

# Ciência e Engenharia de Materiais

3

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

## **3**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

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

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 3 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 3)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-85107-65-9  
DOI 10.22533/at.ed.659183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

2018

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.

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

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD PÓS-PROCESSADA PARA CONCRETOS SUSTENTÁVEIS	
<i>Bárbara Ponciano de Souza</i>	
<i>Wanna Carvalho Fontes</i>	
<i>José Maria Fontes de Carvalho</i>	
<i>Rosana Marcia de Resende Mol</i>	
<i>Ellen Cristine Pinto da Costa</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
ANÁLISE MICROESTRUTURAL E FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUO DE SEIXO PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO	
<i>Marco Antonio Barbosa de Oliveira</i>	
<i>Kleber Roberto Matos da Silva</i>	
<i>Vitória Santos Barroso</i>	
<i>José de Ribamar Mouta Araújo</i>	
<i>Marcelo de Souza Picanço</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLOGIA DA FRATURA DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS DO PROCESSO DE RECAPAGEM	
<i>Fábio Santos de Sousa</i>	
<i>Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho</i>	
<i>César Tadeu Nasser Medeiros Branco</i>	
<i>Laércio Gouvêa Gomes</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>33</b>
PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS CIMENTÍCIOS	
<i>Jonath Oliveira do Nascimento</i>	
<i>Bruno Diego de Moraes</i>	
<i>Marcos Mattheus Lopes da Silva</i>	
<i>Felipe Lira Formíga Andrade</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO UV EM COMPOSTOS DE POLIETILENO COM ADITIVOS OXI-BIODEGRADANTES	
<i>Caroline Henrique de Souza Borba</i>	
<i>Zora Ionara Gama dos Santos</i>	
<i>Raul Franklin Andrade Santos</i>	
<i>Grazielle Rozendo de Cerqueira</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>54</b>
USO DO PÓ DA PALHA DE CARNAÚBA COMO IMPERMEABILIZANTE EM TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	
<i>Ana Raira Gonçalves da Silva</i>	
<i>Marília Pereira de Oliveira</i>	
<i>Marineide Jussara Diniz</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>61</b>
EVALUATION OF THE COLOR CHANGES IN ARTIFICIALLY AGED PINE	
<i>Tiago Hendrigo de Almeida</i>	
<i>Diego Henrique de Almeida</i>	
<i>André Luis Christóforo</i>	
<i>Francisco Antonio Rocco Lahr</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 66**

COLORIMETRIC PARAMETERS OF BRAZILIAN TROPICAL WOOD SPECIES

*Diego Henrique de Almeida*  
*Tiago Hendrigo de Almeida*  
*Francisco Antonio Rocco Lahr*  
*André Luis Christoforo*

**CAPÍTULO 9 ..... 70**

ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DO RESÍDUO DE FIBRA DE PIAÇAVA MODIFICADO COM ÁGUA MORNA

*JanettyJany Pereira Barros*  
*Danusa de Araújo Moura*  
*Camila Gomes Moreno*  
*Fabiana de Carvalho Fim*  
*Eduardo Braga Costa Santos*  
*Lucineide Balbino da Silva*

**CAPÍTULO 10 ..... 82**

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE *PINUS SP.* E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS ADVINDAS DA SUA UTILIZAÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

*Juliana Esteves Fernandes Cieslinski*

**CAPÍTULO 11 ..... 93**

ESTUDO DA INTEGRIDADE E DURABILIDADE DE MATERIAIS ESTABILIZADOS POR SOLIDIFICAÇÃO CONTENDO LODO DE CURTUME

*Maria Rosiane de Almeida Andrade*  
*Marília Claudino Moreira Cunha*  
*André Luiz Fiquene de Brito*  
*Ana Cristina Silva Muniz*  
*Bianca Viana de Sousa Barbosa*  
*Carlos Eduardo Pereira*

**CAPÍTULO 12 ..... 104**

TESTE DE ATIVIDADE E EFICÁCIA DE AGENTES BIOCIDAS EM TINTA ACRÍLICA

*Túlio Valério Agostinho da Silva*  
*Sara Horácio de Oliveira*  
*Magda Rosângela Santos Vieira*  
*Ildnay de Souza Lima Brandão*

**CAPÍTULO 13 ..... 112**

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA CALOTROPIS PROCERA E SUA POTENCIAL APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS E DERIVADOS

*Anaxmandro Pereira da Silva*  
*Erick Buonora Tabosa do Egíto*  
*Késia Karina de Oliveira Souto Silva*  
*Rasiah Ladchumananandasivam*  
*José Heriberto Oliveira do Nascimento*  
*Ana Rita Leandro dos Santos*

**CAPÍTULO 14 ..... 118**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA MICROSSÍLICA COM ALTO TEOR DE CARBONO: ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA E MECÂNICA

*Ruan Landolfo da Silva Ferreira*  
*Marcos Alyssandro Soares dos Anjos*  
*Andreza Kelly Costa Nóbrega*

**CAPÍTULO 15..... 129**

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENAEFORMIS*)

*Andréa de Souza Almeida*

*Tiago Hendrigo de Almeida*

*Francisco Antonio Rocco Lahr*

*André Luis Christoforo*

**CAPÍTULO 16..... 139**

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM EFLUENTES REFRAATÓRIOS POR PROCESSO FENTON PARA DEGRADAÇÃO E MINERALIZAÇÃO DESSES COMPOSTOS EM REATOR DE ESCALA LABORATORIAL MODELO PARR

*Camila Freire Berenguer*

*Yana Batista Brandão*

*Mohand Benachour*

**CAPÍTULO 17 ..... 156**

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÓLEOS DE TRANSFORMADORES POR ESPECTROSCOPIA FTIR/ATR E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

*Isabela Nogueira*

*Maísa Maciel Machado Santos*

*Thiago Arantes Nogueira*

*Estácio Tavares Wanderley Neto*

*Credson de Salles*

*Tessa Martins de Carvalho Carneiro*

*Álvaro Antônio Alencar de Queiroz*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 171**

## INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENAEFORMIS*)

### **Andréa de Souza Almeida**

Universidade de São Paulo, Ciência e Engenharia de Materiais  
São Carlos – São Paulo

### **Tiago Hendrigo de Almeida**

Universidade de São Paulo, Ciência e Engenharia de Materiais  
São Carlos – São Paulo

### **Francisco Antonio Rocco Lahr**

Universidade de São Paulo, Engenharia de Estruturas  
São Carlos – São Paulo

### **André Luis Christoforo**

Universidade Federal de São Carlos, Estruturas e Construção Civil  
São Carlos – São Paulo

**RESUMO:** As espécies de alta durabilidade natural, e que já eram consagradas no mercado brasileiro, se tornaram escassas após serem consumidas demasiadamente. Como uma solução para os problemas de extinção e de elevação dos preços da madeira, espécies de rápido crescimento estão sendo gradualmente inseridas no mercado através das áreas de certificação brasileiras, as quais visam um manejo de produção sustentável. As espécies de rápido crescimento possuem de média a baixa densidade e são mais suscetíveis ao ataque de organismos xilófagos, sendo necessário o uso

do tratamento preservativo para que se garanta a durabilidade da madeira em serviço. O CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) é o preservante mais utilizado no Brasil e é aplicado na madeira através do processo sob pressão, o que poderia aumentar a quantidade de fissuras superficiais na madeira e conseqüentemente diminuir os valores das suas propriedades mecânicas. Este trabalho apresenta uma análise sobre a influência da impregnação contra demanda biológica realizada com CCA nas propriedades mecânicas da madeira de Cedroarana (*Cedrelinga catenaeformis*), mais usual na construção civil e escolhida na tentativa de se cobrir uma das três classes de resistência mais baixas de acordo com o que prescreve a ABNT NBR7190/1997. Para avaliar a influência do preservante CCA nas propriedades mecânicas da espécie (Sem tratamento, CCA), utilizou-se o teste de comparações múltiplas de Tukey, avaliado ao nível de 5% de significância. Pelo teste de Tukey, o preservante CCA não afetou de forma significativa nos valores das propriedades mecânicas das madeiras de Cedroarana.

**PALAVRAS-CHAVE:** madeiras tropicais; preservação; caracterização; propriedades físico-mecânicas.

**ABSTRACT:** The species of high natural durability, which were already consecrated in the Brazilian market, became scarce after

being consumed too much. As a solution to the problems of extinction and rising wood prices, fast-growing species are being gradually introduced into the market through the Brazilian certification areas, which aim at sustainable production management. The fast growing species have medium to low density and are more susceptible to the attack of xylophagous organisms, being necessary the use of the preservative treatment to ensure the durability of the wood in service. CCA is the most used preservative in Brazil and is applied to wood by the process under pressure, which could increase the amount of surface cracks in the wood and consequently decrease the values of its mechanical properties. This work presents an analysis of the influence of the impregnation against biological demand realized with CCA on the mechanical properties of Cedroarana wood (*Cedrelinga catenaeformis*), which is more common in civil construction and is chosen in order to cover one of the three lower resistance classes according to which it prescribes ABNT NBR7190/1997. In order to evaluate the influence of the CCA preservative on the mechanical properties of the species (No treatment, CCA), Tukey's multiple comparisons test was evaluated at a 5% level of significance. By the Tukey test, the CCA preservative did not significantly affect the values of the mechanical properties of the Cedroarana wood.

**KEYWORDS:** tropical woods; preservation; characterization; physical-mechanical properties.

## 1 | INTRODUÇÃO

A madeira é o material de origem biológica mais conhecido e empregado em setores como os de construção civil, rural, ferroviário, indústria de papel, móveis e entre outros (DIAS, 2000; KLOCK, 2005; DUARTE, 2017). Detentora das melhores propriedades de isolamento térmico, a madeira chega a ser cinco vezes melhor que o concreto, dez vezes melhor que o tijolo e trezentos e cinquenta vezes melhor que o aço. Portanto, além de utilizar menos energia na sua fabricação e construção, as propriedades da madeira melhoram o desempenho energético ao longo da vida útil de um edifício (ZERBINI, 2014).

Destacada como um dos melhores materiais para a construção de estruturas por apresentar alta relação entre a resistência mecânica e a densidade (CALIL JR; DIAS, 1997; VIDAL et al., 2015), a aplicação da madeira ainda pode ser significativamente ampliada na construção civil no Brasil. Isto pode ser alcançado com a adoção de providências para retardar o processo de deterioração da madeira em serviço, pois é um material natural que possui fibras hidrofílicas, o que favorece a retenção de umidade e a proliferação de fungos, bactérias e insetos que dela se alimentam (FERRARINI et al., 2012).

Os organismos que se alimentam da madeira e que a utilizam como fonte de habitação são denominados xilófagos e causam a biodeterioração da madeira, comprometendo as suas características físico-mecânicas. Para proteger a madeira

contra esses organismos biológicos, a madeira deve passar pelo processo de tratamento preservativo, denominado também de tratamento químico da madeira (PINHEIRO, 2001; SOUZA; DEMENIGHI, 2017).

Os tratamentos conservantes da madeira são realizados em usinas de preservação e visam proteger a madeira contra agentes físico-químicos, como intempéries, e biológicos. No referido processo, há a introdução de produtos químicos hidrossolúveis na madeira, tóxicos aos organismos xilófagos (REMADE, 2017). Assim, a vida útil da madeira em serviço é prolongada e faz com que ela se equipare, ou até supere, em qualidade outros materiais de construção como o concreto e o aço.

Os preservativos utilizados nos tratamentos devem possuir algumas propriedades como ser tóxicos somente aos organismos xilófagos, permitir penetração profunda e uniforme na madeira, ser resistentes à lixiviação e principalmente não devem alterar os valores das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (FLORIAN, 2011).

O CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) é o produto mais utilizado nas usinas de preservação de madeiras no Brasil, onde a madeira tratada é aplicada na produção de mourões (62%), postes (30%), dormentes (5%) e para construção civil (3%) (SILVA, 2006; FERRARINI et al., 2012). A impregnação da madeira com CCA, o qual é um preservativo hidrossolúvel, deve ser feita exclusivamente por processos preservativos a vácuo e pressão (ARAUJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

As espécies que já eram consagradas no mercado brasileiro foram demasiadamente utilizadas mesmo com a grande disponibilização de madeiras tropicais no Brasil. Grande parte dessas espécies foi explorada sem visar os meios de produção sustentáveis, acarretando na diminuição da disponibilidade do material no mercado brasileiro (PAES; MORESCHI; LELLES, 2005; SILVA; CAIXETA FILHO, 2015; LOPES et al., 2017).

Como uma solução para os problemas de extinção e de elevação dos preços da madeira no mercado brasileiro, espécies de rápido crescimento estão sendo gradualmente inseridas no mercado através das áreas de certificação brasileiras, as quais visam um manejo de produção sustentável. Estas novas espécies possuem de média a baixa densidade e são mais suscetíveis ao ataque de organismos xilófagos, sendo necessário o uso do tratamento preservativo para que se garanta a durabilidade da madeira em serviço (VIDAL et al., 2015).

Neste contexto, onde milhares de espécies ainda não foram classificadas na Floresta Amazônica brasileira (STEEGE et al., 2016) e que carece de informações tecnológicas sobre as espécies de rápido crescimento, este trabalho apresenta uma análise sobre a influência da impregnação contra demanda biológica realizada com CCA sob o método sob pressão, o qual em tese poderia ocasionar fissuras superficiais e levar a diminuição dos valores das propriedades das madeiras, nas propriedades de resistência mecânica da espécie *Cedrelinga catenaeformis* (C30). Caso se confirme esta influência, será necessária a adoção de um novo coeficiente de modificação das resistências no dimensionamento de elementos estruturais de madeira tendo como

base os requisitos da ABNT NBR 7190 (1997): Projetos de estruturas de madeira.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, foram analisadas amostras de madeiras da espécie *Cedrelinga catenaeformis*, mais conhecida como Cedroarana (C30). Esta é uma das espécies tropicais mais usuais na construção civil brasileira e foi escolhida na tentativa de se cobrir uma das três classes de resistência mais baixas, de acordo com o que prescreve a ABNT NBR7190/1997, a qual divide as madeiras em classes de resistência com o objetivo de empregar madeiras com propriedades padronizadas, auxiliando na escolha do tipo de madeira para a elaboração de projetos estruturais. Potencialmente, espécies desta classe apresentam maior porosidade e tendem a receber melhor o tratamento preservante.



Figura 1 - Madeira de Cedroarana.

Fonte: Autoria própria.

A Cedroarana (*Cedrelinga catenaeformis*) é uma árvore de grande porte, e sua maior ocorrência é no Amazonas, Acre e Pará, dentre esses estados o último é o de maior ocorrência. Possui resistência moderada ao ataque de fungos apodrecedores e cupins. O cerne e alburno são difíceis de tratar com produtos preservativos hidrossolúveis, mesmo quando tratado sob pressão (IPT, 2017).

Segundo Moreschi (2013), o CCA é empregado em três tipos de formulações diferentes (tipos A, B e C), todas as formulações contém cerca de 19% em base ao óxido de cobre (CuO) e se diferem em relação aos teores de cromo e arsênico. A Tabela 1 mostra a composição dos três tipos de CCA.

Componente	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo como	65,5	35,3	47,5
Cobre como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênico como	16,4	45,1	34,0

Tabela 1 - Composição do CCA (%).

Fonte: Adaptado MORESCHI (2013).

As amostras de madeiras utilizadas para a realização deste trabalho foram tratadas com CCA-A em forma de óxido através do sistema vácuo-pressão em autoclave na empresa FERRARI TRATAMENTO DE MADEIRAS em São Carlos – SP. Todos os

ensaios foram realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

As amostras de madeira foram retiradas para os ensaios a partir do seguinte modelo a fim de garantir a menor variabilidade das propriedades:



Figura 2 - Retirada das amostras para os ensaios.

Fonte: A autoria própria.

Ao todo foram 12 peças de Cedroarana e de cada uma das duas partes (CCA-A, Sem tratamento) foram obtidos os corpos-de-prova para a determinação das propriedades estudadas, atendendo às recomendações do Anexo B, da ABNT NBR 7190.

As propriedades mecânicas das madeiras de Cedroarana foram determinadas conforme recomenda o Anexo B “Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas” do documento normativo NBR 7190/1997: Projeto de Estruturas de madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizada a máquina universal de ensaios AMSLER com capacidade de 25 toneladas, somente os ensaios de tenacidade foram realizados em máquina específica.



(a)

(b)

Figura 3 – Máquinas de ensaios mecânicos; (a) Máquina universal de ensaios (AMSLER); (b) Máquina de tenacidade.

Fonte: A autoria própria.

Primeiramente, realizaram-se os ensaios mecânicos da espécie sem tratamento, e posteriormente, foram realizados os ensaios mecânicos da espécie com o tratamento preservativo a base do produto hidrossolúvel CCA tipo A. Os resultados das propriedades de resistência e rigidez foram corrigidos para umidade padrão de referência de 12%, como estabelecido pela ABNT NBR 7190/97.

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades mecânicas investigadas das amostras sem tratamento preservante (Ref) e com tratamento preservante a base de CCA, cabendo destacar que foram fabricados 12 corpos-de-prova por tipo de ensaio e por condição experimental investigada (sem tratamento, tratamento com CCA), o que resultou em 240 determinações ao todo.

Sigla	Propriedade
$f_{c0}$	Resistência na compressão paralela às fibras
$f_{c90}$	Resistência na compressão perpendicular às fibras
$f_{t0}$	Resistência na tração paralela às fibras
$f_{t90}$	Resistência na tração perpendicular às fibras
$f_M$	Resistência à flexão
$f_{H0}$	Dureza na direção paralela às fibras
$f_{H90}$	Dureza na direção perpendicular às fibras
$f_{v0}$	Resistência ao cisalhamento na direção paralela às fibras
$f_{fend}$	Resistência ao fendilhamento
W	Tenacidade

Tabela 2 - Propriedades avaliadas.

Fonte: Autoria própria.

A influência do fator tratamento [Tr] (sem - Ref, CCA) nas propriedades mecânicas da madeira de Cedroarana foi avaliada com o uso do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Do teste de Tukey:

- **A** denota a condição experimental de maior valor médio da propriedade;
- **B** denota a condição experimental associada ao segundo maior valor médio e assim sucessivamente;
- Letras iguais implicam em tratamentos com médias estatisticamente equivalentes.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios, os coeficientes de variação (Cv) e os resultados do teste de Tukey para as propriedades investigadas para a espécie *Cedrelinga catenaeformis* (Cedroarana).

Propriedades	Ref.		Com CCA	
	$\bar{x}$	Cv (%)	$\bar{x}$	Cv (%)
$f_{c0}$ (MPa)	41.36 <b>A</b>	15.49	41.41 <b>A</b>	11.50
$f_{c90}$ (MPa)	4.54 <b>A</b>	7.86	4.69 <b>A</b>	8.73
$f_{t0}$ (MPa)	67.20 <b>A</b>	30.16	73.20 <b>A</b>	35.58
$f_{t90}$ (MPa)	4.35 <b>A</b>	23.55	4.22 <b>A</b>	16.64
$f_M$ (MPa)	71.43 <b>A</b>	34.13	77.14 <b>A</b>	14.04
$f_v$ (MPa)	10.44 <b>A</b>	21.21	11.28 <b>A</b>	9.85
$f_{fe}$ (MPa)	0.51 <b>B</b>	16.77	0.65 <b>A</b>	27.76
$f_{H0}$ (MPa)	508.98 <b>A</b>	29.43	583.47 <b>A</b>	25.56
$f_{H90}$ (MPa)	346.06 <b>A</b>	29.67	372.58 <b>A</b>	45.77
W (N.m)	62.85 <b>A</b>	49.34	69.31 <b>A</b>	23.81

Tabela 3 - Valores médios experimentais, coeficientes de variação (Cv) e resultados do teste de Tukey para os valores de resistência para a espécie *Cedrelinga catenaeformis* (Cedroarana).

Fonte: Autoria própria.

A ABNT NBR 7190 (1997) estipula valores limites de CV de 18% para as resistências na compressão e na tração paralela às fibras e de 28% para a resistência ao fendilhamento para que a caracterização seja dada como adequada. Apenas a resistência na tração paralela às fibras excedeu a esse limite.

Tendo em vista que os valores limites estipulados pela norma se constituem em média dos resultados que foram analisados através dos lotes disponíveis na época, é perfeitamente possível que se tenham valores superiores a ele (e inferiores) sem que os lotes sejam descartados. Nesse caso, na prática é indicada apenas uma conversa com o engenheiro calculista da estrutura, pois o valor do CV obtidos para o lote deve ser usado na estimativa dos valores de cálculo.

Pelo teste de Tukey, o preservante CCA não afetou de maneira significativa nos valores das resistências mecânicas das madeiras de Cedroarana, apenas a resistência ao fendilhamento teve seu valor aumentado significativamente pelo tratamento. O que tornam as propriedades da madeira de Cedroarana sem tratamento e com tratamento CCA estatisticamente equivalentes.

Segundo Terezo et al. (2005), há diversas pesquisas que abordam os efeitos dos tratamentos preservantes hidrossolúveis nas propriedades mecânicas de madeiras do hemisfério norte. Tais efeitos podem estar relacionados diretamente a fatores como o pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento, e seus respectivos fatores de processo como: espécies; propriedade mecânica; imunizante industrial ou do tipo químico; retenção; secagem; tamanho e classe do material e etc. Os efeitos da secagem em estufa de pós-tratamento, principalmente à elevada temperatura, e dos conservantes químicos hidrossolúveis tem repetidamente se mostrados críticos na avaliação da influência do tratamento nas propriedades mecânicas.

O assunto é pioneiro quando se trata de espécies de madeiras tropicais brasileiras. Foram consultadas diversas bases de dados, revistas eletrônicas, bibliotecas e redes

sociais como ResearchGate, Engeneering Village e Googlee Acadêmico, porém não foram encontradas pesquisas que abordassem a caracterização completa da madeira de Cedroarana e possíveis perdas nos valores das propriedades físico-mecânicas da espécie devido ao tratamento conservante.

## 4 | CONCLUSÕES

Conclui-se que o preservante químico hidrossolúvel CCA tipo A, incorporado nas madeiras através do método sob pressão, não reduziu os valores das propriedades de resistência mecânica da espécie *Cedrelinga catenaeformis*. No caso da resistência ao fendilhamento chegou até a aumentar significativamente o valor da propriedade. Assim, pode-se afirmar que o método de tratamento sob pressão *não induziu a formação de eventuais fissuras* superficiais nas madeiras, ou seja, quando realizado corretamente esse tratamento não provoca dano estrutural.

Como não foi confirmada a influência, não será necessária a adoção de um novo coeficiente de modificação das resistências no dimensionamento de elementos estruturais de madeira tendo como base os requisitos da ABNT NBR 7190 (1997).

Para um maior entendimento do tema e por sua extrema importância para o ramo da engenharia estrutural, tornam-se necessários maiores estudos com mais espécies para cada classe de resistência definida pela ABNT NBR 7190 (1997) analisando vários tipos de tratamentos químicos, pois se podem atingir diferentes níveis de impregnação e reações químicas de fixação dentro de cada espécie, com o intuito de obter resultados mais precisos.

## AGRADECIMENTOS

Portodo apoio prestado, os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, Henrique José Borges de; MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves; OLIVEIRA, Luís Cláudio de. **Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico.** *Acta Amazonica*, Manaus, v. 42, n. 1, p.49-58, mar. 2012.

CALIL JR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. **Utilização da madeira em construções rurais.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 1, p.71-77, 1997.

DIAS, Fabricio Moura. **A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira.** Dissertação de mestrado – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

DUARTE, Bárbara Branquinho. **Influência de componentes químicos em propriedades mecânicas da madeira.** 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FERRARINI, Suzana Frighetto et al. **Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos de madeira tratada à base de arseniato de cobre cromatado e boro/flúor.** *Química Nova*, Porto Alegre, v. 35, n. 9, p.1767-1771, jun. 2012.

FLORIAN, Alexandre. **Preservativos de madeira e suas características.** *Revista da Madeira*, ed. 127, UNB, março 2011. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/revista-madeira>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

GEISSE, M.E. 2006. Tratamento de madeira de reflorestamento em autoclave. *Revista da Madeira*, 100: 96-99.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (2017). **Informações sobre madeiras.** Disponível em:< [http://www.ipt.br/consultas\\_online/informacoes\\_sobre\\_madeira/busca](http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca)> Acesso em: 05 de jul. 2017.

KLOCK, U et al. **Química da madeira.** 3.ed. Curitiba: UFPR, 2005.

LOPES, Dercílio Junior Verly et al. **Influências do Diâmetro e Umidade da Madeira na Qualidade do Tratamento Preservativo. Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 24, e20160207, 12 set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.020716>.

MORESCHI, João Carlos. (2013). **Biodegradação e Preservação da Madeira “Preservativos de Madeira”.** Apostila Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – UFPR, vol. 2, Curitiba. 33p. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PRESERVATIVOS%20DE%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 05 de jul. 2017.

PAES, Juarez Benigno; MORESCHI, João Carlos; LELLES, José Gabriel de. **Avaliação do tratamento preservativo de moirões de Eucalyptus viminalis Lab. e de bracinga (Mimosa scabrella Benth.) pelo método de substituição da seiva.** *Ciência Florestal*, [s.l.], v. 15, n. 1, p.75-86, 30 mar. 2005. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981825>.

PINHEIRO, Roberto Vasconcelos. **Influência da preservação contra demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira.** 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil: Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

REMADE. <http://www.remade.com.br/>. Acesso em: 30 de junho de 2017.

SILVA, Rodrigo Peixoto da.; CAIXETA FILHO, José Vicente. **Minimização dos Custos de Transporte para Exportação de Madeira da Amazônia Legal.** *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, [s.l.], v. 7, n. 1, p.103-125, 30 abr. 2015. *Revista de Administração e Negócios da Amazonia*. <http://dx.doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v7n1p103-125>.

SILVA, José de Castro. (2006). **Madeira preservada: impactos ambientais.** *Revista da Madeira*, Caixias do Sul. Disponível em:< <http://www.remade.com.br> > . Acesso em: 04 jul.2017.

SOUZA, Rodrigo Vargas; DEMENIGHI, Alexandra Lima. **Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para a construção civil.** *Mix Sustentável*, Florianópolis, v. 3, n. 1, p.84-92, mar. 2017.

STEEGE, Hans Ter et al. **The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-15, 13 jul. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/srep29549>.

TEREZO, Rodrigo Figueiredo *et al.* **Influências de preservantes hidrossolúveis na resistência mecânica da madeira**, *Revista da Madeira*, n. 89, Abr. 2005. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=737](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=737)>. Acesso em: 10 jun. 2018.

VIDAL, Jackson Marcelo et al. **Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 1, p.257-271, jan-mar. 2015.

ZERBINI, Fabíola. **Cenário da Madeira no Brasil FSC (2012-2013)**. São Paulo: Fsc Brasil, 2014.

## **SOBRE A ORGANIZADORA:**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-65-9

