para pesquisas mais básicas, induzidas, possivelmente, pela necessidade de se realizar mais estudos na área que busquem novas alternativas e abordagens de utilização do biogás.

A utilização do biogás como combustível contempla várias áreas tecnológicas, como agricultura, computação, alimentação. Do mesmo modo, existe uma ampla utilização de biogás em diversos domínios tecnológicos, conforme identificado nas consultas às plataformas Orbit Intelligence® e Web of Science®. Todavia, percebeu-se nos resultados de ambas as consultas uma concentração nas seguintes áreas: basic materials chemistry, bio-technology, environmental technology, energy fuels, engineering, entre outras, conforme ilustra a Figura 2.

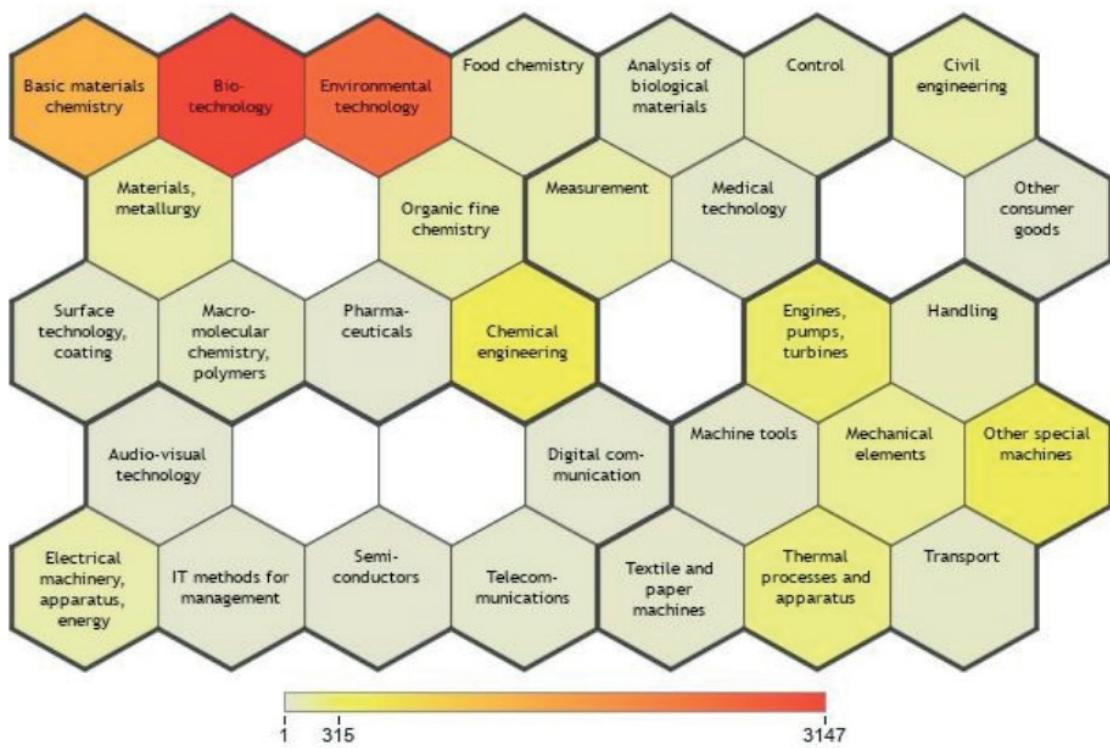


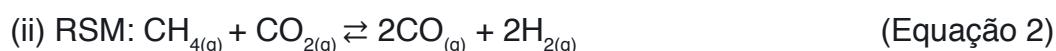
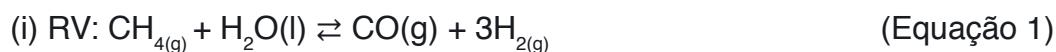
Figura 2. Patentes por domínio tecnológico que conham a palavra “biogás”.

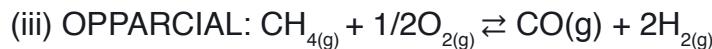
Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no software Questel Orbit® (ORBIT, 2018).

Para o domínio tecnológico com maior concentração (“bio-technology”), foram identificadas 3.147 famílias de patentes, a maioria depositada na China, com 1.069 famílias, seguida pela Alemanha, com 227 famílias, e Espanha, com 178. O Brasil aparece com 23 famílias de patentes depositadas nesse domínio tecnológico. Importante destacar que os domínios mais presentes (basic materials chemistry, bio-technology e environmental technology) estão na área de geração de energia e processos mais ambientalmente recomendados, que envolve processos de design de reatores e sistemas de purificação de gás até modificação genética de micro-organismos para biodigestão.

### 3.2 Syngas

o syngas, ou gás de síntese, pode ser obtido de processos de conversão indireta do  $\text{CH}_4$ . Existem três formas amplamente conhecidas para obtenção do syngas: (i) reforma do metano, que ocorre por meio da reforma a vapor (RV) (Equação 1); (ii) reforma a seco (RSM) (Equação 2); e (iii) oxidação parcial (OPPARCIAL) (Equação 3), que combina processos com a reforma autotérmica do metano. Além disso, o syngas também pode ser obtido do processo de gaseificação (PHAN *et al.*, 2018).





(Equação 3)

A literatura mostra que a reforma a vapor (RV) é eficiente para a conversão de biogás em syngas, com baixa taxa de desativação catalítica. A presença de vapor permite gaseificar a deposição de coque e limita assim a desativação catalítica. No entanto, a reforma a vapor é um processo que consome muita energia devido a sua alta temperatura operacional e alta taxa de produção de água. Já a oxidação parcial (OPPARCIAL) não permite a inclusão de CO<sub>2</sub> no processo (PHAN *et al.*, 2018).

Por essas razões, a reforma a seco do CH<sub>4</sub> (RSM) tem sido intensamente investigada nos últimos anos como solução promissora para a reforma do biogás. O processo RSM desempenha um papel potencialmente importante na produção de syngas, especialmente devido aos baixos custos operacionais (isto é, ~ 20% menor do que qualquer outro processo de reforma) e a possibilidade de utilizar gases com abundância de CO<sub>2</sub> (PHAN *et al.*, 2018). O syngas obtido a partir da reforma do biogás pode ser utilizado para sintetizar diversos produtos químicos, principalmente na produção de hidrocarbonetos líquidos, que são os principais subprodutos do petróleo.

Ao realizar a busca patentária utilizando-se a palavra-chave “syngas”, obteve-se o resultado de 2.675 patentes publicadas nos últimos 20 anos. A Figura 3 mostra a evolução dos depósitos na área, por ano, sendo o crescimento dos depósitos bastante expressivo a partir de 2012.

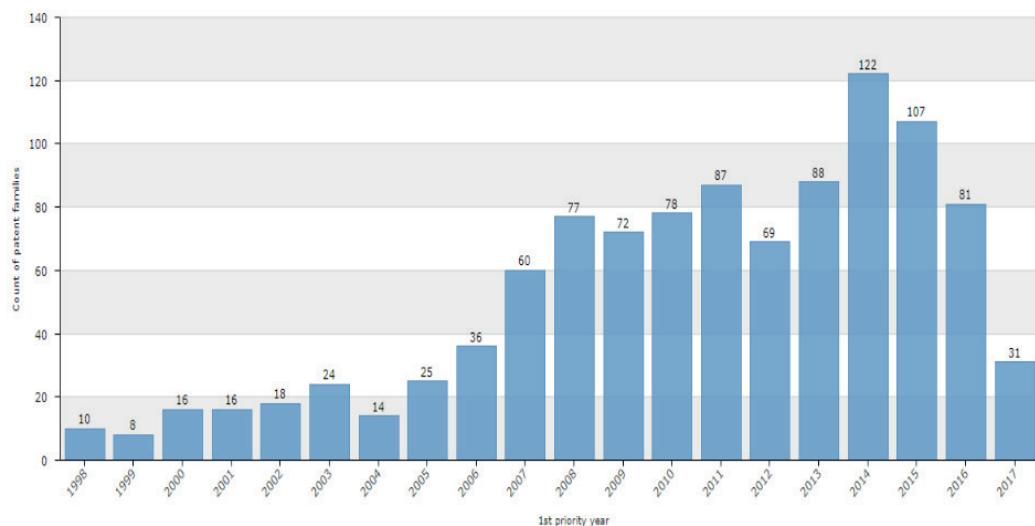


Figura 3. Patentes por ano de publicação utilizando-se a palavra-chave “syngas”

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no software Questel Orbit® (ORBIT, 2018)

Além da concentração de depósitos registrados nos últimos 20 anos, também foi identificado um número significativo de depósitos internacionais via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT) oriundos, em sua maioria, de grandes corporações como General Electric e China Petroleum & Chemical.

A General Electric é um conglomerado multinacional americano que desenvolve

produtos em diversas áreas, entre elas petróleo & gás e energia renovável. Essa empresa tem uma intensa atividade de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) com gaseificadores em geral e até mesmo possui plantas de produção de energia limpa por meio de turbinas de gás chamadas Integrated Gasification Combined-Cycle (IGCC).

A China Petroleum & Chemical é uma empresa chinesa fornecedora de produtos químicos e derivados do petróleo, com experiência em exploração onshore e offshore de óleo cru e gás natural, processamento, refino, distribuição, transporte e comercialização. Tanto a China Petroleum & Chemical quanto a General Electric são líderes no setor e certamente têm induzido as pesquisas na área de produção de syngas. Ademais, existe uma grande quantidade de aplicações para a tecnologia do syngas. Dentre elas se destacam o syngas e o uso de catalisadores para produção de subprodutos de alto valor agregado como metanol e hidrocarbonetos leves.

No entanto, tanto o  $\text{CO}_2$  quanto o  $\text{CH}_4$  são moléculas estáveis, portanto é necessário a presença de altas temperaturas reacionais ( $> 700^\circ\text{C}$ ) para quebrar a barreira termodinâmica dessa reação, que é endotérmica. Uma possível alternativa à presença de elevadas temperaturas é a utilização de catalisadores que influenciam na formação dos produtos que podem variar entre a produção de metano e a de hidrocarbonetos de maior peso molecular como olefinas e parafinas (SCHULTZ; SOARES, 2014)

### 3.3 Syngas e catálise

Com o objetivo de refinar ainda mais a pesquisa, foi conduzida, inicialmente, uma busca patentária com a palavra-chave “syngas”, da qual se obteve um total de 1.134 documentos. Verificou-se que as atividades de P&D relacionadas ao tema estão fortemente concentradas na China, nos Estados Unidos e na União Europeia. O Brasil apareceu na 10º posição. A Figura 4 retrata essa realidade.

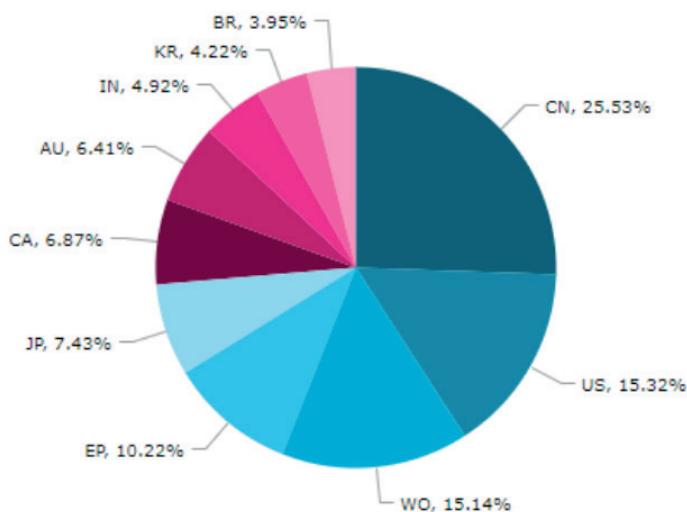


Figura 4. Países que mais publicam sobre o tema syngas.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no software Questel Orbit® (ORBIT, 2018)

Dentre as empresas que mais desenvolvem patentes na área, destacam-se grandes multinacionais como a China Petroleum & Chemical (ou China Sinopec), conforme mostrado na Figura 5. Na prospecção também foram identificadas outras grandes empresas como General Electric e Shell, com depósitos em números bem inferiores, mas que não deixam de indicar uma tendência de investimentos em P&D no setor.

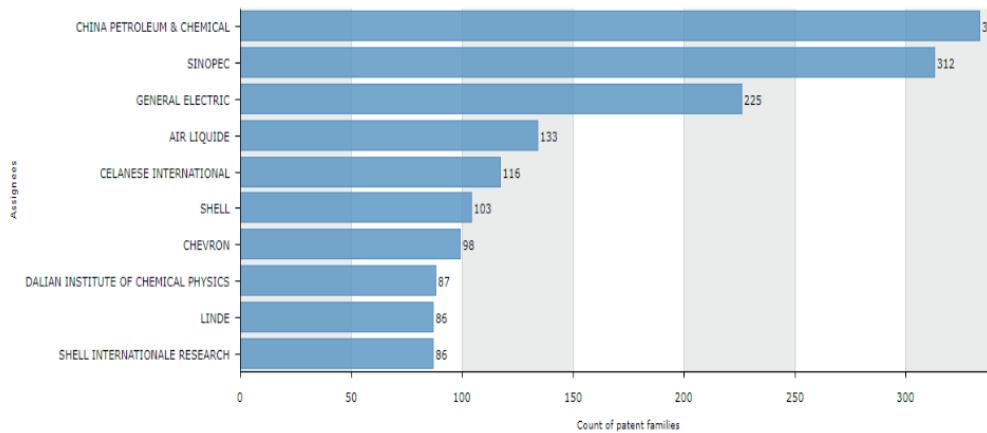


Figura 5. Empresas que mais depositaram patentes na área de syngas.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no software Questel Orbit® (ORBIT, 2018)

Por fim, foi inserido o termo “cataly\*”, pois o uso de catalisadores aplicados ao syngas pode gerar diversos subprodutos de alto valor agregado, sendo importante refinar os resultados para saber a catálise envolvida no processo. Desse modo, a combinação de palavras-chave “(syngas and cataly\*)” resultou 256 pedidos de patentes demonstrando um baixo número de patentes e assim reforça- se a incipienteza de pesquisas na área.

A Figura 6 mostra que os principais centros de pesquisa na área estão concentrados nos Estados Unidos e na China, seguindo a tendência dos resultados das buscas realizadas anteriormente dentro do escopo deste trabalho. Todavia, a concentração maior está na empresa China Sinopec, que possui 64 patentes depositadas, e de outras que aparecem com número de depósitos menores.

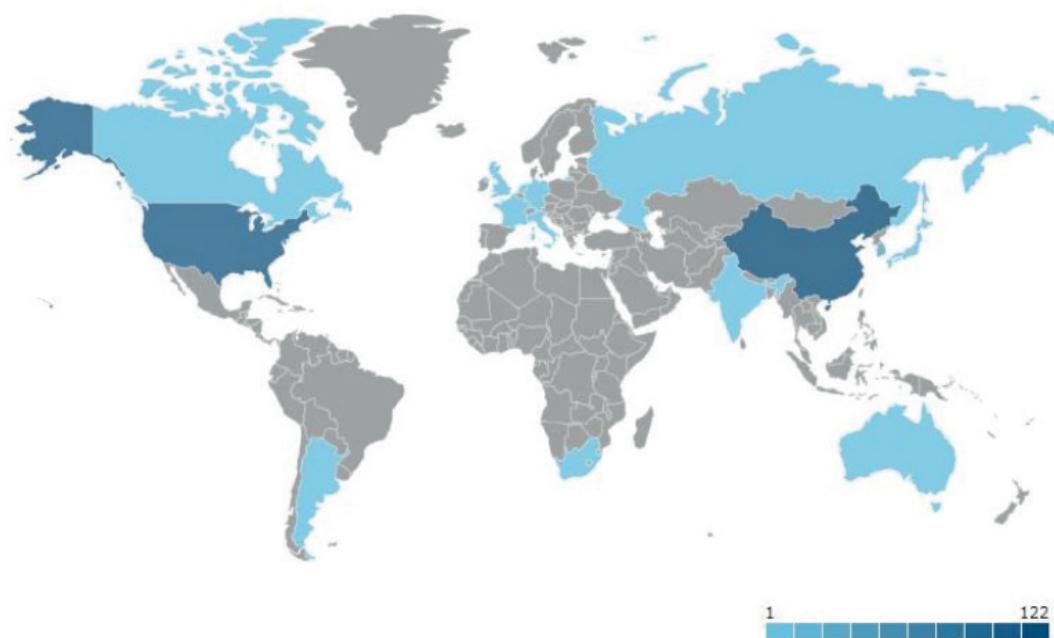


Figura 6. Concentração das atividades de P&D na área de syngas e catálise.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no software Questel Orbit® (ORBIT, 2018).

A incipienteza das pesquisas na área de syngas e catálise é evidenciada pela relação entre o número de patentes depositadas e o número de artigos publicados. A Figura 7 mostra quanto a maturidade das pesquisas nessa área é alta, ao passo que a maturidade tecnológica ainda é bem inferior. Tal informação indica que as pesquisas estão avançadas, mas o desenvolvimento tecnológico visando à aplicação industrial ainda carece de mais investimentos.

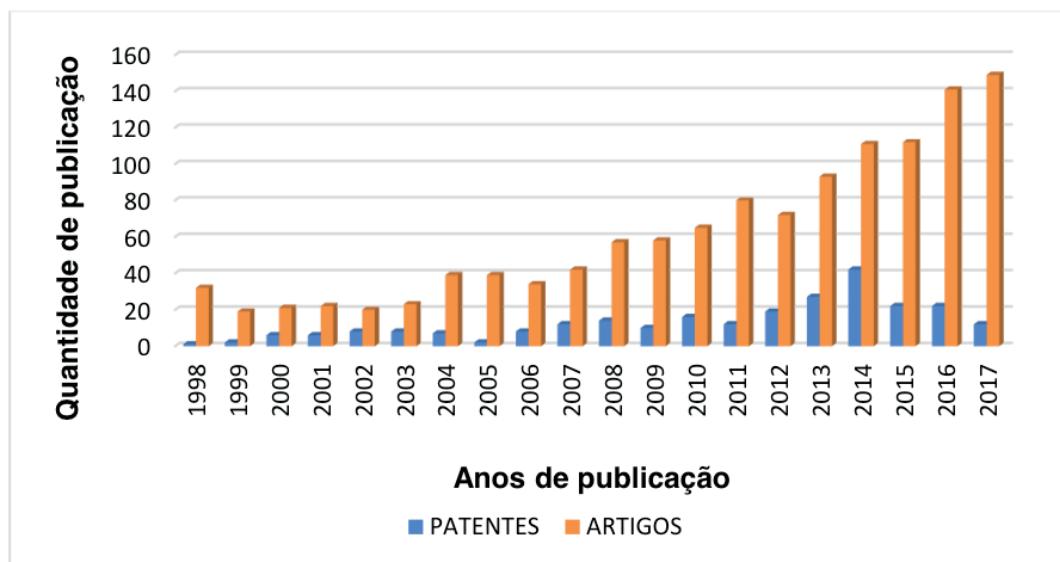


Figura 7. Quantidade de depósito de patentes e de artigos nos últimos 20 anos.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo, gerada no Excel.

Destaca-se que o fato de a China obter resultados bastante expressivos em todas as buscas realizadas deve-se em grande medida as suas políticas internas

de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias verdes. Tais incentivos concentram-se em praticamente todas as áreas passíveis de geração de energia, entre elas as renováveis. Em 2005 a China aprovou sua Renewable Energy Law, que tem o objetivo de “[...] promover o desenvolvimento e a utilização de energia renovável, aumentando o fornecimento, melhorando a estrutura, salvaguardando sua segurança, protegendo o meio ambiente e realizando um desenvolvimento econômico e social sustentável”. Por “energia renovável” entende-se as não fósseis, como eólica, solar, hidroenergia, bioenergia, geotérmica e oceânica, entre outras. Além disso, é uma área que merece atenção dos pesquisadores brasileiros, visto o grande potencial brasileiro no setor, não só em termos de resíduos a serem utilizados como também instituições capacitadas e consolidadas para atuar na área, como a Embrapa Agroenergia.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atividades de P&D que gerem propriedade intelectual mostram-se mais consolidadas para a área de biogás, apesar de haver uma mudança de tendência a partir de 2013, indicando boas perspectivas nas áreas de pesquisa sobre syngas e catálise. Para estes, entretanto, a maturidade tecnológica mostra-se baixa, mas com tendência de crescimento e consolidação, tendo em vista o aumento dos incentivos para atividades de P&D.

As pesquisas mostraram que ambas as áreas têm potencial de crescimento e mercado para serem desenvolvidas. No Brasil, os reatores de biogás são amplamente comercializados; porém, sua aplicação para geração de energia com melhor aproveitamento energético e para geração de outros combustíveis ainda necessita de desenvolvimento tecnológico.

No mundo, muitas empresas estão protegendo tecnologias para geração de energia renovável, mostrando que há mercado futuro para comercialização encorajado por políticas públicas de muitos países, entre eles a China, que apresentou resultados crescentes nas buscas por patentes realizadas.

## REFERÊNCIAS

- ASENCIOS, Y. J. O. Reações de reforma de biogás sobre catalisadores de NiO-MgO-ZrO<sub>2</sub> e NiO-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2012.
- BRDAR, D. R; JONES, M. R. **GE IGCC Technology and Experience with Advanced Gas Turbines**. GE Power Systems. Disponível em: <[https://www.ge.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en\\_US/documents/technical/ger/ger-4207-ge-igcc-technology-experience-advanced-gas-turbines.pdf](https://www.ge.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/technical/ger/ger-4207-ge-igcc-technology-experience-advanced-gas-turbines.pdf)>. Acesso em: 6 jul. 2018.
- DA SILVA, M. I.; DE BORTOLI, A. L.; Modelagem e simulação do processo de formação do biogás. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 6, n. 1, 2018.
- DOS SANTOS, R. O.; DE SOUSA, S. L.; PRATA, D. M.; Simulation and optimization of a methanol

synthesis process from different biogas sources. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 821-830, 2018.

DRIF, A.; BION, N.; BRAHMI, R.; OJALA, S.; PIRAUT-ROY, L.; TURPEINEN, E.; EPRON, F. Study of the dry reforming of methane and ethanol using Rh catalysts supported on doped alumina. **Applied Catalysis A: General**, v. 504, p. 576-584, 2015.

HERMES, N. A. Hidrogênio e nanotubos de carbono por decomposição catalítica do metano: desempenho de catalisadores à base de cobalto e alumínio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

KADAM, R.; PANWAR, N. L. Recent advancement in biogas enrichment and its applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 892-903, 2017.

LI, D.; LI, R.; LU, M.; LIN, X.; ZHAN, Y.; JIANG, L. Carbon dioxide reforming of methane over Ru catalysts supported on Mg-Al oxides: A highly dispersed and stable Ru/Mg(Al)O catalyst. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 200, p. 566-577, 2017.

MINISTRY OF COMMERCE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **Renewable Energy Law of the People's Republic of China**. Disponível em: <<http://english.mofcom.gov.cn/article/policyrelease/Businessregulations/201312/20131200432160.shtml>>. Acesso em: 6 jul, 2018.

MORAL, A.; REYERO, I.; ALFARO, C.; BIMBELA, F.; GANDÍA, L. M. Syngas production by means of biogas catalytic partial oxidation and dry reforming using Rh-based catalysts. **Catalysis Today**, v. 299, p. 280-288, 2018.

ORBIT INTELLIGENCE. [Base de dados – Internet]. Orbit Intelligence– Questel; 2018 Disponível em: <<https://www.orbit.com>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

PHAN, T. S.; SANE, A. R.; DE VASCONCELOS, B. R.; NZIHOU, A.; SHARROCK, P.; GROUSET, D.; MINH, D. P. Hydroxyapatite supported bimetallic cobalt and nickel catalysts for syngas production from dry reforming of methane. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 224, p. 310-321, 2018.

SCHULTZ, E.; SOARES, I. Embrapa Agroenergia-Circular Técnica (INFOTECA-E) 2014.

SERRANO-LOTINA, A.; RODRÍGUEZ, L.; MUÑOZ, G.; DAZA, L.; Biogas reforming on La-promoted NiMgAl catalysts derived from hydrotalcite-like precursors. **Journal of Power Sources**, v. 196, n. 9, p. 4404-4410, 2011.

TEIXEIRA, L. P. Prospeção Tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados. Documentos 317. Junho, 2013. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/981247/1/doc317.pdf>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

US DEPARTMENT OF ENERGY – NETL. Entrained flow gasifiers. **GE Energy (Formerly Chevron Texaco) Gasifier**. Disponível em: <<https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/ge>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

VITA, A.; ITALIANO, C.; PREVITALI, D.; FABIANO, C.; PALELLA, A.; FRENI, F.; MANENTI, F.; Methanol synthesis from biogas: A thermodynamic analysis. **Renewable Energy**, v. 118, p. 673-684, 2018.

WEB OF SCIENCE [Base de dados – Internet]. Clarivate Analytics; 2018. Disponível em: <[http://apps-webofknowledge.ez54.periodicos.capes.gov.br/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=5BrEhYkK1RLrztfx4X&preferencesSaved=>](http://apps-webofknowledge.ez54.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=5BrEhYkK1RLrztfx4X&preferencesSaved=>)>. Acesso em 03 jul. 2018.

YAO, X., KONG, T.; YU, S.; LI, L.; YANG, F.; DONG, L. Influence of different supports on the physicochemical properties and denitrification performance of the supported Mn-based catalysts for NH<sub>3</sub>-SCR at low temperature. **Applied Surface Science**, v. 402, p. 208-217, 2017.

ZENG, Y. X.; WANG, L.; WU, C. F.; WANG, J. Q.; SHEN, B. X.; TU, X.; Low temperature reforming of biogas over K-, Mg-and Ce-promoted Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts for the production of hydrogen rich syngas: Understanding the plasma-catalytic synergy. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 224, p. 469-478, 2018.

## UTILIZAÇÃO DE PELÍCULAS COMESTÍVEIS NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MORANGOS

Data de aceite: 25/11/2019

### **Tatiane Barbosa dos Santos**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Toledo – Paraná.

### **Matheus Luis Ferrari**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Toledo – Paraná.

### **Marcio Eduardo Hintz**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Toledo – Paraná.

### **João Paulo Brazão Gianini**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Toledo – Paraná.

### **Rafael Rodrigo Bombardelli**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Toledo – Paraná.

### **Idiana Marina Dalastra**

Professora Dra. Pontifícia Universidade Católica  
do Paraná, Toledo - Paraná.

**RESUMO:** O morango possui vida útil curta devido ao seu intenso metabolismo, sendo recomendado resfriamento a baixas temperaturas para prolongar a vida útil em 3 a 7 dias. A utilização de películas protetoras comestíveis promove um incremento na longevidade da vida útil pós-colheita. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho do morango submetido a diferentes coberturas

comestíveis durante o armazenamento refrigerado. O experimento foi realizado no laboratório de Tecnologia de Transformação de Produtos Agropecuários (TTPA) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), campus Toledo – PR. Os frutos foram selecionados, descartando aqueles com defeitos ou doentes. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições em esquema fatorial 3x5 (3 avaliações e 5 películas) acondicionados na BOD em temperatura de 15°C por 10 dias. Houve diferença significativa entre as variáveis analisadas. A película de resveratrol foi a que menos perdeu peso, enquanto testemunha obteve maior grau Brix devido a maior perda de água. Conclui-se, portanto que às películas à base de resveratrol e solução de quitosana obtiveram resultados satisfatórios, maior brilho comparado as outras películas. Em geral as películas conservaram a vida útil dos morangos para o consumo em 6 dias a temperatura de 15°C.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Fragaria*, preservação de alimentos, índice de doença.

**USE OF DIFFERENT EDIBLE FILMS IN THE  
CONSERVATION OF STRAWBERRIES**

**ABSTRACT:** The strawberry has a short shelf life due to its intense metabolism, and cooling

at low temperatures is recommended to extend shelf life in 3 to 7 days. The use of edible protective films promotes an increase in the longevity of the post-harvest shelf life. The aim of this study was to evaluate the performance of the strawberry submitted to different edible coverages during refrigerated storage. The experiment was carried out in the Laboratory of Transformation Technology of Agricultural Products (APTT) of the Pontifical Catholic University of Paraná (PUCPR), Toledo - PR campus, the fruits were selected, discarding those with defects or patients. The experimental design was completely randomized, with four replications in a 3x5 factorial scheme (3 evaluations and 5 films) conditioned in the BOD at a temperature of 15°C for 10 days. There was a significant difference between the analyzed variables. The resveratrol film was the one that lost the least weight, while the control obtained higher degree Brix due to the greater loss of water. It was concluded, therefore, that the films based on resveratrol and chitosan solution obtained satisfactory results, greater brightness compared to other films. In general, the films preserved the shelf life of the strawberries for consumption in 6 days at a temperature of 15°C.

**KEYWORDS:** *Fragaria*, preservation of food, disease index

## INTRODUÇÃO

O morangueiro é uma planta herbácea, rasteira e perene, pertencente à família das rosáceas, cuja reprodução assexuada ocorre a partir dos estolões emitidos pela planta (RONQUE, 1998). O Paraná é o quinto estado produtor, atrás de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Espírito Santo. No País, 4.300 hectares são destinados ao cultivo que geram 160 mil toneladas de morango. Com uma produtividade de 35 toneladas por hectare a rentabilidade do produto é de R\$ 180 mil (bruto) por hectare (BEM PARANÁ, 2017).

O morango possui intenso metabolismo recomendando-se resfriamento a 4 a 5°C, podendo prolongar em 6 a 7 dias a pós colheita (SANTOS, 1997). As principais causas de perdas são a curta vida útil e os danos mecânicos sofridos durante a produção e comercialização. A redução das perdas na pós-colheita significa maior disponibilidade de alimentos com custos mais baixos, pois perdas após a colheita resultam em acréscimo no custo da comercialização (YAMASHITA, 2004).

O uso de coberturas comestíveis produzidas a partir de polímeros naturais e biodegradáveis destaca-se como alternativa eficiente para o prolongamento da vida útil pós-colheita de frutos. Atuam favorecendo o domínio dos processos respiratórios, oxidativos e de desidratação que levam à perda de qualidade dos produtos, controlando sua textura, volume, aroma e umidade (GONTARD & GUILBERT, 1996).

A aplicação de cobertura de amido na superfície de frutos funciona como barreira à perda de água e à liberação de CO<sub>2</sub> pelo aumento da espessura da cutícula (OLIVEIRA, 2000). A fécula de mandioca representa assim uma alternativa potencial

à elaboração de coberturas a serem usadas na conservação de frutas, hortaliças e flores (HENRIQUE & CEREDA, 1999; FLORES et al., 2007).

A quitosana possui características como insolubilidade em água, ácidos concentrados, álcalis, álcool e acetona, porém é completamente solúvel em soluções de ácidos orgânicos. Não apresenta valor calórico, não é tóxica, pode ser consumidas juntamente com a fruta, além de possuir atividade antimicrobiana (JORGE, 2010; LUVIELMO, 2013).

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de frutos de morangueiro submetidos a diferentes coberturas comestíveis durante armazenamento refrigerado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no dia 28 de março de 2019 no laboratório de Tecnologia de Transformação de Produtos Agropecuários (TTPA) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), campus Toledo – PR.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x5 (3 datas de avaliação (0, 5 e 10 dias) x 5 tipo de películas), com quatro repetições de 11 frutos cada. Os tratamentos foram: T1- Testemunha; T2- Solução de Quitosana 1,5%; T3- Fécula de Mandioca 3%; T4- Amido de Milho 4%; T5- Resveratrol 6000 mg L<sup>-1</sup>. Foi utilizado bandejas de polietileno aberta, sendo embalada com filme plástico, acondicionados em BOD a temperatura de 15°C durante 10 dias.

Os frutos de morango, cv. Albion foram adquiridos de um produtor no município de Toledo. Após a aquisição, os frutos foram levados para o laboratório, onde passaram pelo processo de seleção descartando aqueles com defeitos, doentes ou injúrias devido ao transporte. Em seguida receberam o tratamento com as diferentes películas:

a) Fécula de mandioca – para o preparo da película foram suspensos 60g (3%) de fécula de mandioca em 2 litros de água destilada. A suspensão foi aquecida à temperatura máxima de 70°C, com agitação constante, até a geleificação da fécula, o que ocorreu entre 15 e 20 min. Após geleificação as suspensões permaneceram em repouso até resfriamento à temperatura ambiente. Os frutos foram imersos na suspensão por três minutos e colocados para secar sobre tela de "nylon", para drenar líquido (HENRIQUE & CEREDA, 1999).

b) Solução de Quitosana – A quitosana foi diluída em ácido ascórbico por ser insolúvel em água. A solução de quitosana 1,5 % foi aspergida e em seguida os frutos foram dispostos sobre papel absorvente para retenção do excesso de umidade e secagem sob ventilação, antes do acondicionamento (CAMILI et al., 2007).

c) Resveratrol - foram aplicados resveratrol a 6000 mg L<sup>-1</sup>, como o produto

utilizado estava em forma de óleo, necessitou-se utilizar dez gotas de Twin 20 para diluir o óleo e ser aplicado com auxílio de aspersor manual e, imediatamente, embalados com filme de polietileno (ZAIKOVSKI, 2006).

d) Amido de Milho: A solução de amido de milho foi obtida por meio da geleificação do amido na concentração de 4% em água aquecida até 70°C sob agitação constante por quinze min. Em seguida a solução foi deixada em repouso até o resfriamento, a temperatura ambiente. Os frutos foram imersos na solução por um minuto e colocadas para secar em bancada, sob ventilação artificial por trinta minutos, antes do acondicionamento (SANTOS, 2011).

Após a realização dos tratamentos, os frutos foram acondicionados em BOD sob temperatura de 15°C por durante 10 dias. As variáveis quantitativas analisadas foram: perda de massa, sendo os resultados expressos em porcentagem (%). As variáveis qualitativas foram: índice de doença em porcentagem (%), teor de sólidos solúveis totais (SS), expressos em graus Brix, acidez titulável (AT).

Para a determinação de perda de massa as amostras foram pesadas, no qual foi obtido através da diferença entre o peso inicial e o final, de acordo com a fórmula: Perda de massa =  $[(\text{massa inicial} - \text{massa final}) / (\text{massa inicial})] \times 100$  (PEREIRA JUNIOR, 2014). A média dos resultados foi expressa em porcentagem de perda de massa.

Para a determinação das análises físico-químicas (SS, AT), foi macerado um fruto e, utilizado a polpa. O teor de sólidos solúveis das amostras foi obtido com o auxílio de um refratômetro portátil óptico manual, que fornece medidas diretas de graus Brix, com resolução de 0,2 B, sem a necessidade de correção em função da temperatura.

Para a determinação da acidez titulável foram medidos 5g de amostra a qual foi macerada adicionado 50 ml de água destilada, sendo esta solução titulada com solução padronizada de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e os resultados foram transformados em valores de acidez utilizando a equação descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

O índice de doença foi quantificado com base nos estudos de Da Costa (2009), a quantificação foi a partir dos morangos que apresentaram qualquer sinal visível de desenvolvimento de micélio na superfície, sendo considerados deteriorados. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância para o delineamento inteiramente casualizado e as médias foram comparadas pelo teste de TUKEY, a nível de 5% de probabilidade de erro pelo software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo da interação, dos tipos de películas e do tempo de armazenamento para as variáveis perda de peso (%), sólidos solúveis totais, acidez titulável total (ml), índice de doença (%).

As coberturas podem retardar a desidratação, a perda de compostos aromáticos, mudanças nas propriedades mecânicas dos produtos e podem ser barreiras a gorduras e solutos. Além disso, podem criar uma atmosfera modificada ao redor do produto, em função da permeabilidade aos gases  $O_2$  e  $CO_2$ , reduzindo assim a taxa de respiração, o metabolismo e, consequentemente, a senescência do vegetal (DEL-VALLE et al., 2005; MAFTOONAZAD et al., 2007).

No trabalho realizado houve efeito significativo na interação das diferentes películas e do tempo de armazenamento para a variável perda de peso (%). A utilização de coberturas comestíveis foi eficiente em reduzir ao longo dos dias a perda de peso dos morangos. A tabela 02 apresenta a porcentagem de perda de água em cada tratamento, sendo que o tratamento com resveratrol diferiu significativamente dos demais apresentando a menor porcentagem de perdas.

Tratamentos	Perda de Peso (%)		
	Tempo (dias)		
	0	5	10
T	-	7,78 Bc	4,26 Aa
Q	-	4,99 Bb	4,54 Ba
FM	-	4,43 Bab	4,11 Ba
AM	-	4,01 Bab	4,70 Ba
R	-	3,24 Ba	3,28 Ba

Tabela 01. Análise de perda de peso (%) dos morangos aos cinco e dez dias de armazenamento refrigerado utilizando diferentes películas protetoras comestíveis, Toledo, 2019.

T: testemunha; Q: solução de quitosana; FM: fécula de mandioca; AM: amido de milho; R: resveratrol.

· Não apresentando perda de peso na instalação do experimento

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. Sendo que as letras minúsculas se referem a comparação na coluna e as letras maiúsculas na linha.

Resultados similares foram citados por Ferri (2004) com aplicação exógena de resveratrol na conservação de peras. Também foi utilizada por Ureña et al. (2003) que demonstram o potencial do resveratrol como produto natural na conservação de uvas e maçã.

A perda de massa dos morangos com cinco dias tratados com fécula de mandioca e amido de milho nas concentrações de 3% e 4% respectivamente, não diferiram significativamente entre si. A testemunha foi a que perdeu a maior porcentagem de

água sendo o resveratrol o tratamento que melhor manteve a porcentagem de água no fruto. Os morangos recobertos com películas a base de fécula de mandioca e amido de milho foram os que apresentaram melhor brilho comparado à testemunha.

Resultado semelhante foi encontrado por Damasceno (2003) no qual descreveu que os frutos recobertos com película contendo 3% de fécula de mandioca e 4% de amido de milho apresentaram melhor aparência em relação à amostra controle, isso ocorre devido às películas formarem barreiras resistentes e transparentes, que não alteram as características organolépticas do fruto, além de atuarem como eficiente barreira contra a perda de água, proporcionando bom aspecto e brilho e consequentemente tornando o fruto mais atrativo.

O tratamento com solução de quitosana se comportou de forma similar à testemunha, esse efeito é descrito por Velenzuela (2015), mostrando que a quitosana tem natureza hidrofílica capaz de interagir com partículas de água no ambiente, aumentando o fluxo de água permeável, uma das características da quitosana.

Houve efeito significativo na interação dos tipos películas e do tempo de armazenamento para a variável sólidos solúveis totais (SST) apresentados na tabela 03, o tratamento testemunha que apresentou maior teor de sólidos solúveis totais durante os dez dias (8,13). A 0 dias não houve diferença estatística entre os tratamentos. Aos cinco dias a testemunha e a solução de quitosana apresentaram o melhor nível de grau Brix. Aos dez dias o melhor tratamento foi a testemunha, sendo confirmado pela perda de massa na tabela 02, onde a testemunha a 10 dias teve a maior perda de massa entre os tratamentos. Itako (2008) confirma a avaliação, pois quanto maior a maturação do fruto maior a quantidade de sólidos solúveis, pois o fruto está em constante perda de água possuindo açúcares em teor elevado no seu conteúdo.

Tratamentos	Sólidos Solúveis		
	0	5	10
T	7,65 Aa	7,7 Aa	8,13 Aa
Q	7,33 Aa	7,45 Aa	7,35 Aab
FM	8,23 Aa	7,35 ABab	5,8 Bb
AM	7,75 Aa	3,55 Bc	6,25 Aab
R	6,40 Aa	5,4 Abc	6,4 Aab

Tabela 02. Valores de sólidos solúveis totais (SST) em ° Brix com o uso de diferentes películas comestíveis, realizado através de refratômetro digital a zero, cinco e dez dias de armazenamento refrigerado utilizando diferentes películas protetoras comestíveis, Toledo, 2019.

T: testemunha; Q: solução de quitosana; FM: fécula de mandioca; AM: amido de milho; R: resveratrol.

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. Sendo que as letras minúsculas se referem a comparação na coluna e as letras maiúsculas na linha.

O teor de sólidos solúveis de quase todas as amostras encontra-se de acordo com o padrão mínimo exigido pelo M.A.P.A., com a portaria nº 58, de 30 de agosto de 2016, definido no art. 19 do Decreto nº 6.871/2009, sendo de no mínimo 7,50 em ° Brix, a 20°C.

Os valores mínimos de sólidos solúveis originais do PBMH – Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura, para o produto morango é 7, sendo que esse valor tende a crescer com o tempo de permanência do fruto. Um conteúdo mais alto de sólidos solúveis indica sinal de fruta colhida mais madura, com todos os compostos responsáveis por seu aroma, sabor e características organolépticas (CEAGESP, 2016).

Resultados semelhantes foram observados por Tanada-Palmu; Grosso (2005) e Hernández-Muñoz et al. (2008) que observaram aumento no teor de SST de morangos, que receberam coberturas a base de glúten e quitosana, respectivamente. Este aumento pode ser explicado pela perda de água sofrida pelos morangos, aumentando a concentração dos SST.

Houve efeito significativo na interação dos tipos de películas e do tempo de armazenamento para a variável análise de acidez titulável (Tabela 04), ocorrendo diferença significativa entre os tratamentos a cinco dias, solução de quitosana e fécula de mandioca foram os que apresentaram-se dentro do ideal segundo Kader (1999), o máximo aceitável de ATT em morangos, correspondente a um sabor agradável é 0,8%.

Na primeira avaliação a zero dias nenhum morango encontrou-se dentro do teor de ATT de acordo com Cordenunsi, Nascimento & Lajolo (2003) os teores adequados para morango variam entre 0,6 e 2,3%, portanto a 5 dias todos os morangos se apresentaram dentro dos teores adequados e a 10 dias solução de quitosana, amido de milho e resveratrol não apresentaram-se dentro dos teores adequados.

Tratamentos	Acidez Titulável (ml)		
	Tempo (dias)		
	0	5	10
T	0,44 Ca	0,120 Aa	0,66 Ba
Q	0,44 Ba	0,68 Ab	0,38 Bb
FM	0,38 Ba	0,74 Ab	0,54 Bab
AM	0,54 Ba	0,122 Aa	0,38 Bb
R	0,44 Ba	0,116 Aa	0,36 Bb

Tabela 03. Avaliação de acidez titulável em porcentagem de ácido cítrico a zero, cinco e dez dias de armazenamento refrigerado utilizando diferentes películas protetoras comestíveis, Toledo, 2019.

T: testemunha; Q: solução de quitosana; FM: fécula de mandioca; AM: amido de milho; R: resveratrol.

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. Sendo que as letras minúsculas se referem a comparação na coluna e as letras maiúsculas na linha.

De acordo com Chitarra & Chitarra (2005), durante o amadurecimento dos frutos espera-se que os valores de SST aumentem devido à hidrólise de polissacarídeos em açúcares simples e que os valores de ATT diminuam pelo consumo de ácido no ciclo de Krebs gerando CO<sub>2</sub>, água e energia.

Em relação ao índice de doença, a interação tempo (dias) x tipos de películas foi significativa ( $p<0,05$ ). Procedendo assim o desdobramento da interação (Tabela 05).

Tratamentos	Índice de Doença (%)		
	Tempo (dias)		
	0	5	10
T	-	65,91 Ac	92,5 Bb
Q	-	54,55 Bab	65,0 Ba
FM	-	59,09 Aab	97,5 Bb
AM	-	50,00 Aab	100,0 Ab
R	-	43,18 Aa	90,0 Bb

Tabela 04. Avaliação de Índice de doença realizado aos cinco e dez dias de armazenamento refrigerado utilizando diferentes películas protetoras comestíveis, Toledo, 2019.

T: testemunha; Q: solução de quitosana; FM: fécula de mandioca; AM: amido de milho; R: resveratrol.

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. Sendo que as letras minúsculas se referem a comparação na coluna e as letras maiúsculas na linha.

A contaminação visual por fungos iniciou-se no quarto dia de armazenamento em todos os tratamentos. Na tabela pode-se visualizar a cinco dias o tratamento que menor apresentou fungos visíveis foi o resveratrol, seguidos de solução de quitosana, fécula de mandioca e amido de milho. Aos dez dias os frutos de morangos estavam todos os tratamentos praticamente inaptos ao consumo, exceto os tratados com solução de quitosana que apresentaram 65% de frutos com presença de fungos visíveis.

Da Costa (2009) constatou que o uso de quitosana + ácido ascórbico nas coberturas possibilitaram ganho adicional de qualidade, no controle de desenvolvimento fúngico.

## CONCLUSÕES

01. Resveratrol e solução de quitosana apresentaram resultados satisfatórios, além do maior brilho do início ao fim do experimento.

02. Em geral os frutos apresentaram uma vida útil pós-colheita de aproximadamente seis dias.

03. Após seis dias a maioria dos frutos não se encontravam apropriados para o consumo, pois mais de 50% estavam com incidência de patógeno.

## REFERÊNCIAS

- BEM PARANÁ. **Começa a safra de morango. Paraná é o quinto produtor do fruto 2017.** Disponível em: <https://www.bemparana.com.br/noticia/comeca-a-safra-de-morango-em-todo-o-pais-#.XMDqEehKjIV>. Acesso em: 26 abr 2019.
- CAMILI, E. C.; BENATO, E. A.; PASCHOLATI, S. F.; Patrícia Cia. **Avaliação de quitosana, aplicada em pós colheita, na proteção de uva 'Itália' contra *Botrytis cinerea*.** UNESP. 2007.
- CEAGESP – Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. A medida da doçura das frutas. **Cartilha Técnica 08.** São Paulo. 2016, 17 p. Disponível em <https://www.hortibrasil.org.br/images/Brix02022017.pdf>, acesso em 24 de mar 2019.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. Ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. R. O.; LAJOLO, F. M. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. **Food Chemistry**, Philadelphia, v. 83, p.167-173, 2003.
- DA COSTA, C. S. **Coberturas à base de quitosana na qualidade pós colheita de morangos cv. Aromas.** 2009. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS. 2009.
- DAMASCENO, S.; OLIVEIRA, P. V. S.; MORO, E.; MACEDO JR, E. K.; LOPES, M. C.; VICENTINI, N. M. Efeito da aplicação de película de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de tomate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 377-380, 2003.
- DEL-VALLE, V.; HERNÁNDEZ-MUNOZ, P.; GUARDA, A.; GALOTTO, M. J. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia Picus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. **Food Chemistry**, v. 91, p. 751-756, 2005.
- FERRI, V. C; RISTOW, N. C.; SILVA, P. R.; PEGORARO, C.; FERRAREZE, J. P.; SOARES, G. C. **Resveratrol em maça 'Catarina' e 'Fuji' armazenada em temperaturas ambiente.** 2004.
- FLORES, S.; FAMÁ, L.; ROJAS, A. M.; GOYANES, S.; GERSCHENSON, L. Physical properties of tapioca-starch edible films: influence of filmmaking and potassium Sorbate. **Food Research International**, v.40, p. 257-265, 2007.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SBCTA)**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 3-15, 1996.
- HENRIQUE, C. M.; CEREDA, C. M. Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria ananassa* Duch) cv IAC Campinas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 231-233, 1999.
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; ALMENAR, E.; DEL-VALLE, V.; VELEZ, D; GAVARA, R. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality

during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 110, p.428-435, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. V. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. Ed. São Paulo: IMESP, 1985.

ITAKO, A.; SCHWAN-ESTRADA, C. R.F.; TOLENTINO, J. J. B. ; STANGARLIN, R. J. ; Atividade antifúngica e proteção do tomateiro por extratos de plantas medicinais. **Tropical Plant Pathology**, vol. 33, 3, 241-244. 2008.

JORGE, P. C. S. **Avaliação de maçã 'Royal Gala' revestida com filme de quitosana durante o período de pós-colheita**. 2010. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho de Araraquara, São Paulo. 2010.

KADER, A. A. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. **Acta Hort.**, Belgium, v. 485, p. 203-208, 1999.

LUVIELMO, M. M; LAMAS, S. V; **Revestimentos Comestíveis em Frutas**. Estudos Tecnológicos em Engenharia, Pelotas v. 8, n. 01, p. 8-15, 2013.

MAFTOONAZAD, N.;RAMASWAMY, H. S.; MOALÉMIYAN, M.; KUSHALAPPA, A. C. Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 341-349, 2007.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 94, de 30 de agosto de 2016. 2016**. Disponível em : [http://www.lex.com.br/legis\\_27181299\\_PORTARIA\\_N\\_58\\_DE\\_30\\_DE\\_AGOSTO\\_DE\\_2016.aspx](http://www.lex.com.br/legis_27181299_PORTARIA_N_58_DE_30_DE_AGOSTO_DE_2016.aspx) Acesso em: 25 de abr 2019.

OLIVEIRA, T. A.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; FERREIRA, R. M. A. Efeito do revestimento de tomate com biofilme na aparência e perda de massa durante o armazenamento. 2000. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v. 6, n.1, p.230-234.

PEREIRA JUNIOR, P. C. S. **Revestimento comestíveis na conservação** pós-colheita de morangos cultivar **camarosa** produzidos em sistema orgânico e convencional. UFES. Alegre, ES. 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2009. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RONQUE, E. R. V. **Cultura do morangueiro : revisão prática**. Curitiba: EMATER/PR, 1998. Cap 1-2, 206p.

SANTOS, A. M. **Cultivo de pequenas frutas, em regiões de clima temperado no Brasil, sob cobertura plástica**. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO 1997. Anais. Botucatu, UNESP, p. 168-174, 1997.

SANTOS, A. E. Influência de biofilmes de fécula de mandioca e amido de milho na qualidade pós-colheita de manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 2011.

TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C. R. F. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*). Postharvest **Biology and Technology**, v. 36, p.199-208, 2005.

UREÑA, A.; G.; OREA, J. M.; MONTERO C.; JIMENEZ, J. B.; GONZALEZ, J. L.; SANCHEZ, A.; DORADO, M. Melhorar a resistência em pós colheita dos frutos por aplicação externa de trans-resveratrol. **Jornal da agricultura e química dos alimentos**. Vol. 51, nº1, pp.82-89. 2003.

VALENZUELA, C.; TAPIA, C.; LÓPEZ, L.; BUNGER, A.; ESCALONA, V.; ABUGOCH, L. Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality. **Elsevier – Electronic Journal of Biotechnology**, n. 18, p. 406-411, 2015.

YAMASHITA, F. **Filmes e revestimentos biodegradáveis aplicados a frutas e hortaliças minimamente processadas**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 3., 2004, Viçosa. Palestras...Viçosa: UFV, 2004. p. 57-62.

ZAICOVSKI, C. B.; TILOBA, C. S.; MALGARIM, M. B.; FERRI, V. C.; PAGORARO, C.; **Resveratrol na qualidade pós colheita de morangos “CAMAROSA”**. FAEM/UFPel – Pelotas/RS. 2006.

## 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

Aço inoxidável 178, 181  
Aproveitamento de costaneira 81  
Argamassa de revestimento 35, 36, 42, 44, 45  
Argila montmorilonítica 167, 168

### C

Carga normal 68, 71, 73, 74, 75, 77, 78, 79  
Cisalhamento 21, 23, 24, 27, 31, 32, 33, 34, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 203, 217  
CLT 97, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157  
Coeficiente de atrito 68, 71, 73, 74, 79  
Comparação 7, 13, 14, 23, 40, 56, 57, 58, 61, 63, 73, 75, 77, 78, 79, 86, 133, 135, 140, 145, 206, 209, 244, 245, 247  
Compartimentação horizontal 108, 110, 111, 118  
Compressão 24, 25, 28, 29, 33, 48, 114, 115, 135, 137, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 164, 165, 166, 201  
Concreto 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 61, 97, 117, 118, 123, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 190  
Concreto armado 21, 22, 23, 33, 34, 37, 123, 148, 156, 157  
Conforto acústico 45  
Conforto térmico 45, 47, 50, 53, 122  
Construção civil 12, 18, 22, 23, 36, 44, 45, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 57, 59, 65, 96, 97, 98, 108, 110, 128, 132, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 156, 187  
Construções leves 55, 56, 60, 61, 65, 66  
Corrosão 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 23, 112, 113, 181, 195  
Corymbia citriodora 81, 82, 83, 84, 85, 92, 93  
Cura 15, 22, 35, 43, 44, 145, 152, 156

### D

Densidade 5, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 47, 51, 63, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 145, 149, 150, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 187, 190, 191, 207  
Descolamento 31, 32, 33, 38, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132  
Desgaste deslizante 68, 76  
Detalhe construtivo 94  
Durabilidade 36, 50, 56, 57, 64, 94, 96, 97, 98, 99, 103, 106, 107, 115, 122  
Dureza Janka 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166

### E

Eletroquímica 1, 2, 196, 197  
Ensaios de caracterização 35, 39, 40, 42

Escória 35, 41, 43, 44, 188  
Eucalipto 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 82, 93, 101, 136, 144, 148, 158, 159, 160, 161

## F

Fachadas de edifícios 121, 123, 132  
Fachadas em madeira 94, 95, 96, 100  
Fiação por sopro em solução 167, 168, 169, 170, 171, 176  
Flexão 10, 13, 17, 21, 24, 31, 32, 114, 135, 136, 137, 141, 142, 143, 158, 159, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 201  
Forças de corte 178, 179, 180, 181, 183  
Forno didático 185, 191, 192

## M

Madeira 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 119, 129, 133, 134, 135, 139, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 156, 157, 158, 159, 160, 163, 164, 165, 166  
Manifestação patológica 35  
Materiais alternativos 19, 45, 47  
Materiais compósitos de PRFC 21  
Metal 1, 2, 5, 6, 178, 180, 181, 182, 206, 207, 210, 212, 213, 214, 215, 229  
Microfresamento 178, 180, 181, 183  
Microusinagem 178, 179, 180, 181

## N

Nanofibras de sílica 167, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177

## P

Painéis de madeira 11, 18, 19, 20, 81, 83, 97, 157  
Parede corta-fogo 108, 119  
Patologia 121, 123  
Pinus 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 101, 143, 144, 145, 151  
Poliamida 66 167, 168, 170, 173, 174, 175  
Prática acadêmica 185  
Processo de fundição 185  
Projeto de revestimento 121  
Proteção contra incêndio 108

## R

Reforço estrutural 21, 22, 25  
Resíduo de madeira 81, 92

Revestimento cerâmico 121, 122, 126, 128, 130, 132

Revestimento em madeira 94

## S

Sistema construtivo em placas de silicato de cálcio 108

Solo 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 65, 100, 134, 231

## T

Tecnologia de vedações verticais leves 108

Tubulação 1

## V

Vermiculita 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53

Vigas 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 114, 123

## W

Wood frame 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

