

# Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso

Mônica Jasper  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Mônica Jasper  
(Organizadora)

# Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Rafael Sandrini Filho  
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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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 Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



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

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 Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
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 Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
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  
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  
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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
F683	Fontes de biomassa e potenciais de uso [recurso eletrônico] / Organizadora Mônica Jasper. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-629-4 DOI 10.22533/at.ed.294191609  1. Biocombustíveis. 2. Biomassa – Pesquisa – Brasil. I. Jasper, Mônica.  CDD 333.9539
<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

Estamos apresentando “Fonte de Biomassa e Potenciais de Uso”. São dezesseis capítulos que abordam trabalhos, pesquisas e revisões de forma ampla acerca deste conhecimento. A obra reúne trabalhos de diferentes regiões do país, analisando a área da Produção de biomassa sob diferentes abordagens. É necessário conhecer esses temas sob diversas visões de pesquisadores, a fim de aprimorar conhecimentos, relações interespecíficas e desenvolver estratégias para a utilização das fontes de biomassa. O esforço contínuo de pesquisadores e instituições de pesquisa tem permitido grandes avanços nessa área. Assim, apresentamos neste trabalho uma importante compilação de esforços de pesquisadores, acadêmicos, professores e também da Atena Editora para produzir e disponibilizar conhecimento neste vasto contexto.

Mônica Jasper

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CONVERSÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS LIVRES DE ÓLEO DE GIRASSOL EM BIODIESEL UTILIZANDO CATALISADORES ÁCIDOS	
Paulo Roberto de Oliveira Patrick Rodrigues Batista Marjorie Emanoeli Lopes Vieira Palimécio Gimenes Guerrero Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2941916091</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
EFEITO DA APLICAÇÃO DE EXTRATO DE ALECRIM ( <i>ROSMARINUS OFFICINALIS L.</i> ) SOBRE A OXIDAÇÃO DO BIODIESEL DE SOJA DURANTE O ARMAZENAMENTO	
Noellen Caroline Cavalcanti de Araujo Silmara Bispo dos Santos Henrique de Matos Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2941916092</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
EFFECT OF THERMOCHEMICAL PRETREATMENT AS A STRATEGY TO ENHANCE BIODEGRADABILITY OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS	
Thiago Edwiges Jhenifer Aline Bastos João Henrique Lima Alino Laércio Mantovani Frare	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2941916093</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>24</b>
ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA SEMIDECIDUAL: UMA COMPARAÇÃO ENTRE REGRESSÃO E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	
Marcela de Castro Nunes Santos Terra Daniel Dantas Luiz Otávio Rodrigues Pinto Natalino Calegario Sabrina Mandarano Maciel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2941916094</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>36</b>
EXTRAÇÃO DE LIPÍDEOS DA MICROALGA <i>Nannochloropsis oculata</i> CULTIVADA COM VARIAÇÃO DE NITRATO DE SÓDIO NO MEIO DE CULTURA	
José William Alves da Silva Susana Felix Moura dos Santos Illana Beatriz Rocha de Oliveira Ana Claudia Teixeira Silva Glacio Souza Araujo Emanuel Soares dos Santos Renato Teixeira Moreira Dilliani Naiane Mascena Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2941916095</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 41**

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE PROTEÍNA ANIMAL NA ZONA DA MATA E CAMPO DAS VERTENTES DE MINAS GERAIS

Michael de Oliveira Resende  
Giovana Franco Valadão  
Elias Gabriel Magalhães Silva  
Helen Ribeiro Rodrigues  
Márcio do Carmo Barbosa Poncilio Rodrigues  
Augusto Cesar Laviola de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.2941916096**

**CAPÍTULO 7 ..... 50**

POLPA CELULÓSICA COMO ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL VIA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

Dile Pontarolo Stremel  
Alexandre Vidal Bento  
Mayara Elita Braz Carneiro  
Roberto Pontarolo

**DOI 10.22533/at.ed.2941916097**

**CAPÍTULO 8 ..... 59**

PRODUÇÃO DE CÉLULA SOLAR COM CORANTE DA *Beta vulgaris*

Julianno Pizzano Ayoub  
Gideã Taques Tractz  
Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira  
Cynthia Beatriz Furstenberger  
Everson do Prado Banczek  
Paulo Rogerio Pinto Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.2941916098**

**CAPÍTULO 9 ..... 67**

PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA REFUGO VIA PROCESSO FERMENTATIVO: UMA PROPOSTA PARA A DESTINAÇÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE AMILÁCEAS

Taís Adeil Muller  
Wilma Aparecida Spinosa  
Juliano Tadeu Vilela Resende  
Leonel Vinicius Constantino  
Edson Perez Guerra  
Leonardo de Lima Wrobel  
Wallace Lima Paulo  
Ana Elisa Barbosa Siqueira  
Claudia Jeorgete dos Santos Burko

**DOI 10.22533/at.ed.2941916099**

**CAPÍTULO 10 ..... 74**

QUALIDADE DO CARVÃO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* PLANTADOS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Matheus Redel Finger  
Rosimeire Cavalcante dos Santos  
Elias Costa de Souza  
Gabriel Raamon Santana Nunes  
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes  
Renato Vinicius Oliveira Castro  
Stephanie Hellen Barbosa Gomes  
Cynthia Patricia de Sousa Santos

Sarah Esther de Lima Costa  
Gualter Guenter Costa da Silva  
DOI 10.22533/at.ed.29419160910

**CAPÍTULO 11 ..... 81**

RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CARVÃO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Matheus Redel Finger  
Rosimeire Cavalcante dos Santos  
Elias Costa de Souza  
Gabriel Raamon Santana Nunes  
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes  
Renato Vinícius Oliveira Castro  
Stephanie Hellen Barbosa Gomes  
Cynthia Patricia de Sousa Santos  
Sarah Esther de Lima Costa  
Gualter Guenter Costa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.29419160911

**CAPÍTULO 12 ..... 87**

UMA PROPOSTA PARA O APROVEITAMENTO DA *ACROCOMIA ACULEATA* COMO FONTE DE ENERGIA LIMPA

Cássio Furtado Lima  
Fernanda de Oliveira Araujo  
Leonne Bruno Domingues Alves  
Angleson Figueira Marinho  
Érica Bandeira Maués de Azevedo  
Michel Keisuke Sato  
Victor da Cruz Peres  
Juliana Souza da Silva  
Luiz Fernando Reinoso  
Edinelson Luis de Sousa Junior  
Maykon Sullivan de Jesus da Costa  
Francisco Robson Alves da Silva

DOI 10.22533/at.ed.29419160912

**CAPÍTULO 13 ..... 103**

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTOS DE CERRADO EM MINAS GERAIS

Natielle Gomes Cordeiro  
Kelly Marianne Guimarães Pereira  
Luiz Otávio Rodrigues Pinto  
Marcela de Castro Nunes Santos Terra  
José Márcio de Mello

DOI 10.22533/at.ed.29419160913

**CAPÍTULO 14 ..... 117**

BIODIGESTOR CONTROLADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Marcos Baroncini Proença  
Simone Ribeiro Morrone  
Dimas Agostinho da Silva  
Herdney Souza dos Santos  
Leila Fabiola Ferreira  
Luiz Roberto Baracho Rocha  
Cristoffer Lincon



Abel José Vilseke

DOI 10.22533/at.ed.29419160914

**CAPÍTULO 15 ..... 121**

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ADSORBENT OBTAINED FROM AGROINDUSTRIAL WASTE BIOMASS

Arthur Hoffmann dos Santos

Diana Fernanda Caicedo

Joana de Souza Mücke

Aline Krum Ferreira

Luiz Antonio Mazzini Fontoura

Samuel José Santos

Irineu Antonio Schadach de Brum

DOI 10.22533/at.ed.29419160915

**CAPÍTULO 16 ..... 125**

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL WITH CHARCOAL PYROLIGNEOUS LIQUOR

Marcos Baroncini Proença

Simone Ribeiro Morrone

Dimas Agostinho da Silva

DOI 10.22533/at.ed.29419160916

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 131**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 132**

## POLPA CELULÓSICA COMO ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL VIA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

### **Dile Pontarolo Stremel**

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal  
Curitiba-PR

### **Alexandre Vidal Bento**

Universidade Federal do Paraná, Engenharia Industrial Madeireira  
Curitiba-PR

### **Mayara Elita Braz Carneiro**

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal  
Curitiba-PR

### **Roberto Pontarolo**

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Farmácia  
Curitiba-PR

**RESUMO:** O crescente aumento da produção de bioetanol no Brasil, impulsionado pela queda de preços do açúcar no mercado internacional, cenários mais favoráveis no mercado interno, além de uma perspectiva futura positiva de um programa nacional de biocombustíveis, exige para o setor maior produção de biocombustível de segunda geração. Visando contribuir com esta proposta, desenvolveu-se um modelo estatístico da etapa de sacarificação enzimática de um processo alternativo utilizando a metodologia de planejamento de experimentos para estimar os efeitos, coeficientes do modelo,

obter superfícies de resposta e calcular a Análise da Variância (ANOVA). O método de planejamento empregado foi do tipo composto central e a variável de resposta consistiu na produtividade da hidrólise enzimática de polpa de Pinus sp. ( $K_{0,8}$ ) em função dos fatores temperatura e tempos de residência. Cada experimento (nível do planejamento e ponto central) empregou polpa celulósica 1% (m/V), 25% (me/m) de celulase comercial e tampão acetato pH 5,0. As amostras foram centrifugadas por 5 min a 3600 rpm e para a determinação de açúcares redutores empregou-se o método espectrofotométrico que utiliza ácido dinitro-3,5-salicílico, DNS. O modelo apresentou um coeficiente de correlação de 0,96 com uma variância explicada de 92,29%, F-calculado aproximadamente 2,5 vezes maior que o valor de F-crítico com 95% de confiança, sendo estatisticamente significativo e desta forma confiável para fins preditivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioetanol; ANOVA; Celulase; Pinus sp.

### CELLULOSIC PULP AS ALTERNATIVE FOR BIOFUEL PRODUCTION VIA ENZYMATIC HYDROLYSIS

**ABSTRACT:** The growing demand in bioethanol production in Brazil, driven by the drop in sugar

prices in the international market, more favourable scenarios in the domestic market, and a positive future outlook for a national biofuels program, requires for the sector improving second generation ethanol production. In order to contribute to this proposal, a statistical model of the enzymatic saccharification step of an alternative process was developed using the experimental planning methodology to estimate the effects, model coefficients, obtain response surfaces and calculate the Analysis of Variance (ANOVA). The applied method was the central composite type and the response variable consisted in the productivity of the enzymatic hydrolysis of *Pinus* sp. (Kappa 0,8) as a function of temperature factors and residence times. Each experiment (planning level and center point) employed 1% cellulose pulp (m/V), 25% (me/m) commercial cellulase and acetate buffer pH 5.0. The samples were centrifuged for 5 min at 3600 rpm and for the determination of reducing sugars the spectrophotometric method using dinitro-3,5-salicylic acid, DNS was used. The model presented a correlation coefficient of 0.96 with an explained variance of 92.29%, F-calculated approximately 2.5 times higher than the F-critical value with 95% confidence, being statistically significant and thus reliable for predictive purposes.

**KEYWORDS:** Bioethanol; ANOVA; Cellulase; *Pinus* sp.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria de papel e celulose gera grandes volumes de resíduos orgânicos e inorgânicos. Esses resíduos, em especial o lodo branco, estão presentes na água utilizada no processo de branqueamento do papel, água essa que requer tratamento intenso e complexo antes de ser devolvida aos rios. Esse resíduo se constitui, na maior parte, por fibras microscópicas de celulose. Segundo pesquisadores, o biocombustível como o etanol de segunda geração pode ser obtido empregando na etapa de sacarificação a adição de enzimas às moléculas de fibra de celulose e contribuir com alternativas para aproveitamento deste descarte. (VILAS BOAS, 2016).

A possibilidade de se obter combustíveis da maior fonte de carbono do planeta a partir de fontes lignocelulósicas como formações arbóreas tem impulsionado grandes investimentos na indústria de biocombustíveis. (PALONEN et al., 2004; BANSAL et al., 2009). O etanol de 2ª geração, proveniente de fontes lignocelulósicas apresenta-se como uma tecnologia promissora no âmbito dos biocombustíveis sustentáveis. (RODRIGUES, 2011).

As biomassas vegetais contêm grande quantidade de celulose, entre 40% e 50%. Há indícios, também, da presença, em menor quantidade, desse polímero em bactérias e algas. (FENGEL; WEGENER, 1989). Na madeira, além da celulose, há presença de outros componentes estruturais hidrolisáveis em glucose para a fermentação em etanol, como é o caso das hexoses: glucoses, manose e galactose e as pentoses: xiloses e arabinoses. Sendo estes os principais açúcares neutros constituintes das polioses ou

hemiceluloses. (KLOCK, 2000).

Na natureza, a degradação da celulose ocorre de maneira delongada, isto devido a presença de fatores inibidores da hidrólise, tais como a lignina e a cristalinidade dos substratos, fazendo com que seja restringida a ação enzimática aos polissacarídeos hidrolisáveis em glucose. (PALONEN et al, 2004). Sendo assim, o rendimento da hidrólise está diretamente ligado ao pré-tratamento dado ao substrato lignocelulósico, expondo as cadeias de celulose. Outros fatores como tempo de reação, temperatura, concentração de substrato, enzima, pH e taxa de agitação são relevantes, também, para se obter um rendimento ótimo. (RABELO, 2007).

A conversão da biomassa lignocelulósica para a produção do etanol de segunda geração envolve quatro etapas básicas: (1) pré-tratamento; (2) hidrólise dos polissacarídeos presentes no substrato; (3) fermentação dos açúcares a etanol e (4) recuperação do etanol por destilação. A produção de açúcar a partir da celulose é a etapa mais desafiante deste processo de conversão. (MARTÍNEZ, 2014)

As celulasas utilizadas para hidrolisar a celulose tem ganhado mercado e possuem grande importância nas indústrias de bioenergia. Tal importância garante que o desenvolvimento de enzimas, que melhor hidrolisem a celulose da parede vegetal, seja alavancado. Algumas características são necessárias para garantir a aplicação dessas enzimas em biorrefinarias, tais como: estabilidade térmica, determinados potenciais hidrogeniônicos, elevada eficiência catalítica e alta tolerância a inibição por produto. (ZHANG, HIMMEL e MIELENZ, 2006).

A aplicação destas enzimas em processos industriais é retardada pelo oneroso custo e baixa produção. A otimização da hidrólise enzimática e dos processos os quais as envolve, em prol da redução dos elevados custos, é essencial para qualquer aplicação em nível industrial. (LATIFIAN, HAMIDI-ESFAHANI e BARZEGAR, 2007).

Haja vista os altos custos e baixa produção de fermentativos produzidos a partir da hidrólise enzimática, o objetivo deste trabalho foi avaliar a hidrólise enzimática de polpa celulósica em baixa concentração considerando tempo e temperatura como fatores relacionados à produtividade na resposta para o processo alternativo visando produção de etanol de segunda geração.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Polpa de Celulose

Utilizou-se como substrato polpa celulósica kraft industrial branqueada de *Pinus* sp. (Kappa 0,8). O material, após ter sido seccionado em unidades menores, seguiu para o moinho de facas do tipo Willey passando por peneiras de 14 mesh, visando a obter material homogêneo e menor granulometria para fins de hidrólise.

## 2.2 Enzimas

Nos experimentos de hidrólise enzimática, empregou-se o uso de enzima comercial, constituída de uma mistura de celulases,  $\beta$ -glucosidades e hemicelulase. Utilizou-se aproximadamente 25% de massa de enzima por massa de celulose (me/m) e ampliou-se a faixa de temperatura do planejamento além daquela recomendada pelo fabricante, para analisar a possibilidade de se obter uma boa hidrólise a temperaturas alternativas e mantendo o pH ótimo igual a 5 através de uma solução tampão acetato 0,01M.

## 2.3 Delineamento experimental da Hidrólise Enzimática

Para tornar possível a execução, ao menos aproximada, da inferência estatística, é usual que sejam feitos ensaios no ponto central do espaço experimental.

Os dados foram tratados, empregando a técnica de delineamento central composto rotacional. Este planejamento é simétrico e de segunda ordem, constituído de três partes: o fatorial  $2^k$ , um ou mais pontos centrais, e a parte axial  $2^*k$  (ou estrela), sendo  $k$  o número de fatores. (MONTGOMERY, 2012).

No caso proposto, o ensaio realizou 11 experimentos com 3 pontos centrais, executados aleatoriamente, gerados a partir da Tabela 1.

Variáveis	Nível -1,414	Nível -1	PC 0	Nível +1	Nível +1,414
T (° C )	43	45	50	55	57
t(h)	0,172	1	3	5	5,828

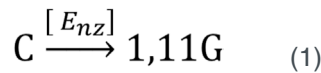
Tabela 1. Valores reais e níveis dos fatores estudados para o planejamento

O procedimento fatorial visa analisar os efeitos independentes e de iteração na produtividade da formação de açúcares redutores seguindo o protocolo descrito em (Maldonado, Carvalho e Ferreira, 2013), adaptado para o caso da polpa celulósica. Os resultados obtidos foram submetidos uma análise de variância visando avaliar os parâmetros do modelo proposto e avaliar a possibilidade de empregar o mesmo para predição.

A determinação da conversão da celulose foi tomada com base na hipótese de que a reação abaixo ocorre para a polpa, visto ser um material já purificado, com alta concentração de celulose ( $Kappa=0,8$ ). Neste caso não levamos em consideração a etapa intermediária de formação de celobiose, devido à baixa concentração, conforme resultados obtidos e observados em MARTINEZ (2014, p.47).

A seguinte estequiometria foi proposta para a hidrólise enzimática da celulose com base na glucose obtida, onde  $C$  é a concentração de celulose e  $G$  a de açúcar redutor em glucose.





Considerou-se para efeitos de simplificação da modelagem apenas a velocidade de formação de glucose em relação ao desaparecimento da polpa celulósica, de acordo com a estequiometria da equação 1 e expressa conforme a equação (2).

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{1}{1,11} \frac{dG}{dt} \quad (2)$$

Integrando de uma concentração inicial  $C(0) = C_0$  até  $C(t)$  com  $G(0) = 0$ .

$$C_0 - C(t) = \frac{G(t)}{1,11} \quad (3)$$

A conversão da polpa pode ser expressa por:

$$X\% = 100 \frac{C_0 - C(t)}{C_0} \quad (4)$$

A equação (5) pode ser obtida em função das equações (3) e (4), que é calculada empregando-se a curva de calibração  $G(t) = 1,573 \times f_d \text{ abs}_{540\text{nm}}$ , Os termos  $f_d$  e  $\text{abs}_{540\text{nm}}$  correspondem ao fator de diluição e absorbância da amostra lida no comprimento de onda a 540nm.

$$X\% = \frac{G(t)}{1,11 C_0} \quad (5)$$

Para obter a produtividade, expressa em  $g \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$  como variável de resposta da hidrólise utilizou-se os valores de açúcares redutores produzidos ao longo do tempo de reação, equação 06 .

$$PR = \frac{G(t)}{t(h)} \quad (6)$$

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 02 pode ser observado o valor para a produtividade (PR), em função do tempo (t) e temperatura (T) codificados. A melhor condição observada foi de 5,851  $g \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$  para 10 minutos de reação e 50 °C, no entanto mantendo a temperatura para tempos superiores de reação verifica-se uma queda na produtividade, sendo difícil manter este valor.

No trabalho de Vásquez (2017, p.121), para a mesma temperatura do experimento, observou-se o efeito de inibição por glucose, revelando que a enzima é inibida competitivamente pelo produto. Outro aspecto verificado é que velocidade inicial de reação e a fração de inibição diminui com o aumento da concentração de substrato (celulose) e chega a zero a partir de aproximadamente 10  $g \text{ L}^{-1}$  de celulose. VÁSQUEZ (2017, p.100). Estas observações, bem como os resultados obtidos neste trabalho sugerem que a

cinética é influenciada por vários fatores que devem ser levados em consideração na escolha das condições operacionais.

A partir da obtenção dos resultados da tabela 02, ajustou-se um modelo quadrático cujo resumo da análise da variância pode ser visto na tabela 03.

T codificado	t codificado	G g L <sup>-1</sup>	PR g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
-1	-1	2,700	2,700
1	-1	2,643	2,643
-1	1	4,225	0,845
1	1	4,199	0,840
0	0	2,461	0,820
0	0	3,008	1,003
0	0	2,735	0,912
-1,414	0	3,292	1,097
0	-1,414	1,004	5,851
1,414	0	2,234	0,745
0	1,414	3,652	0,627

Tabela 02. Planejamento fatorial 2<sup>2</sup> + configuração estrela com a resposta produtividade

O modelo de regressão apresentou um coeficiente de correlação de 0,96 com uma de variância explicada de 92,29%, Tabela 3.

O teste F também mostrou que o valor de F-calculado = 2,50, foi maior que o valor de F-crítico = 5,05, aproximadamente 2,5 vezes, com 95% de confiança, mostrando que o modelo foi bem ajustado para esta variável, sendo este estatisticamente significativo.

	SQ	GL	MQ	F	p
T	0,04	1	0,04	0,10	0,77
T 2	0,03	1	0,03	0,08	0,79
t	15,25	1	15,25	38,37	0,00
t 2	6,62	1	6,62	16,66	0,01
Tx t	0,0007	1	0,00	0,00	0,97
resíduo	1,99	2	0,40		
Total	24,86	10			
% Var	R	FC	Ft 95%		
91,95	0,96	12,50	5,05		

Tabela 03. Análise da Variância (ANOVA) para a variável produtividade.

Considerando que o modelo quadrático foi validado para a variável produtividade, o mesmo foi usado para gerar superfícies de resposta, tendo o objetivo analisar o comportamento do processo em temperaturas alternativas e tempos menores de reação. As superfícies de resposta para variável conversão não foram construídas, pois o modelo apresentou desempenho menos satisfatório.

Quanto aos efeitos, os termos lineares t(L) e quadrático t(Q) do tempo foram significativos. Os demais independentes e o termo de interação T(L) x t(L) não foram significativos para a faixa operacional estudada, Figura 1.

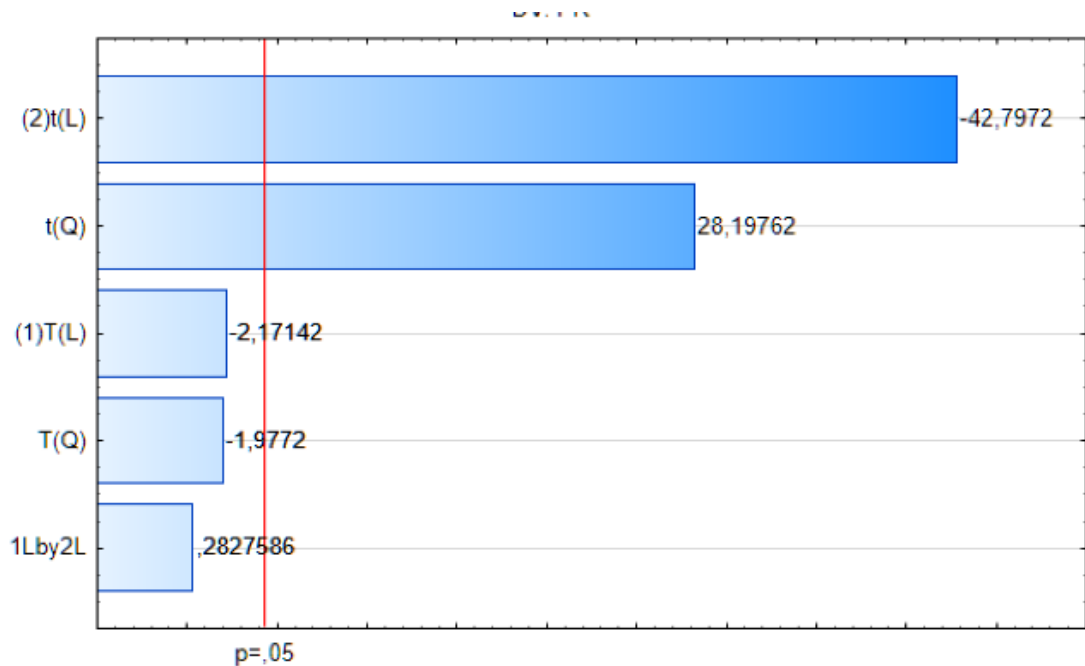


Figura 1. Estimativa dos Efeitos Padronizados (Valor absoluto)

O modelo multivariável obtido em termos de variável codificada para a produtividade, com os coeficientes de regressão é expresso de acordo com a equação (7). O modelo ainda pode ser refinado visando a obter um melhor desempenho visto que somente os termos do tempo são significativos.

$$PR = A + BT + CT^2 + Dt + Et^2 + FTt \quad (7)$$

onde:

$$A = (0,91 \pm 0,36); \quad B = (-0,07 \pm 0,22); \quad C = (-0,076 \pm 0,26); \\ D = (-1,38 \pm 0,22); \quad E = (1,08 \pm 0,26); \quad F = (0,012 \pm 0,31);$$

Muitas vezes, a dificuldade em se obter um modelo melhor ajustado é consequência de imprecisões referente à manutenção nos reatores quanto às condições operacionais de volume, temperatura, agitação e procedimentos volumétricos na amostragem. A superfície de resposta a seguir, figura 2, foi construída com base no modelo da equação (7) e mostra a produtividade em função da temperatura (T) e tempo (t) codificados.

Observa-se que a produtividade apresenta um bom desempenho para temperaturas alternativas, ou seja, fora da faixa de ótimo desempenho como recomendadas pelo fabricante.

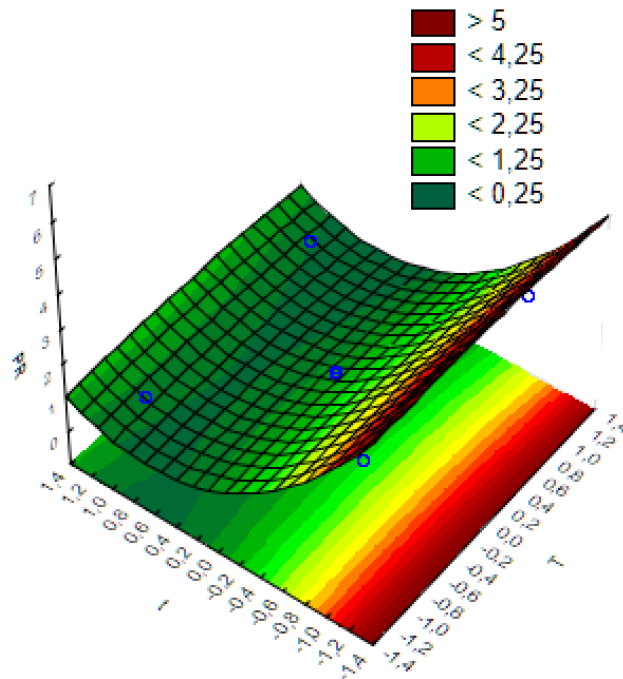


Figura 2 – Superfície de resposta para a produtividade

Pode-se observar que temperaturas em torno de 55 °C (+1) a 57 °C (+1,414) são favoráveis quanto a produtividade. A Figura 2 mostra que temperaturas acima do ponto central oportunizam boas velocidades de reação. De acordo com o catálogo do fabricante, acima de 50 °C (0) a performance diminui, no entanto, outros fatores, conforme já mencionado, além da temperatura devem ser levados em consideração quando pretende-se otimizar a conversão ou a produtividade do processo. Para o modelo estudado, o ponto ótimo do processo está na condição de 46,5 °C (-0,707) e 0,17h (-1,414).

Quanto a conversão, maiores tempos devem ser analisados, no entanto, para fins de comparação de desempenho, para este caso, obteve-se conversões em torno de 30% para aproximadamente 6 horas de reação empregando cargas em torno de 25% (me/m) de enzima e 1% (m/v) de carga de sólidos. Em trabalho de MARTINEZ (2014, p.49), empregando enzima similar e 10% de sólido o tempo foi de 12 horas para a mesma conversão.

#### 4 | CONCLUSÃO

O estudo realizado permitiu obter informações importantes observando os efeitos da temperatura e tempo de reação na produtividade e conversão enzimática, observando a possibilidade de se trabalhar com confiabilidade visando reduzir tempo e custo operacional nas etapas de hidrólise de material celulósico visando a produção de etanol biocombustível em condições de fermentação não inibitórias.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Aos laboratórios de Hidrologia; Química da Madeira e Polpa e Papel, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal e ao laboratório de Controle de Qualidade Físico-Químico do Departamento de Farmácia da Universidade Federal do Paraná.

## REFERÊNCIAS

- BANSAL, P. et al. Modeling cellulase kinetics on lignocellulosic substrates. **Biotechnology Advances**, p. 833-848, 2009.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood. Chemistry. Ultrastructure. Reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.
- KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de Pinus maximinoi H. E. Moore**. Curitiba. 2000.
- LATIFIAN, M.; HAMIDI-ESFAHANI, Z.; BARZEGAR, M. Evaluation of culture conditions for cellulase production by two *Trichoderma reesei* mutants under solid-state fermentation conditions. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 3634-3637, 2007.
- MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, N. A. **Comunicado Técnico 85**. EMBRAPA. Brasília, p. 4. 2013.
- MARTÍNEZ, J. D. A. **Modelagem cinética da hidrólise enzimática da palha de cana-de-açúcar pré-tratada hidrotermicamente..** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 107. 2014.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8. ed. Tempe: John Wiley & Sons, 2012. 757 p.
- PALONEN, H. et al. Adsorption of *Trichoderma reesei* CBH I and EG II and their catalytic domains on steam pretreated softwood and isolated lignin. **Journal of Biotechnology**, v. 107, n. 1, p. 65-72, 2004.
- RABELO, S. C. **Avaliação de desempenho do pre-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino para a hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar**. Campinas. 2007.
- RODRIGUES J, A. R. Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. **Química Nova**, v. Vol. 34, No. 7, p. 1242-1254, 2011.
- VÁSQUEZ, P. C. H. **Cinética de inibição por produto e substrato da hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar**. Unicamp. Campinas, p. 160. 2017.
- VILAS BOAS, G. Resíduos da indústria de papel se transformam em bioetanol. **Jornal da USP**, 27 out. 2016. Disponível em: <<https://jornal.usp.br>>. Acesso em: 26 jun. 2019.
- WARDROP, A. B. The Structure and Formation of the Test of *Pyura stolonifera* (Tunicata). **Protoplasma**, p. 73-86, 1970.
- ZHANG, Y.-H. P.; HIMMEL, M. E.; MIELENZ, J. R. Outlook for cellulase improvement: Screening and selection strategies. **Biotechnology Advances**, p. 452-481, 2006.



## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**MÔNICA JASPER** é Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), com graduação e Mestrado (2010) na linha de pesquisa Manejo Fitossanitário. Professora na Universidade Estadual de Ponta Grossa e no Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, atuando principalmente nas disciplinas de Entomologia Geral e Aplicada, Manejo de culturas, Morfologia e Fisiologia Vegetal, Fitopatologia Geral e Aplicada, Biologia, Genética e Melhoramento Genético e Biotecnologia.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ácidos graxos livres 1, 2, 9, 96, 97, 98, 99  
Agronegócio 68  
Álcool 2, 3, 12, 68, 69, 70, 71, 72, 93, 95  
Análise química imediata 75, 77, 78, 79  
ANOVA 38, 50, 51, 55, 70  
Antioxidante 12, 14, 16, 17, 18, 94  
Aprendizagem de máquinas 24, 26, 28  
Automação 41, 117, 118

### B

Biocombustível 50, 51, 57, 68, 69  
Biodiesel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 37, 40, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 125, 126, 128, 129, 130  
Biodigestor 117, 118, 119  
Bioenergia 41, 52, 59, 82, 100, 118, 119  
Bioetanol 50, 58  
Biogás 19, 20, 41, 45, 46, 49, 117, 118  
Biomass 18, 19, 20, 23, 25, 27, 34, 35, 37, 40, 75, 101, 106, 113, 114, 117, 121, 122, 123, 124, 129  
Biomassa florestal 24, 75, 118, 119  
Biosorbent 121, 122

### C

Carbonização da madeira 82  
Carvão vegetal 75, 76, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86  
Célula fotovoltaica 59, 60  
Celulase 50  
Cultivo 36, 37, 38, 39, 40, 70, 85, 91, 100

### D

Desenvolvimento sustentável 41, 60, 65, 99  
Domínio cerrado 103

### E

Eficiência energética 61, 82  
Energia 13, 41, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 59, 60, 62, 64, 65, 66, 72, 75, 80, 82, 86, 87, 88, 90, 98, 99, 100, 118, 119, 120  
Energia da biomassa 75  
Energias renováveis 59, 60

Esterificação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 100

Eucalipto 35, 75, 80, 82

Extrato vegetal 12, 14

## **G**

Geoestatística 103, 105, 107, 113, 115

Gestão ambiental 88

## **H**

Híbrido de eucalipto 82

## **I**

Inventário florestal 27, 103, 106

## **L**

Lignina 19, 52, 80

Lipídio 36

## **M**

Macaúba 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102

Metano 19, 45, 46, 118

Mudanças climáticas 24, 25, 34, 60

## **O**

Óleo de girassol 1, 4, 5, 6, 9, 11

## **P**

Potencial energético 41, 47, 48, 49, 87, 88, 90

Pyroligneous Liquor 82, 125, 126, 127, 129

## **R**

Rede cooperativa 117

Regressão múltipla 24, 26, 31, 33, 34

Resíduo orgânico 68

Resíduos sólidos 19

## **S**

Sequestro de carbono 24, 25, 108, 114

Sociologia ambiental 88

Solanum tuberosum L 68, 72

## T

Transesterificação enzimática 88, 93, 97, 98, 99, 100

Transesterification 2, 10, 11, 88, 100, 125, 126, 127, 130

## W

Waste coking oil 125

Waste management 121

Water and wastewater treatment 121

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-629-4

