

# 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 MORNHA

*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**

## CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BREU E TEREANTINA 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**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Engenharia Industrial Madeireira  
Itapeva - SP

**RESUMO:** A extração da goma resina tem adquirido espaço no Brasil e uma das atividades mais lucrativas neste ramo é a sua destilação para produção de Breu e Terebintina. Além disso, esse processo apresenta, na fase de pré-filtragem, um resíduo composto por sólidos grosseiros como acículas e cascas que pode ser utilizado como combustível para geração de vapor para o próprio processo produtivo. Contudo, há a emissão de poluentes atmosféricos indesejáveis que devem ser monitorados e controlados. Resultados de caracterização energética na ordem de 26000 kJ/kg demonstraram que o presente resíduo apresenta grande vantagem para queima direta com fins de geração de vapor. Mas, com relação a sua implicação no meio ambiente advinda com a emissão de poluentes, observou-se que os limites estabelecidos pelo Conama foram ultrapassados nas diferentes queimas realizadas, o que denota a necessidade de controle desses poluentes através de equipamentos de controle ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** goma resina, biomassa, poluentes atmosféricos.

### 1 | INTRODUÇÃO

A produção de oleoresina é uma atividade extremamente rentável em função do alto valor agregado de seus principais subprodutos, o Breu e a Terebintina. Desde a década de 80, o Brasil já extrai resina de florestas de *Pinus sp.* e, a partir de 2008, já participa ativamente do cenário de exportação mundial de goma resina (REVISTA DA MADEIRA, 2008).

Entretanto, a partir do processo de destilação da goma resina para obtenção de Breu e Terebintina há a coleta de um resíduo composto por sólidos grosseiros como acículas, lascas de tronco e cascas, provavelmente recolhido juntamente com a goma no momento da sua extração na área florestal.

Este resíduo se aglomera em tambores nas indústrias até que são dispostos em aterro sanitário, o que causa uma preocupação ambiental pois, com todas as mudanças no meio ambiente e o esgotamento dos recursos naturais, a necessidade de se pensar em aproveitamento de resíduos gerados nos processos industriais é eminente. Há alguns anos, os estudos de maneiras para aproveitamento desses resíduos e o gerenciamento ambiental dos mesmos tem crescido, pois de nada adianta aproveitar o resíduo sem gerenciar o quanto o meio ambiente em que se encontra está ou será afetado com

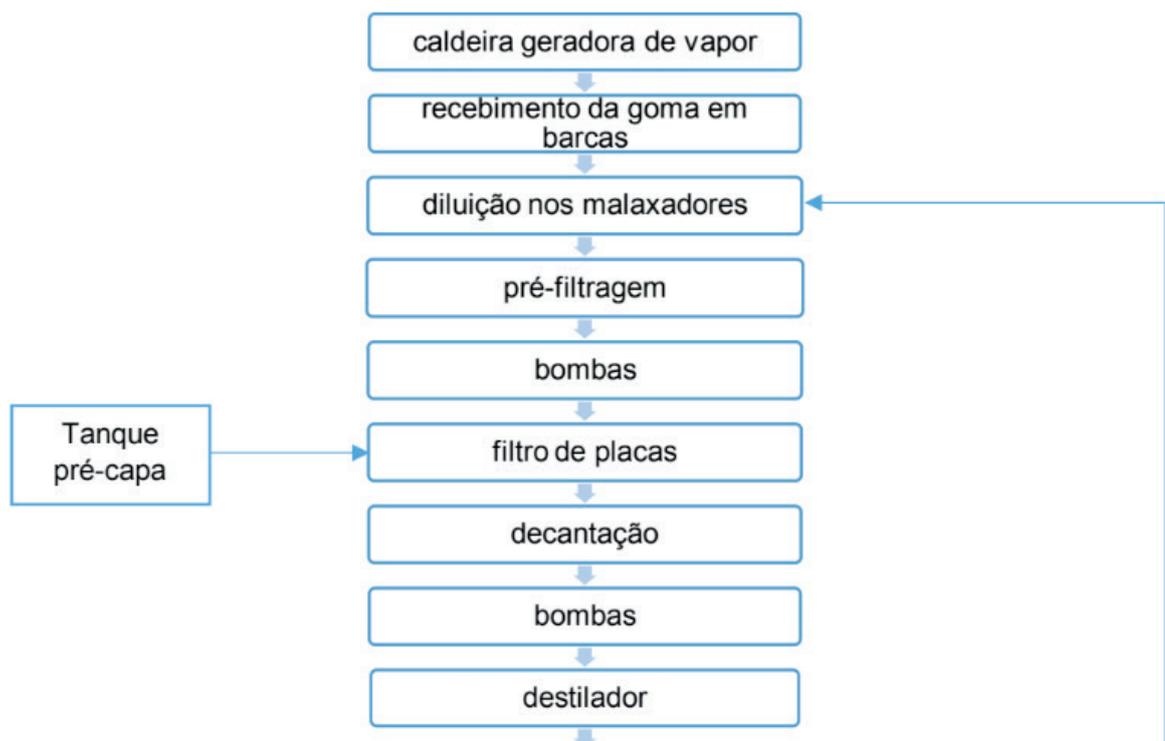
sua utilização para outros fins.

Uma proposta de utilização desse resíduo seria a sua queima direta para geração de vapor para o próprio processo produtivo de obtenção do Breu e Terebintina, restando apenas analisar suas características energética e ambiental para atestar sua viabilidade.

### 1.1 Processo de separação de Breu e Terebintina provenientes da goma resina de *Pinus sp.*

A resina das coníferas (particularmente *Pinus sp.*) é composta por vários ácidos resínicos, tendo como principal deles o ácido abiético que, após o processo de destilação pelo qual passa a resina, separa-se em Terebintina e Breu. O primeiro componente é um líquido oleoso, transparente, rico em  $\alpha$  e  $\beta$  pineno, que são compostos cíclicos aromáticos que permitem a sua utilização como matéria prima em um grande número de produtos, tais como acetato de terpenila, isobornila, terpineol, que serão utilizados na indústria de fragrâncias e perfumaria. Além destes, a Terebintina também participará da produção de vitaminas, componentes de inseticidas naturais, entre outros. O Breu, sólido amarelado, obtido da goma resina, é utilizado na produção de colas para a fabricação de papel, tintas e vernizes, adesivos, borrachas sintéticas, etc.

O fluxograma do processo industrial de separação do Breu e da Terebintina a partir da goma resina de *Pinus sp.* encontra-se demonstrado na Figura 1.



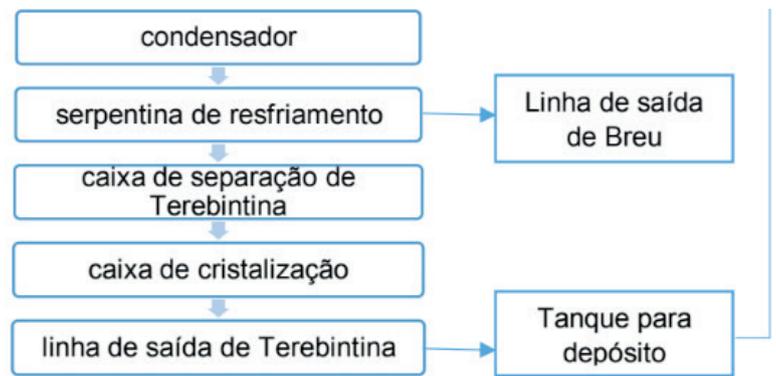


Figura 1: Fluxograma industrial - separação de Breu e Terebintina da goma resina de *Pinus sp.*

Na etapa de pré-filtragem são retirados os sólidos grosseiros como acículas, lascas de tronco e cascas, formando o resíduo foco de estudo deste trabalho.

A separação do Breu e da Terebintina ocorre no destilador. O Breu é o componente sólido e a Terebintina (líquido) continua no processo, passando pelo condensador, caixa de separação, caixa de cristalização e, por último enviada aos tanques de depósito. Na caixa de separação ocorre a separação entre a água restante do processo e a Terebintina. Na caixa de cristalização é realizada a purificação da Terebintina com sal grosso, que neste momento, já está pronta para venda, sendo encaminhada para os tanques de depósito ou carregada em caminhões para transporte.

### 1.2 Caracterização energética do resíduo sólido resultante da etapa de pré-filtragem do processo de separação do Breu e da Terebintina a partir da goma resina de *Pinus sp.*

Uma biomassa, como o resíduo sólido resultante da pré-filtragem da goma resina em questão, é uma fonte de energia renovável e, quando utilizada corretamente, torna-se sustentável a partir do manejo florestal correto e dos cuidados das emissões de gases na atmosfera. Pode, inclusive, ser uma alternativa para substituição dos combustíveis fósseis, não renováveis, na produção de energia.

No Brasil, segundo o Plano Energético Nacional (BRASIL, 2015), em 2014 a participação de renováveis (incluindo a biomassa) na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo (39,4%). Portanto, estudos e utilização deste combustível devem ser incentivados.

O conteúdo energético de um combustível é uma medida termodinâmica que representa a variação de energia liberada durante sua combustão completa, denominada de poder calorífico. Esta propriedade, em um sistema de geração de calor, por exemplo, seria o principal fator a ser considerado em um combustível, a partir da qual seria avaliada a relação custo benefício de utilização de um ou outro combustível. Além disso, o poder calorífico é influenciado por um conjunto de propriedades do combustível, como: sua composição química original, presença de metais, água (umidade), entre outras (COSTA et al., 2009).

A determinação do poder calorífico de uma biomassa pode ser realizada através de bomba calorimétrica ou através de cálculos a partir da sua composição química. Quando determinada através da bomba calorimétrica a amostra é queimada em atmosfera de oxigênio puro a alta pressão, uma massa de água é aquecida pela reação e o conteúdo energético é determinado através da diferença de temperatura. Quando determinada através de cálculos da composição química, verifica-se o calor liberado pela ligação entre o oxigênio e os elementos presentes na sua composição, que por ser uma matéria orgânica é composta por carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e inertes (ORTOLAN et al., 2006).

De acordo com Menezes (2013), o poder calorífico é inversamente proporcional ao teor de umidade, pois o excesso de umidade dificulta a combustão e aumenta a energia necessária para evaporar o excesso de água existente na amostra de biomassa.

### 1.3 Transformação da biomassa em energia: processo de combustão direta

Segundo Williams et al. (2012), a combustão de uma biomassa consiste em seis etapas demonstradas no Quadro 1.

<i>biomassa úmida</i> → <i>aquecimento/secagem</i> → <i>biomassa seca</i>	(1)
<i>biomassa seca</i> → <i>voláteis (alcatrão + gases) + carvão</i>	(2)
<i>voláteis + ar</i> → <i>CO + CO<sub>2</sub> + hidrocarbonetos não queimados + fuligem</i> + <i>aerossóis inorgânicos</i>	(3)
<i>carvão + ar</i> → <i>CO + CO<sub>2</sub></i>	(4)
<i>voláteis (N, S, K, etc.)</i> → <i>poluentes baseados em N, S, K</i>	(5)
<i>carvão (N, S, K, etc.)</i> → <i>poluentes baseados em N, S, K</i>	(6)

Quadro 1: Etapas da combustão da biomassa

Há, ainda, a descrição da combustão através da classificação visual, quanto à existência ou não de chama, em três etapas (RABELO, 2003):

1. Fase de ignição: ocorre a deposição de calor externo no combustível, forçando o início da combustão, sendo que apenas parte do material é tomado por chama intensa;
2. Fase de chama: ocorre a queima predominante de material volátil. Observa-se pontos de chama em quase todo o combustível;
3. Fase de incandescência: não há mais chama, ou seja, ocorre a queima propriamente dita.

### 1.4 Questão ambiental na utilização do resíduo sólido resultante da etapa de pré-filtragem do processo de separação do Breu e da Terebintina a partir da goma resina de *Pinus sp.*

A queima do resíduo sólido resultante da etapa de pré-filtragem da goma resina

em questão auxilia na questão do gerenciamento dos resíduos sólidos mas acaba trazendo outro problema ambiental: os poluentes atmosféricos, que também são danosos à saúde dos seres humanos e animais, causam danos aos materiais, alteram o clima, prejudicam a visibilidade, etc. Portanto, é necessária a amostragem frequente dos poluentes atmosféricos emitidos nos processos de queima de resíduos bem como seu controle através de equipamentos de controle ambiental.

De acordo com Lora (2002), o controle ambiental destes poluentes atmosféricos pode-se dar por um ou mais mecanismos:

1. Análise de custo/benefício - considera a diminuição dos custos por danos causados pela poluição ambiental igualando-se aos custos da introdução de tecnologias de controle da poluição;
2. Impostos ou taxas por emissão de poluentes – consiste em estabelecer uma taxa a ser paga por tonelada de poluente lançado na atmosfera;
3. Padrões de emissão – realiza-se amostragens e analisa-se a composição dos gases em cada ponto de emissão;
4. Padrões de qualidade do ar – utilizado para controle da poluição. É necessário determinar as fontes responsáveis pelas maiores emissões, portanto é de aplicação complexa. Um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, que garanta a proteção da saúde e do bem-estar das pessoas.

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece padrões de qualidade do ar através da Resolução nº 03/90 (ar ambiente), conforme demonstrado na Tabela 1 e através da Resolução nº 382/06 (fontes fixas), conforme demonstrado na Tabela 2 (para biomassa madeireira que engloba o resíduo estudado neste trabalho).

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas MAA***	365 80	100 40
Monóxido de carbono (CO)	1 hora 8 horas	40000 (35 ppm) 10000 (9 ppm)	40000 (35 ppm) 10000 (9 ppm)
Ozônio ( $\text{O}_3$ )	1 hora	160	160
Dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora MAA***	320 100	190 100

Tabela 1: Padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos na Resolução Conama nº 03/90 para poluentes gasosos na forma molecular

\* não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

\*\* média geométrica anual

\*\*\* média aritmética anual

Poluente	Potência térmica nominal do queimador (MW)*	Limite de emissão (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de carbono (CO)	Até 0,05	6500
	Entre 0,05 e 0,15	3250
	Entre 0,15 e 1,0	1700 (1,7 ppm)
	Entre 1,0 e 10	1300
Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	Menor que 10	n.a.**
	Entre 10 e 30	650
	Entre 30 e 70	650
	Maior que 70	650

Tabela 2: Limites de emissão para poluentes atmosféricos na forma molecular a partir da combustão de derivados da madeira para fontes fixas industriais e de geração de energia estabelecidos pela Resolução Conama nº 382/06

\* potência do queimador deste trabalho - 0,36 MW

\*\* não aplicável

A quantificação das emissões de gases - mecanismo 3 proposto por Lora (2002) - associados à queima de biomassa é essencial para a investigação dos processos atmosféricos, assim como para as autoridades governamentais estabelecerem padrões de qualidade do ar - mecanismo 4 proposto por Lora (2002). Ainda há escassez de dados consistentes de emissões, o que dificulta a modelagem climática, a modelagem fotoquímica, os inventários de emissão e a identificação das fontes emissoras.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi o resíduo proveniente da etapa de pré-filtragem do processo de separação do Breu e da Terebintina da goma resina de *Pinus sp.*

### 2.1 Caracterização do resíduo proveniente da etapa de pré-filtragem do processo de separação do Breu e da Terebintina da goma resina de *Pinus sp.*

Foram determinados o teor de umidade (TU) e o poder calorífico superior (PCS) de amostras do resíduo em questão.

Para determinação do teor de umidade, em base seca, foi utilizada a norma ABNT NBR 14929:2003, conforme demonstrado na Equação (1). A análise foi feita em duplicata e com valor final calculado a partir da média entre os valores de cada repetição.

$$TU(\%) = \frac{\text{massa úmida da amostra [g]} - \text{massa seca da amostra [g]}}{\text{massa seca da amostra [g]}} \times 100 \quad (1)$$

A determinação do poder calorífico superior foi realizada com auxílio de um

sistema calorimétrico baseado numa bomba calorimétrica (Figura 2) inserida num calorímetro (Figura 3). A análise foi feita em triplicata com valor final calculado a partir da média entre os valores de cada repetição.



Figura 2: Bomba calorimétrica



Figura 3: Calorímetro

## 2.2 Amostragem dos gases produzidos com a queima do resíduo proveniente da etapa de pré-filtragem do processo de separação do Breu e da Terebintina da goma resina de *Pinus sp.*

A queima do resíduo foi realizada num sistema de queima composto principalmente por um alimentador de biomassa e um queimador de biomassa (Figura 4).

A amostragem dos gases emitidos com a queima do resíduo foi realizada com auxílio do UniGas 3000+ da Eurotron Instruments (Figura 5). A sonda de amostragem foi inserida a aproximadamente 8 diâmetros à jusante e 2 diâmetros à montante dos distúrbios encontrados na chaminé do queimador de biomassa.



Figura 4: Sistema de queima de biomassa

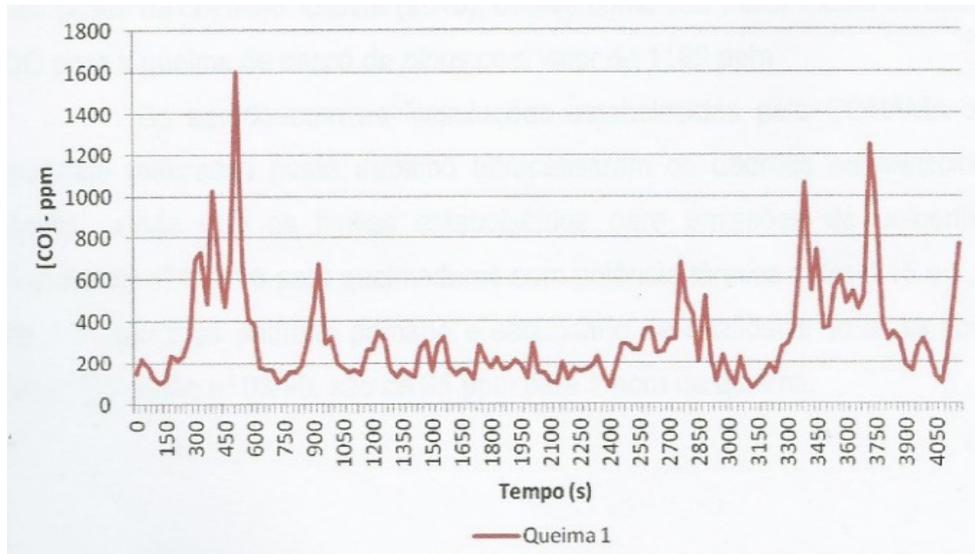


Figura 5: Amostrador de gases UniGas 3000+ da Eurotron Instruments

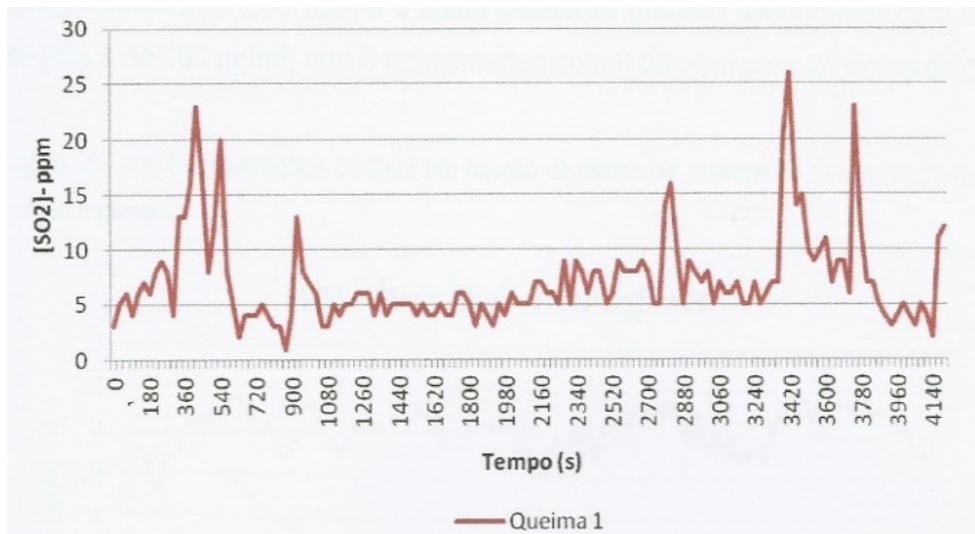
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo estudado apresentou teor de umidade de 15,46% e poder calorífico superior de 25787 kJ/kg. Segundo Oliveira et al. (2010) este valor está mais elevado que o poder calorífico do carvão vegetal de aproximadamente 19300 kJ/kg.

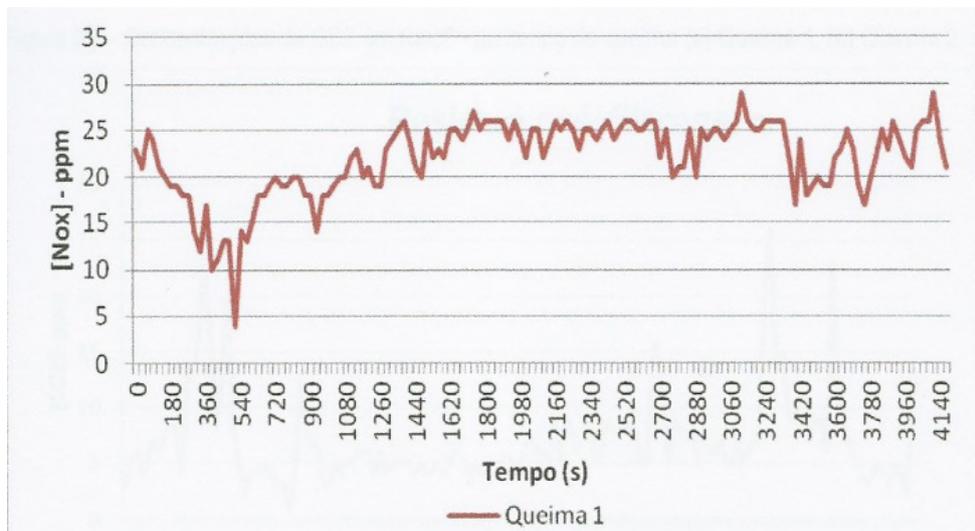
Os resultados das amostragens dos gases produzidos com a queima do resíduo encontram-se demonstrados na Figura 6.



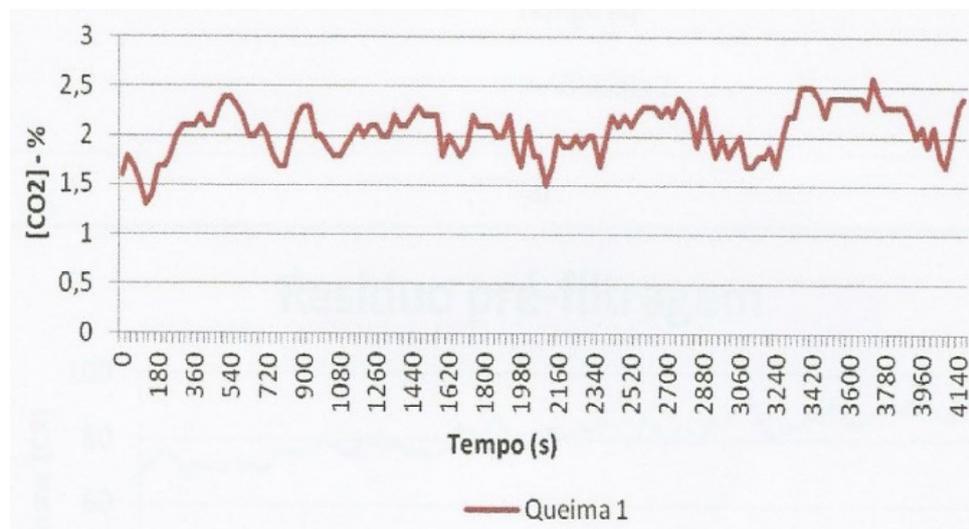
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6: Concentração de poluente em função do tempo de queima: (a) CO [ppm], (b) SO<sub>2</sub> [ppm], (c) NO<sub>x</sub> [ppm], (d) CO<sub>2</sub> [%]

Através da Figura 6.a observa-se grande pico de concentração de CO no início da queima (em torno de 540 s), comportamento este contrário ao observado por Soares Neto et al. (2011), devido provavelmente a uma baixa taxa de queima e vazão constante dos gases na chaminé neste trabalho.

Os valores amostrados de SO<sub>2</sub> (Figura 6.b) para a queima apresentaram-se superiores aos padrões estabelecidos pela Resolução Conama nº 03/90, chegando ao valor máximo de 26 ppm para 3420 s de queima.

Observa-se da Figura 6.c que as emissões de NO<sub>x</sub> permaneceram praticamente constantes (limites específicos) durante a queima, com um pico invertido no início da queima. Comportamento semelhante foi observado por Soares Neto et al. (2011).

As emissões de CO<sub>2</sub> (Figura 6.d), assim como as de NO<sub>x</sub>, permaneceram praticamente constantes ao longo do período de queima, seguindo o mesmo comportamento das de Soares Neto et al. (2011).

#### 4 | CONCLUSÕES

O resíduo proveniente da etapa de pré-filtragem do processo de separação do Breu e da Terebintina apresentou grandes perspectivas para utilização como combustível, visto que seu poder calorífico superou o do carvão vegetal, combustível comumente utilizado pelas indústrias. Resta, entretanto, controlar suas emissões de queima, pois todos os poluentes gasosos apresentaram concentrações superiores aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Conama. Sugere-se o aprofundamento do estudo no tocante ao controle dos gases utilizando equipamentos como o Lavador Venturi. Outra sugestão é a mistura (blend) do resíduo em questão com pellets de

madeira, já que vários estudos mostram a eficiência deste último para a queima.

## AGRADECIMENTOS

À empresa Nunes e Almeida Indústria e Comércio de Resinas Ltda. e à empresa Resisul Agroflorestal Ltda. pela disponibilização de material para pesquisa e à FAPESP pelo auxílio financeiro para participação de evento científico. Aos técnicos de laboratório da Unesp/Itapeva pelo auxílio nos testes de queima e análise química e energética.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco energético nacional de 2015:** ano base 2014. [s.j]: 2015. 61 p.

CENDOFANTI, A. C. **Minimização de resíduos de um processo de carvão ativado e de goma resina.** 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, UFPR, Curitiba, 2005.

CETESB. **Qualidade do ar:** poluentes. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: 12 set. 2016.

COSTA, A. B. et al. Determinação do poder calorífico no controle de qualidade de combustíveis para sistemas de geração de energia e aquecimento industrial. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIX, 2009, Salvador. **Anais....** Salvador: 2009. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009\\_TN\\_STP\\_091\\_615\\_14073.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_091_615_14073.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2016.

LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 481 p.

MENEZES, M. J. S. **Poder calorífico e análise imediata da maravalha de pinus (Pinus sp.) e araucária (Araucaria angustifolia) de reflorestamento como resíduos de madeira.** 2013. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Unioeste, Cascavel, 2013. Disponível em: <[http://projetos.unioeste.br/pos/media/Dissertacao\\_Marta\\_J\\_S\\_Menezes.pdf](http://projetos.unioeste.br/pos/media/Dissertacao_Marta_J_S_Menezes.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2016.

OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus pellita F. Muell. **Scientia Forestalis**, v. 38, p. 431-439, 2010.

ORTOLAN, C. et al. Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal. In: XIV SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, XIV, 2006, Curitiba. **Seminário.** Curitiba: J. R. Malinovski, C. M. C. Corrêa, T. B. Baggio e J. da S. Alves, 2006. p. 133 – 144.

RABELO, E. R. **Análise teórica e experimental sobre incandescência em espécimes de madeira.** 2003. 120 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Energia, Unesp, Guaratinguetá, 2003.

**REVISTA DA MADEIRA: Resina de Pinus no Sul do Brasil: Caracterização e Perspectivas.** [s.j]: n. 116, set. 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1317&subject=Resina](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1317&subject=Resina)>. Acesso em: 12 set. 2016.

SOARES NETO, T. G. et al. Laboratory evaluation of Amazon forest biomass burning emissions. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 7455-7461, 2011.

## **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

