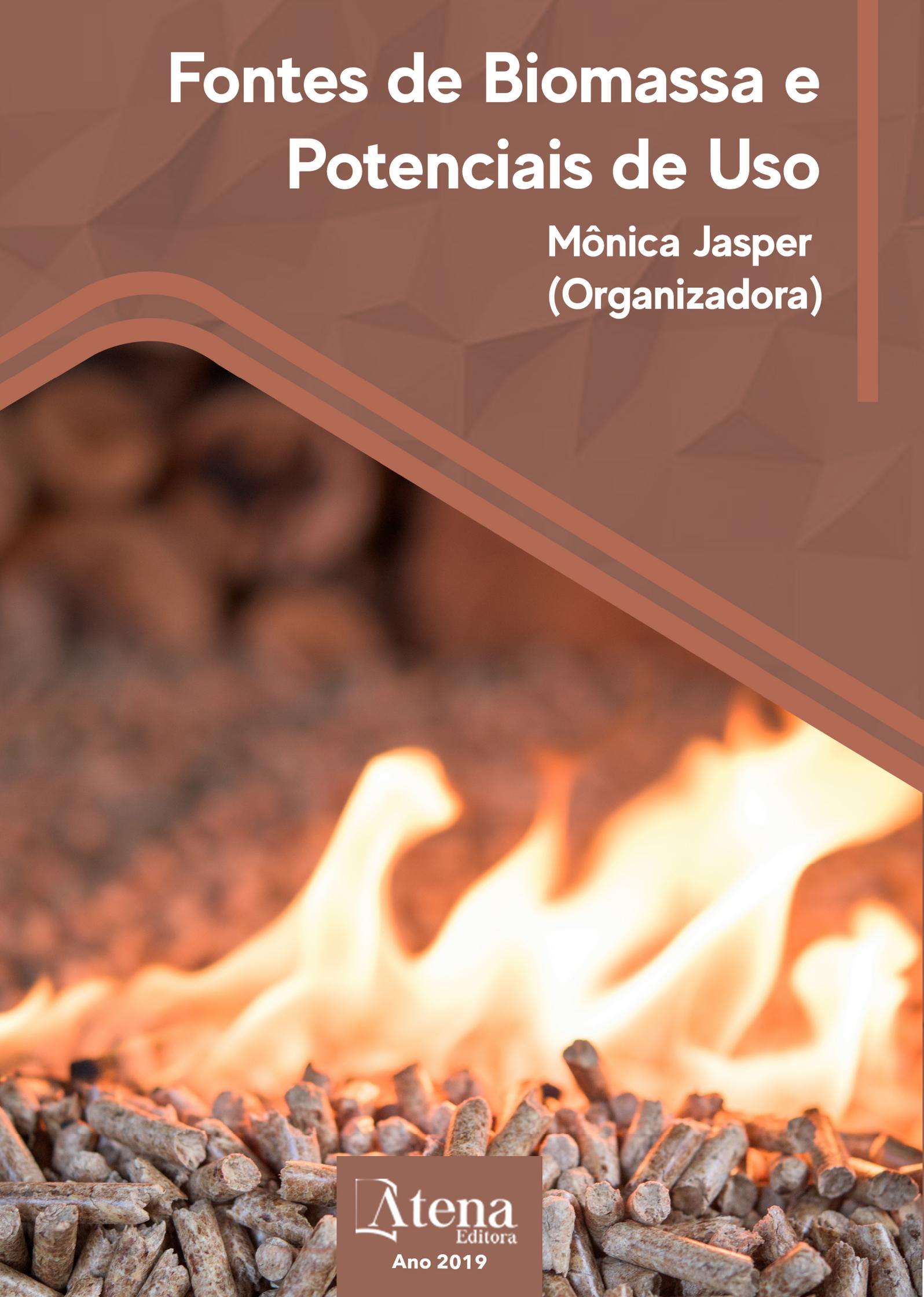


Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso

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: Profª Drª 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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª 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
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. 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
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
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.2941916091	
CAPÍTULO 2	12
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	
DOI 10.22533/at.ed.2941916092	
CAPÍTULO 3	19
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	
DOI 10.22533/at.ed.2941916093	
CAPÍTULO 4	24
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	
DOI 10.22533/at.ed.2941916094	
CAPÍTULO 5	36
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	
DOI 10.22533/at.ed.2941916095	

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

CONVERSÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS LIVRES DE ÓLEO DE GIRASSOL EM BIODIESEL UTILIZANDO CATALISADORES ÁCIDOS

Paulo Roberto de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de
Química e Biologia, Rua Deputado Heitor de
Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba-
PR

Patrick Rodrigues Batista

Departamento de Química Fundamental, Instituto
de Química, Universidade de São Paulo, Av. Prof.
Lineu Prestes, 748, CEP: 05508-000, São Paulo,
SP

Marjorie Emanoeli Lopes Vieira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de
Química e Biologia, Rua Deputado Heitor de
Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba-
PR

Palimécio Gimenes Guerrero Júnior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de
Química e Biologia, Rua Deputado Heitor de
Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba-
PR

RESUMO: O biodiesel pode ser preparado a partir da transesterificação de triglicerídeos ou pela esterificação dos ácidos graxos livres (AGL). A transesterificação com triglicerídeos tem um custo maior porque é utilizado um óleo vegetal de alta qualidade, com baixo teor de AGL. A esterificação utilizando matérias-primas

mais baratas, como óleo bruto com alto teor de AGL ou somente os AGL, pode gerar biodiesel com menor custo. Este trabalho consistiu em converter os AGL do óleo de girassol semi refinado em biodiesel através de reações de esterificação utilizando metanol e diferentes catalisadores ácidos. Todos os catalisadores apresentaram boas taxas de conversão. Dentre os catalisadores o ácido p-toluenossulfônico (APTS) mostrou o melhor resultado e foi muito mais eficiente na conversão dos AGL em biodiesel, precisando de apenas 2 h de reação para produzir biodiesel com 96,2% de rendimento. Os resultados obtidos durante o processo de conversão de AGL de óleo de girassol semi refinado em biodiesel mostraram que é possível recuperar os AGL contidos na fase glicerina, gerada durante a produção do biodiesel em escala industrial. Estes resultados mostraram também que é possível aumentar os lucros das indústrias produtoras de biodiesel purificando o coproduto glicerina, retirando os AGL por separação de fase e convertendo estes AGL em biodiesel. Este processo aumentará o valor comercial dos AGL que atualmente são considerados como impurezas da glicerina.

PALAVRAS-CHAVE: Esterificação; Ácidos Graxos Livres; Biodiesel; Óleo de Girassol.

CONVERSION OF FREE FATTY ACIDS OF SUNFLOWER OIL IN BIODIESEL USING ACID CATALYSTS

ABSTRACT: Biodiesel can be prepared by transesterification of triglycerides or esterification of free fatty acids (FFA). Transesterification with triglycerides leads a higher cost due the utilization of a high-quality vegetable oil with a low FFA. Esterification using cheaper raw materials, such as vegetable oil crude with high FFA or only FFA, can generate biodiesel at lower cost. This work consisted in converting the AGL of semi-refined sunflower oil into biodiesel through esterification reactions using methanol and different acid catalysts. All catalysts had good conversion rates. Among the catalysts the p-toluenesulfonic acid (PTSA) showed the best result and higher efficiency in the conversion of the AGL to biodiesel, requiring only 2 h of reactional time to produce biodiesel with 96.2% yield. The results obtained during the process of conversion of AGL from semi-refined sunflower oil to biodiesel showed that it is possible to recover the AGL contained in the glycerin phase generated during the production of biodiesel on an industrial scale. These results also showed that it is possible to increase the profits of the biodiesel producing industries by purifying the glycerin co-product, removing the FFAs by phase separation and converting these FFAs into biodiesel. This process will increase the commercial value of the AGLs that are currently considered as glycerin impurities.

KEYWORDS: Esterification; Free Fatty Acids; Biodiesel; Sunflower Oil.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vem crescendo a busca por combustíveis alternativos, em especial os de fontes renováveis. O biodiesel é o que mais vem se destacando por ser um combustível mais adequado, do ponto de vista ambiental, por ser renovável e menos poluente (CAMACHO *et al.*, 2005).

A produção de biodiesel no Brasil ganhou força com a criação do Programa Brasileiro de Produção e Uso de Biodiesel, em 2004 e pela Lei 11.097, de 13/05/2005, que estabeleceu a implantação de 2% em volume de biodiesel ao óleo diesel em qualquer parte do território nacional a partir de 2008. Em março de 2018 o diesel comercializado no país já contava com 10% de biodiesel no seu volume total (AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2019).

O biodiesel pode ser preparado a partir da transesterificação de triglicerídeos ou pela esterificação de ácidos graxos livres (AGL). A transesterificação é uma reação química entre os triglicerídeos, álcool e um catalisador que transforma o óleo vegetal em um produto compatível quimicamente com o óleo diesel, permitindo a substituição parcial do último sem necessidade de mudanças na estrutura dos motores (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

Os catalisadores mais utilizados nas reações de transesterificação de óleos

vegetais com baixa acidez são os hidróxidos e metóxidos de sódio e potássio. Para óleos vegetais que apresentam um alto índice de AGL, ou seja, óleos mais ácidos, a transesterificação utilizando catalisadores ácidos tais como ácido sulfúrico e ácido clorídrico são mais empregadas. Os catalisadores básicos não podem ser usados nestes casos porque reagem com os AGL gerando sabões, através da reação de saponificação (MEHER *et al.*, 2006).

A comercialização do biodiesel é de custo mais elevado do que a do diesel derivado do petróleo. O alto custo deve-se ao fato de sua produção utilizar principalmente óleo de alta qualidade, com baixo teor de AGL. Uma maneira de reduzir esse custo seria a utilização de matérias-primas mais baratas, como borra ácida ou óleo bruto com alto teor de AGL visto que os catalisadores ácidos não são fortemente afetados. Nestes casos os catalisadores ácidos podem agir tanto nas reações de esterificação dos AGL presentes nos óleos ácidos quanto na transesterificação dos triglicerídeos destes óleos (CHONGHONG; TONGURAY; CHETPATTANANONDT, 2009, p. 1059) (LOTERO *et al.*, 2005).

A reação de esterificação consiste basicamente na reação de um ácido com um álcool na presença de um catalisador ácido. Alguns ésteres alquílicos e o biodiesel podem ser produzidos através da reação de AGL presentes em gorduras animais, óleos vegetais e rejeitos dos óleos de fritura, com álcoois de cadeia curta, como o metanol ou etanol, utilizando catalisadores ácidos (HOYDONCKX *et al.*, 2004) (MARCHETTI *et al.*, 2007).

A esterificação dos AGL apresenta-se como uma solução viável, para a produção de biodiesel, porque reduz o custo de produção já que será utilizado matérias primas ácidas, com menor valor de mercado (MARCHETTI *et al.*, 2007).

Nas reações de esterificação são empregados catalisadores ácidos homogêneos e heterogêneos. No entanto as reações utilizando catalisadores homogêneos, apesar de apresentarem bons resultados, são reações muito lentas. A separação e reutilização do catalisador também é muito difícil. A desidratação dos álcoois e a corrosão dos equipamentos são outras desvantagens na utilização de catalisadores homogêneos, principalmente os minerais (CORMA; GARCIA, 2006, p. 4307).

Por isso muitos estudos estão sendo realizados para encontrar catalisadores heterogêneos viáveis, e com boa eficiência, para a esterificação de óleos com altos teores de AGL para a produção de biodiesel (MARCHETTI *et al.*, 2007). Catalisadores que forneçam uma boa conversão dos AGL em biodiesel, que sejam mais fáceis de separar do meio reacional, que possam ser reutilizados, que não sejam tão corrosivos e que eliminem a etapa de neutralização do meio ácido que ocorre quando se utiliza catalisadores ácidos homogêneos (FERREIRA *et al.*, 2007).

Dentro dos vários trabalhos publicados na literatura estão o de GUAN *et al.* (2009, p. 81) que obtiveram rendimento de 97% através da esterificação do óleo de milho utilizando o ácido p-toluenossulfônico (APTS) com proporção de 4% em peso em relação à massa de óleo, numa reação de 2 horas a 80 °C. WANG *et al.* (2007, p. 184)

mostraram que o sulfato férrico tem atividade elevada para catalisar a esterificação de AGL com metanol. O rendimento foi de 97% quando 2% em peso de sulfato férrico foram adicionados ao sistema de reação contendo metanol e óleo de cozinha para uma relação molar 10:1, a 95 °C durante 4 h. BOELY *et al.* (2012, p. 12) testaram um novo catalisador heterogêneo ácido para a produção de biodiesel, sob a forma de grânulos de alginato-férrico que forneceu um rendimento de 98% de éster metílico a partir da esterificação do ácido láurico com temperatura de 60 °C, razão molar metanol/ácido láurico de 15:1 durante 3 h.

2 | OBJETIVO

O objetivo do trabalho consistiu em converter os AGL do óleo semi refinado de girassol em biodiesel através de reações de esterificação com diferentes catalisadores ácidos homogêneos e heterogêneos.

3 | METODOLOGIA

Os AGL utilizados neste trabalho foram obtidos após o processo de hidrólise ácida da glicerina gerada na produção de biodiesel de óleo semi refinado de girassol por processo em batelada (VIESSER, 2010). Durante o processo de hidrólise ácida da glicerina bruta ocorreu a formação de três fases. A fase superior correspondeu aos AGL do óleo semi refinado de girassol. Estes AGL foram utilizados nas etapas que serão discutidas a seguir. As outras duas fases que foram produzidas no trabalho de VIESSER (2011) foram a glicerina pré-purificada (fase do meio) e o fosfato de sódio (fase inferior).

3.1 Pré-purificação dos AGL.

Para realizar a reação de esterificação, foi necessário realizar um prévio tratamento dos AGL do óleo de girassol semi refinado, a fim de retirar os resíduos de glicerina, fosfato de sódio e de água.

Portanto, alíquotas de 200 mL de AGL foram lavadas com cinco porções de 50mL de salmoura a quente (80 °C) através de um funil de separação de 500 mL. Posteriormente os AGL foram secos em estufa a 110 °C por 24 h.

A caracterização dos AGL foi feita através de análises de índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de saponificação (AOCS Cd 3-25) e teor de umidade (AOCS Da 2a-48). Estas análises foram feitas com base nas normas da American Oil Chemists' Society (AOCS).

Para determinar o teor de glicerol nas amostras de AGL utilizou-se um método espectroscópico no comprimento de onda de 410 nm na região do ultravioleta visível (UV/VIS). Foi necessária realizar a reação dos resíduos de glicerina presente nos AGL

com periodato de sódio (NaIO_4) e acetilacetona em tubo de ensaio para a obtenção do 3,5-diacetil-1,4-dihidrolutidina de cor verde (BONDIOLI; BELLA, 2005, p. 153).

3.2 Reação de esterificação.

10 g de AGL foram adicionados juntamente com os catalisadores em diferentes relações molares de metanol/AGL em um balão de fundo redondo de 50 mL. O balão foi conectado a um condensador de bolas e foi mantido sobre agitação constante e aquecido em um banho de silicone. O biodiesel obtido foi purificado em um funil de separação usando lavagens com água destilada, solução de bicarbonato de sódio 0,01 mol/L e solução de salmoura. Posteriormente o biodiesel foi seco com MgSO_4 e filtrado à vácuo. O rendimento foi obtido através da acidez de 1 g do biodiesel, utilizando a equação (1) onde, A_i é a acidez dos AGL e A_f é a acidez do biodiesel (FARAG, EL-MAGHRABY, TAHA, 2011, p. 507).

$$\% \text{ conversão} = (A_i - A_f / A_i) \times 100 \quad (1)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises físico-química dos AGL.

Os resultados das análises Físico-Química dos AGL do óleo de girassol semi refinado estão apresentados na Tabela 1.

Como o teor de glicerol nos AGL foi de 19,6% constatou-se a necessidade de realizar uma purificação prévia destes AGL para realizar as outras análises Físico-Químicas e para realizar, na próxima etapa, as reações de esterificação. Portanto após as lavagens dos AGL com salmoura a quente e posterior secagem em estufa por 24 horas a 110 °C obteve-se um teor de glicerol menor do que 1% indicando que o processo de lavagem com salmoura a quente foi eficiente. O teor de umidade de 1,1% após o tratamento prévio dos AGL também foi satisfatório para a realização da próxima etapa.

O índice de acidez dos AGL foi de 43,7 mg KOH/g, um valor alto para óleo de girassol mais dentro do esperado para os AGL deste óleo. O índice de iodo foi de 87,8 g I_2 /100g e apresentou valor um pouco abaixo do óleo de girassol (118-145 g I_2 /100g). O índice de saponificação foi de 190,5 mg KOH/g, dentro do esperado para óleo de girassol que apresenta valores entre 188 e 194 KOH/g (ÓLEO DE GIRASSOL, FICHA TÉCNICA, 2019).

Análises	Resultados
Teor de glicerina (%)	19,6 ^a (<1) ^b
Teor de Umidade (% H_2O)	1,1 ^b

Índice de Acidez (mg KOH/g)	43,7 ^b
Índice de Iodo (g I ₂ /100g)	87,8 ^b
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	190,5 ^b

Tabela 1. Análises Físico-Químicas dos AGL de óleo de girassol semi refinado.

^a Antes do tratamento prévio dos AGL. ^b Após o tratamento prévio dos AGL.

4.2 Esterificação catalisada com ácido sulfúrico concentrado.

Através dos resultados apresentados na Tabela 2 pode-se observar que foram realizados 15 experimentos variando a relação molar metanol/AGL, tempo e quantidade de catalisador. Todos os experimentos que utilizaram 4% de catalisador apresentaram rendimentos superiores a 91,0%. Dos experimentos que utilizaram 1% de catalisador, o melhor resultado foi para o experimento 10 que apresentou 96,0% de rendimento. Com a redução da temperatura de 110 para 80 °C observou-se uma pequena redução no rendimento de 96,0 para 93,0% (experimento 11), indicando a necessidade de manter a temperatura em 110 °C. O aumento da quantidade de metanol de 9:1 para 20:1 não melhorou o rendimento da reação (Experimento 15). Pode-se observar, através dos experimentos 3, 6 e 14, que o aumento do tempo de reação para 12 h reduz os rendimentos. Nestes casos provavelmente o equilíbrio químico passou a deslocar-se no sentido dos reagentes, hidrolisando o biodiesel. Apesar do aumento do percentual de catalisador de 1 para 4% em alguns experimentos, nenhum deles apresentaram rendimentos maiores do que 96,0% obtidos no experimento 11 utilizando 1% de catalisador.

Experimento	Relação molar metanol/AGL	Temperatura (°C)	Tempo de reação (h)	Catalisador (%)	Conversão (%)
1	3:1	110	4	1	83,6
2	3:1	110	8	1	86,5
3	3:1	110	12	1	81,5
4	6:1	110	4	1	87,2
5	6:1	110	8	1	89,9
6	6:1	110	12	1	82,6
7	6:1	110	8	4	91,0
8	6:1	110	4	4	94,4
9	9:1	110	4	1	88,6
10	9:1	110	8	1	96,0
11	9:1	80	8	1	93,5
12	9:1	110	4	4	93,7
13	9:1	110	8	4	94,0
14	9:1	110	12	1	85,3
15	20:1	110	8	1	95,6

Tabela 2. Esterificação dos AGL utilizando ácido sulfúrico concentrado como catalisador.

4.3 Esterificação catalisada com APTS.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que foram realizados 12 experimentos variando a relação molar metanol/AGL, tempo e quantidade de catalisador. Nos experimentos usando 1% de catalisador os rendimentos foram muito baixos, mesmo com o aumento da razão molar metanol/AGL e do tempo de reação. Utilizando 4% de catalisador todos os rendimentos foram superiores a 92,0%, indicando a dependência de uma quantidade significativa do catalisador para que a reação ocorra. O melhor resultado foi para o experimento 9 onde obteve-se o rendimento de 95,0% com 2 h de reação, 80 °C e 4% de catalisador. O aumento da temperatura de 80 para 100 °C não melhorou o rendimento (experimento 10). O aumento do tempo reacional (experimento 11) e a redução na relação molar metanol/AGL (experimentos 1 e 4) também não forneceram melhores resultados. Estes últimos resultados indicaram que aumentar o tempo reacional, diminuir o rendimento e que as relações molares 3:1 e 6:1 não são o suficiente para a conversão acima de 95,0% dos AGL em biodiesel.

Experimento	Relação molar metanol/AGL	Temperatura (°C)	Tempo de reação (h)	Catalisador (%)	Conversão (%)
1	3:1	80	2	4	92,0
2	3:1	80	2	1	< 1
3	3:1	80	4	1	< 1
4	6:1	80	2	4	92,2
5	6:1	80	2	1	< 1
6	6:1	80	4	1	< 1
7	9:1	80	2	1	< 1
8	9:1	80	4	1	< 1
9	9:1	80	2	4	95,0
10	9:1	100	2	4	94,0
11	9:1	80	4	4	92,6
12	20:1	80	2	4	96,2

Tabela 3. Esterificação dos AGL utilizando APTS como catalisador.

O experimento 12 mostra que se houver um aumento ainda maior na relação metanol/AGL de 9:1 para 20:1 o rendimento aumenta de 95,0 para 96,2%. Neste caso deve-se avaliar a relação custo benefício do rendimento com o gasto de metanol para se definir o melhor experimento para ser aplicado em escalas maiores.

4.4 Esterificação catalisada com sulfato férrico.

Foram realizados 9 experimentos com o sulfato férrico (Tabela 4). O melhor rendimento usando uma relação 9:1 foi de 91,4% em um tempo reacional de 4 h com 4% de catalisador à 80 °C (experimento 5). O aumento da temperatura de 80 para 100 °C (experimento 6) e o aumento do tempo reacional de 4 para 8h (experimento 7)

provocaram uma redução nos rendimentos. Quando a relação molar foi alterada de 9:1 para 20:1 de metanol/AGL, a taxa de conversão aumentou de 91,4 para 95,0% (experimento 8). Pode-se observar que o uso de uma maior quantidade de metanol melhora o rendimento reacional (Experimentos 8 e 9), mas os resultados usando sulfato férrico são melhores a 80 °C.

Experimento	Relação molar metanol/AGL	Temperatura (°C)	Tempo de reação (h)	Catalisador (%)	Conversão (%)
1	6:1	80	4	4	89,3
2	9:1	80	2	1	40,5
3	9:1	80	4	1	62,3
4	9:1	80	2	4	76,9
5	9:1	80	4	4	91,4
6	9:1	100	4	4	90,4
7	9:1	80	8	4	89,9
8	20:1	80	4	4	95,0
9	20:1	100	4	4	94,0

Tabela 4. Esterificação dos AGL utilizando sulfato férrico como catalisador.

4.5 Esterificação catalisada com alginato férrico.

Com o alginato férrico foram realizados 5 experimentos (Tabela 5). O melhor rendimento com uma relação molar 9:1 de metanol/AGL foi de 91,2% (experimento 3). Pode-se observar que tempos de 2 e 4 h não apresentam bons resultados na relação molar 9:1 (experimentos 1 e 2).

Experimento	Relação molar metanol/AGL	Temperatura (°C)	Tempo de reação (h)	Catalisador (%) ^a	Conversão (%)
1	9:1	60	2	4	43,7
2	9:1	60	4	4	89,5
3	9:1	60	8	4	91,2
4	15:1	60	4	4	93,1
5	20:1	60	4	4	94,2

Tabela 5. Esterificação dos AGL utilizando alginato férrico como catalisador.

^a4% de ferro em 22,8% de alginato férrico.

O aumento da relação molar de 9:1 para 20:1 aumenta o rendimento da reação de 91,2 para 94,2%, mesmo diminuindo o tempo de 8 para 4 horas (experimento 5). A análise dos experimentos 3, 4 e 5 mostraram que a esterificação dos AGL utilizando alginato férrico é dependente da proporção de metanol usado no meio reacional.

4.6 Esterificação do ácido oleico comercial

Para avaliar os melhores resultados apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, realizou-se a esterificação do ácido oleico comercial com metanol respeitando estas mesmas condições ótimas. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Os resultados mostram claramente que, nas melhores condições reacionais obtidas para a esterificação dos AGL de óleo de girassol semi refinado, a esterificação do ácido oleico comercial ocorre com rendimentos próximos a 99%. Estes resultados mostram que estas condições reacionais podem ser usadas não somente para os AGL utilizados neste estudo, mas que também podem ser usados para outros ácidos graxos livres, tais como o ácido oleico. Estes resultados também mostram que o método de purificação prévia dos AGL de óleo de girassol semi refinado foi eficiente, por apresentar resultados tão satisfatórios quanto para AGL vendidos comercialmente.

Catalisador	Relação molar metanol/AGL	Temperatura (°C)	Tempo de reação (h)	Catalisador (%)	Conversão (%)
Ác. Sulfúrico Concentrado	9:1	110	2	1	99,0
APTS	20:1	80	2	4	98,7
Sulfato Férrico	20:1	80	4	4	98,6
Alginato Férrico	20:1	60	4	4 ^a	98,6

Tabela 6. Esterificação do ácido oleico comercial utilizando as melhores condições reacionais da esterificação dos AGL de óleo de girassol semirefinado.

^a 4% de ferro em 22,8% de alginato férrico.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante o processo de conversão de AGL de óleo de girassol semi refinado em biodiesel mostraram que é possível recuperar os AGL contidos na fase glicerina da produção de biodiesel em escala industrial. Este trabalho mostra também que é possível aumentar os ganhos das indústrias produtoras de biodiesel purificando o coproduto glicerina, retirando os AGL por separação de fase e convertendo estes AGL em biodiesel que novamente poderão ser comercializados como combustível. Este processo, aumenta o valor agregado dos AGL do óleo de girassol semi refinado, visto que converte estes em combustível e impede que sejam comercializados como impurezas da glicerina bruta.

Dentre os catalisadores o APTS mostrou o melhor rendimento e foi muito mais eficiente na conversão dos AGL em biodiesel, precisando de apenas 2 h de reação para produzir biodiesel com 96,2% de rendimento.

6 | AGRADECIMENTOS

Fundação Araucária, CNPq, CAPES, TECPAR, LAMAQ e UTFPR/DAQBI.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 14 maio 2019.

AOCS Official Method Cd 1-25; “**Iodine value of fats and oils – Wijs method**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5^a ed., Champaign, 1998.

AOCS Official Method Cd 3-25; “**Saponification Value of Fats and Oils**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5^a ed., Champaign, 1998.

AOCS Official Method Cd 3d-63; “**Acid Value**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5^a ed., Champaign, 1998.

AOCS Official Method Da 2a-48; “**Moisture and Volatile Matter in Soap Moisture and Volatile Matte, Air Oven Method**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5^a ed., Champaign, 1998.

BOELY, P.L.; GANESAN, S.; MANIAM, P.G.; KHAIRUDDEAN, M.; LEE, S.E. **A new heterogeneous acid catalyst system for esterification of free fatty acids into methyl esters**. Appl. Catal. A-Gen., v. 433, p. 12-17, 2012.

BONDIOLI, P.; BELLA, L.D. **An alternative spectrophotometric method for the determination of free glycerol in biodiesel**. Eur. J. Sc. Technol., v. 107, p. 153-157, 2005.

CAMACHO, L.; CARVALHO, L.G.; BRITTO, P.P.; SANTOS, R.T.P.; DONATO, A.G.A. **Efeitos da natureza e concentração de ácidos homogêneos na esterificação de ácidos graxos**. 3^o Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

CHONGHONG, S.; TONGURAY, C.; CHETPATTANANONDT, P. **Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process**. Renew. Energy, v.43, p. 1059-1063, 2009.

CONCEIÇÃO, M.M.; DANTAS, M. B.; SILVA, F. C.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G.; **Obtenção de biodiesel através da transesterificação do óleo de milho: conversão em ésteres etílicos de caracterização físico-química**, I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, v. 1, 2005.

CORMA, A.; GARCIA, H.; **Lewis Acids: From Conventional Homogeneous to Freen Homogenous and Heterogeneous Catalysis**, Chem Reviews, v. 103, p. 4307-4366, 2006.

FARAG, H.A.; EL-MAGHRABY, A.; TAHA, N. A. **Optimization of factors affecting esterification of mixed oil with high percentage of free fatty acid**. Fuel Processing Technology, v. 92, p. 507-510, 2011.

FERREIRA, D. A. C.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P.; WOLF, C. R., **Methanolysis of soybean oil in the presence of tin(IV) complexes**. Applied Catalysis A: General, v. 317, p. 58-61, 2007.

GUAN, G.; KUSAKABE, K.; SAKURAI, N.; MORIYAMA, K. **Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using acid catalysts in the presence of dimethyl ether**. Fuel, v.88, p. 81–86, 2009.

HOYDONCKX, H.E.; VOS, D.E.; CHAVAN, S.A.; JACOBS, P.A. **Esterification and transesterification of renewable chemicals**. Top. Catal., v. 27, p. 83-95, 2004.

LOTERO, E.; LIU, Y.; LOPEZ, D. E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D. A.; GOODWIN, J. G. JR.; **Synthesis of biodiesel via Acid Catalysis**, v. 44, p. 5353-5363, 2005.

ÓLEO DE GIRASSOL, FICHA TÉCNICA. Disponível em: <<http://www.campestre.com.br/oleos-vegetais/oleo-de-girassol/oleo-de-girassol-ficha-tecnica/>>. Acesso em: 05 junho 2019.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F., **Heterogeneous esterification of oil with high amount of free fatty acids**, Fuel, v. 86, p. 906-910, 2007.

MEHER, L. C.; SAGAR, D.; VIDYA & NAIK, S. N., **Technical aspects of biodiesel productions by transesterification – a review**. Renew Sustain Energy Rev, v. 10, p. 248-268, 2006.

VIESSER, R. V. **Purificação da fase Glicerina Obtida a Partir da Transesterificação do Óleo de Girassol Semi refinado**. 2010, 90f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

WANG, Y.; OU S.; LIU, P.; ZHANG, Z. **Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process**. Energ. Convers. Manage., v. 48, p. 184-188, 2007.

EFEITO DA APLICAÇÃO DE EXTRATO DE ALECRIM (*ROSMARINUS OFFICINALIS L.*) SOBRE A OXIDAÇÃO DO BIODIESEL DE SOJA DURANTE O ARMAZENAMENTO

Noellen Caroline Cavalcanti de Araujo

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT

Silmara Bispo dos Santos

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT

Henrique de Matos Teixeira

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT

RESUMO: O biodiesel é um combustível visto como alternativa ao diesel derivado do petróleo, exatamente por não conter enxofre e gerar baixos níveis de poluição. Entretanto, uma das limitações atualmente encontrada para o aumento do uso do biodiesel em motores está relacionada com a estabilidade oxidativa durante o armazenamento. O objetivo neste trabalho foi avaliar o uso de extrato vegetal de alecrim (*Rosmarinus officinalis L.*) como antioxidante sobre o biodiesel B100, durante o armazenamento. O extrato de alecrim foi extraído por Soxhlet com hexano e após secagem foi diluído em álcool etílico a 99,5% de pureza para facilitar a aplicação no biodiesel. Biodiesel de soja com e sem a aplicação do extrato de alecrim foram armazenadas em frascos de vidro

durante 102 dias. Nos períodos de tempo de 0, 30, 60 e 102 dias, amostras do biodiesel com e sem tratamento foram coletadas para avaliação da sua estabilidade oxidativa por meio da determinação do período de indução. Durante o armazenamento, a amostra B100 puro teve seu período de indução reduzido, enquanto a amostra com tratamento antioxidante, se manteve estável. O extrato testado neste trabalho na dose de 10000 ppm não foi efetivo no aumento do período de indução. Apesar disso mostrou interessante efeito de estabilizante, o que indica um potencial para ser utilizado em misturas com outros produtos naturais que tenham efeito maior sobre o aumento imediato do período de indução.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel, extrato vegetal, antioxidante.

EFFECT OF THE EXTRACT OF ROSEMARY (*Rosmarinus officinalis L.*) APPLICATION ON THE SOY BIODIESEL OXIDATION DURING THE STORAGE

ABSTRACT: The Biodiesel is a fuel seen as an alternative to diesel coming from petroleum because it does not contain sulfur in its composition and generate low levels of pollution. However, one of the limitations found nowadays for the increase of Biodiesel using in engines is

related with the oxidative stability during storage. The goal in this assignment was to evaluate the vegetable extract of Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) use as antioxidant on Biodiesel B100, during storage. The extract was obtained by Soxhlet with hexane and, after drying, was diluted in ethyl alcohol 99,5% pure to make the application on the fuel easier. Soy Biodiesel with and without the vegetable extract application were stored on glass jars for 102 days. In the periods of 0, 30, 60 and 102 days, samples of both were collected for evaluation of their oxidative stability through the induction period determination. While stored, the B100 pure sample had its induction period reduced, unlike the sample with antioxidant treatment that has remained stable. The extract tested in this project in the dose of 10000 ppm was not effective for the increase of induction period. Despite, it has shown interesting stabilizing effect which indicates a potential to be used in mixtures with another natural products that have more effect on the immediate increase of induction period.

KEYWORDS: Biodiesel, vegetable extract, antioxidant.

1 | INTRODUÇÃO

A ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) define biocombustíveis como “derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia”. Ainda segundo a ANP, os dois principais biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol obtido a partir de cana-de-açúcar e, em escala crescente, o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis.

Durante o processamento do óleo de origem vegetal, os compostos antioxidantes naturalmente presentes são eliminados e o biodiesel obtido possui menor estabilidade quando comparado ao óleo que o originou.

De acordo com Schober & Mittelbach (2004), o biodiesel tende a se deteriorar devido a reações hidrolíticas e oxidativas, o que pode levar à formação de produtos insolúveis causando problemas no sistema de injeção de combustível. Além disso, a formação de ácidos orgânicos aumenta a acidez total do combustível e conseqüentemente, o risco de corrosão do motor e do sistema de distribuição do combustível.

Diversos pesquisadores estudaram o efeito de fatores como exposição a luz, exposição ao ar, temperatura e presença de umidade e/ou contaminantes sobre os processos oxidativos que ocorrem durante o armazenamento de biodiesel obtido de diferentes oleaginosas (BONDIOLI et al., 1995; PRANKL & SCHINDBAUER, 1998; MITTELBACH & GANGL, 2001; BONDIOLI et al., 2002; BOUAID et al., 2007). Além do controle destes fatores, o uso de aditivos com propriedades antioxidantes é uma alternativa na busca pela manutenção da qualidade do biodiesel por períodos mais

prolongados de armazenamento.

Em óleos e gorduras e em biodiesel obtido a partir deles, os antioxidantes utilizados podem ser de dois tipos, naturais e sintéticos (JAIN & SHARMA, 2010).

Os antioxidantes naturais extraídos de plantas são renováveis, seguros e têm sido amplamente aplicados na indústria de alimentos. As concentrações ideais e os efeitos do uso de diferentes antioxidantes naturais sobre as propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir de óleos vegetais e sobre sua estabilidade à oxidação ainda não estão completamente estabelecidas. Diversos extratos e óleos essenciais obtidos de plantas e/ou sementes têm sido utilizados com sucesso no controle da oxidação em diferentes tipos de aplicações. Entre estes produtos têm destaque os que são obtidos a partir de plantas como o tomilho e alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) (TENORE et al., 2012; MILADI et al., 2013). A aplicação destes extratos naturais no biodiesel para controlar a oxidação pode favorecer a manutenção da qualidade do combustível com a vantagem de menor toxidez ao organismo humano e ao ambiente, devendo, portanto, ser avaliada. Diante disso, o objetivo com o presente trabalho foi analisar o efeito antioxidante do extrato vegetal de alecrim no biodiesel de soja durante o armazenamento.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Simulação e Biocombustíveis do Departamento de Engenharia Mecânica, na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus de Rondonópolis.

O biodiesel utilizado foi coletado em uma indústria de biodiesel localizada no município de Rondonópolis. Esta coleta foi feita anteriormente a adição de qualquer antioxidante pela indústria, para garantir a avaliação do efeito antioxidante do extrato.

Para a obtenção do extrato, utilizou-se alecrim medicinal da marca Bio Botica, que foi seco em estufa a 50 °C até massa constante, posteriormente, triturado em liquidificador e submetido ao processo de extração simples utilizando o equipamento soxhlet e hexano como solvente, sendo o tempo fixado em 10 horas. Em seguida, as micelas obtidas (extrato mais solvente) foram submetidas ao processo de destilação a vácuo em temperatura de 50 °C, sendo o extrato resultante submetido ainda ao processo de secagem em estufa na mesma temperatura até massa constante, obtendo-se o extrato seco de alecrim. Para facilitar a aplicação do tratamento posteriormente, foi preparada uma diluição do extrato seco em etanol a 99,5% de pureza, obtendo-se o extrato na concentração de 0,5 g de extrato/g de solução. A solução obtida foi mantida congelada até o momento da aplicação do tratamento. A dosagem testada neste trabalho foi de 10000 ppm, sendo que para a aplicação do tratamento, quatro amostras de 300 mL de B100 foram acondicionadas em 4 recipientes, sendo dois frascos contendo B100 puro e dois contendo B100 com tratamento (10000 ppm de extrato de alecrim). Esses, foram hermeticamente vedados, para evitar a evaporação

de compostos voláteis, e armazenados em temperatura ambiente durante um período de 102 dias. Foram coletadas amostras nos tempos 0, 30, 60 e 102 dias de armazenamento tanto do B100 puro, como do B100 tratado com alecrim e efetuou-se as análises de estabilidade oxidativa.

A estabilidade a oxidação foi determinada baseando-se no teste Rancimat. Consistiu em expor a amostra a um fluxo de ar com vazão de 10 L h⁻¹ a 110 ± 2 °C. Nestas condições, a formação de compostos de oxidação é intensificada, sendo os gases carreados para a célula de medição contendo água destilada, cuja condutividade foi então monitorada continuamente. Um súbito incremento da condutividade foi observado indicando o período de indução (PI), quando então se inicia o processo de propagação da reação de oxidação.

Os resultados obtidos para o período de indução dos tratamentos durante o armazenamento foram submetidos a análise de regressão para avaliar o efeito do tempo sobre este parâmetro e ao teste de Tukey a 5% de significância para comparação de médias. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o programa Sisvar 5.6.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os parâmetros iniciais do biodiesel de soja utilizado neste trabalho. Estes parâmetros foram determinados no Laboratório de Simulação e Biocombustíveis da UFMT no tempo zero para caracterização prévia do produto a ser armazenado.

Características	Valores Estabelecidos pela ANP	Amostra (média ± desvio padrão)
Massa específica a 20 °C (ρ) – kg m ⁻³	850 – 900	994,2 ± 1,13
Viscosidade cinemática a 40 °C (ν) – mm ² s ⁻¹	3,0 – 6,0	5,44 ± 0,16
Estabilidade à oxidação a 110 °C – h	Mínimo 8	3,08 ± 0,12
Índice de acidez – mg KOH g ⁻¹	Máximo 0,50	0,78 ± 0,044

Tabela 1 – Propriedades do biodiesel de soja puro (B100)

O parâmetro massa específica do biodiesel foi superior ao limite estabelecido pela ANP. A coleta das amostras nos tanques da indústria foi realizada por funcionários da mesma. Uma hipótese é de que uma vez que a coleta do material tenha sido realizada pelo fundo do tanque de armazenamento, este material tenha em sua composição residual de umidade de decantação suficiente para alterar a densidade das amostras coletadas. Diante desta suspeita, após a chegada do material no laboratório, antes de qualquer coleta de subamostras para análise, era realizada a homogeneização do material. Além disso, todas as análises foram também realizadas com no mínimo 3

repetições para maior segurança nos resultados.

A viscosidade cinemática do biodiesel utilizado foi de $5,44 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, parâmetro que estava dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela ANP. O índice de acidez é um dos parâmetros utilizados para o controle de qualidade do biodiesel. Tanto o parâmetro viscosidade cinemática como o índice de acidez apresentaram valores médios superior a valores comumente reportados na literatura, sendo que o índice de acidez do biodiesel cedido pela indústria já se encontrava com valor médio de $0,78 \text{ mg de KOH g}^{-1}$ de amostra o que é superior ao limite estabelecido que é de $0,5 \text{ mg de KOH g}^{-1}$ de amostra. Quanto à estabilidade oxidativa, o valor médio encontrado foi de $3,08 \text{ h}$. Sarin et al. (2007), obteve para o biodiesel metílico de pinhão-manso período de indução de $3,23 \text{ h}$, considerado baixo quando comparado ao biodiesel metílico de palma que foi de $13,37 \text{ h}$. Os mesmos autores avaliaram a estabilidade oxidativa para biodiesel metílico de girassol e de soja, os quais apresentaram períodos de indução de $1,73$ e $3,80 \text{ h}$, respectivamente.

Os resultados obtidos para o índice de oxidação ao longo do armazenamento estão apresentados na Tabela 2 e os resultados da análise de regressão linear realizados estão representados na Figura 1. Ao analisar a Tabela 2 e a Figura 1, pode-se observar que o biodiesel que recebeu adição de 10000 ppm de extrato de alecrim manteve constante seu período de indução ao longo do armazenamento. Isto pode ser observado pelo resultado da análise de regressão que mostra que o parâmetro dependente do modelo não difere de zero. Por outro lado, o biodiesel B100 armazenado sem adição de qualquer produto antioxidante teve uma redução significativa do seu período de indução ao longo dos 102 dias de armazenamento. A relação entre o período de indução e o tempo de armazenamento pode ser representada adequadamente por um modelo linear com todos os parâmetros do modelo significativos ao nível de 1% de significância.

Produto	Tempo de armazenamento (dias)			
	0	30	60	102
B100	$3,08^a \pm 0,12$	$2,97 \pm 0,31$	$2,83^a \pm 0,59$	$2,63^b \pm 0,26$
B100 + EA	$3,73^a \pm 0,47$	3,69	$3,50^a \pm 0,49$	$3,97^a \pm 0,27$

Tabela 2 – Médias e desvios padrões de período de indução (h) a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ para o biodiesel puro e biodiesel tratado com extrato de alecrim

Médias seguidas de mesma letra numa mesma coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade

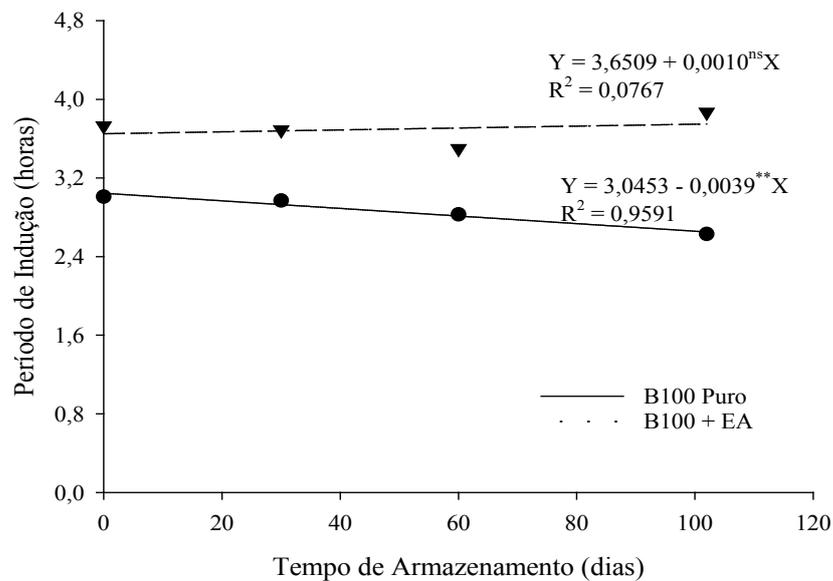


Figura 1 – Resultados do período de indução do biodiesel de soja puro e tratado com extrato de alecrim ao longo do tempo de armazenamento

Diversos trabalhos têm confirmado que, de um modo geral, o biodiesel de natureza metílica, como o que foi utilizado neste experimento se oxida após curtos períodos de estocagem e que sua inércia química está diretamente relacionada com a composição em ácidos graxos dos óleos utilizados na sua produção. O limite mínimo estabelecido pela ANP é de 8 h, no entanto, para biodieseis obtidos de diversas oleaginosas, torna-se necessário a adição de antioxidantes para aumentar o período de indução e a estabilidade oxidativa a altas temperaturas.

O extrato testado neste trabalho na dose de 10000 ppm não foi efetivo no aumento do período de indução. Apesar disso mostrou interessante efeito de estabilizante, o que indica um potencial para ser utilizado em misturas com outros produtos naturais que tenham efeito maior sobre o aumento imediato do período de indução.

Ainda de acordo com a Tabela 2, observa-se que para os tempos de armazenamento de 0 a 60 dias, não houve diferença significativa entre as médias para B100 puro e B100 tratado com alecrim. Para o período de 102 dias, a partir do teste de Tukey ao nível de 5% de significância, observa-se diferença entre os tratamentos o que reforça a ideia do efeito conservante do extrato de alecrim.

Ambas amostras não atenderam o tempo mínimo estabelecido pela ANP, porém outros métodos de extração deverão ser testados futuramente, pois sabe-se que diversos parâmetros do processo de extração podem influenciar significativamente a composição do extrato e, portanto, influenciar na sua capacidade antioxidante. Neste trabalho, o método de extração não foi parâmetro de estudo.

4 | CONCLUSÃO

O biodiesel puro teve uma diminuição do seu período de indução, como era esperado.

O extrato de alecrim na dose testada neste trabalho não foi efetivo no aumento do período de indução. Apesar disso mostrou interessante efeito de estabilizante, o que indica um potencial para ser utilizado em misturas com outros produtos naturais que tenham efeito maior sobre o aumento imediato do período de indução. Efeito sinérgico do alecrim com outros produtos e também outros métodos de extração deverão ser testados para uma busca de melhores resultados para o uso de alecrim como antioxidante para biodiesel.

REFERÊNCIAS

BONDIOLI, P.; GASPAROLI, A.; LANZANI, A.; FEDELI, E.; VERONESE, S.; SALA, M. **Storage stability of biodiesel**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v.72, p. 699-702, 1995.

BONDIOLI, P.; GASPAROLI, A.; DELLA BELLA, L.; TAGLIABUE, S. **Evaluation of biodiesel storage stability using reference methods**. European Journal of Lipid Science and Technology, v. 1004, p. 777-784, 2002.

BOUAID, A.; MARTÍNEZ, M.; ARACIL, J. **Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils**. Fuel, v.86, p.2596-2602, 2007.

JAIN S.; SHARMA M. P. **Stability of biodiesel and its blends: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews v.14, p. 667-678, 2010.

MILADI, H.; SLAMA, R.B.; MILI, D.; ZOUARI, S.; BAKHROUF, A.; AMMAR, E. **Essential oil of Thymus vulgaris L. and Rosmarinus officinalis L.: Gas chromatography-mass spectrometry analysis, cytotoxicity and antioxidant properties and antibacterial activities against foodborne pathogens**. Natural Science, v.5, n.6, p.729-739, 2013.

PRANKL, X.; SCHINDLBAUER, X. **Oxidation stability of fatty acid methyl esters**. In: European Conference on Biomass for Energy and Industry, 10, 1998, Wurzburg, Germany. Anais...Wurzburg: BLT, p. 1-5, 1998.

SARIN, R.; SHARMA, M.; SINHARAY, S.; MALHOTRA, R. K. **Jatropha palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia**. Fuel, v.86, p.1365-1371, 2007.

SCHOBBER, S.; MITTELBAACH, M. **The impact of antioxidants on biodiesel oxidation stability**. European Journal of Lipid Science and Technology, p. 106-382, 2004.

TENORE, G.C.; TROISI, J.; DI FIORE, R.; BASILE, A.; NOVELLINO, E. **Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of Rapa Catozza Napoletana (Brassica rapa L. var. rapa DC.) seed meal, a promising protein source of Campania region (southern Italy) horticultural germplasm**. J Sci Food Agric, v.92, n.8, p.1716-1724, 2012.

EFFECT OF THERMOCHEMICAL PRETREATMENT AS A STRATEGY TO ENHANCE BIODEGRADABILITY OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS

Thiago Edwiges

Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais

Medianeira – Paraná

Jhenifer Aline Bastos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Medianeira – Paraná

João Henrique Lima Alino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Medianeira – Paraná

Laércio Mantovani Frare

Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais

Medianeira – Paraná

RESUMO: A biomassa lignocelulósica tem se destacado entre os recursos renováveis para a produção de biogás. As gramíneas possuem uma estrutura vegetal contendo lignocelulose, que é conhecida por ser um tipo de matéria orgânica recalcitrante que pode inibir a digestão anaeróbica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de um pré-tratamento termoquímico utilizando NaOH como estratégia para potencializar o potencial bioquímico de metano (BPM) de aparas de gramíneas. BMP de grama crua foi $323 L_N CH_4 g SV^{-1}$. Quando comparado com o capim cru, todos os pré-tratamentos aplicados resultaram em menores valores de BMP (11% a 24%), indicando inibição

da digestão anaeróbica. No entanto, o pré-tratamento termoquímico utilizando NaOH e temperatura a 100 °C mostraram efeito positivo sobre a biodegradabilidade da biomassa em termos de taxa de hidrólise, reduzindo o tempo em que o pico de produção diária de metano foi registrado.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás. Metano. Resíduos Sólidos. Lignina

EFEITO DO TRATAMENTO TERMOQUÍMICO COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A BIODEGRADABILIDADE DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

ABSTRACT: The lignocellulosic biomass have been standing out among the renewable resources for biogas production. Grasses have a plant structure containing lignocellulose, which is known to be a recalcitrant type of organic matter that may inhibit anaerobic digestion. The objective of this work was to evaluate the influence of a thermochemical pretreatment using NaOH as a strategy to enhance biochemical methane potential (BPM) of grass clippings. BMP of raw grass was $323 L_N CH_4 g SV^{-1}$. When compared to the raw grass, all the applied pretreatments resulted in lower values of BMP (11% to 24%), indicating inhibition of the anaerobic digestion. However,

the thermochemical pre-treatment using NaOH and temperature at 100 °C showed positive effect on the biomass biodegradability in terms of hydrolysis rate, reducing the time where the peak of daily methane production was registered.

KEYWORDS: Biogás. Methane. Solid Waste. Lignin.

1 | INTRODUCTION

The lignocellulosic biomass have been standing out among the renewable resources for biogas production (Khor et al., 2014). Among the types of biomass, the grass presents potential for the production of bioethanol, synthetic natural gas, synthetic biofuels or for the production of biogas. The benefits of using grasses for bioenergy production are based on low water consumption when compared to other crops and because they are grown on non-arable land without competing with food crops (Smyth et al., 2009).

Grasses have a plant structure containing cellulose as the main component and are found in large scale in nature. In addition to cellulose, there is also hemicellulose, which is normally associated with lignin (Cremonese et al., 2013). However, this substrate has a recalcitrant structure that may inhibit anaerobic digestion (Singh et al., 2015).

Several types of pretreatments have been applied to break down its lignocellulose content and increase methane potential (Rabemanolontsoa et al., 2015). Thermal pretreatment is efficient in the degradation of lignin and hemicellulose, and the heat applied is responsible for breaking hydrogen bonds in crystalline cellulose and lignocellulose complexes, causing the biomass to swell and increasing the contact surface (Rodriguez et al., 2017).

When performing the heat pretreatment together with the addition of acid or alkali, the increase in the efficacy of pretreatment is observed (Menardo et al., 2012). Although cellulose is resistant to acid and alkali, these compounds are commonly used to solubilize hemicellulose and remove lignin (Mendez et al., 2013). Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of a thermochemical pretreatment as a strategy to enhance biochemical methane potential (BMP) of grass clippings.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 Type of substrate and thermochemical pretreatment

The type of biomass used as a substrate for this study was grass clippings which were composed by (*Panicum maximum*, *Zoysia japonica* e *Axonopus compressus*). The grass samples were collected at Itaipu Technological Park (Foz do Iguaçu, Parana, Brazil), dried at 60±2 °C and grinded to particle size under 2 mm.

The pre-treatment was performed using 180 mL of NaOH at concentrations of 1% (T1), 3% (T2) and 5% (T3) and 23,4 g of dried biomass to give a total solids (TS)

concentration in the mixture of 10%. The mixture of NaOH solution and raw grass was then submitted to the effect of temperature using an oven at 100 °C for 12 hours. Distilled water was used as control.

2.2 Determination of the biochemical methane potential (BMP)

Total solids (TS) and volatile solids (VS) of inoculum and substrate was determined according to APHA (2006). The determination of the BMP was performed through batch bottles of 200 mL working volume at mesophilic temperature (37 ± 1 °C) following the guidelines proposed by VDI 4630 (2006).

The inoculum used in the bioassay was composed by a mixture of animal manure and digestate acclimatized and degassed as described in Edwiges et al., (2017). To evaluate the biological activity of the inoculum a reference sample (microcrystalline cellulose) was used.

The measured biogas were corrected into dried gas at Standard Temperature and Pressure and methane content was measured twice in the beginning and at the end of the experiment through gas chromatography (Clarus 680, Perkin Elmer). The experiment were kept during 30 days.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

The inoculum used presented TS and volatile solids (VS) content of 8% and 5,2%, respectively. The grass clippings presented TS of 91,2 % and VS of 84,2 %. It was possible to observe that when compared to raw grass, the control using only water at 100 °C for 12 hours slightly improved the biodegradability of the substrate, since daily volume of methane produced were higher (Figure 1). This biodegradability improvement can be related to the water contribution to the cell swelling, making the lignocellulosic structure more accessible to biological attack.

The NaOH at concentrations of 1% and 3% were more efficient to improve the substrate biodegradability, since daily methane production was even higher than the raw grass. The peak of daily methane production was registered in the day 2 ($79 L_N CH_4 kg VS d^{-1}$) for NaOH at 1% and day 3 ($74 L_N CH_4 kg VS d^{-1}$) for NaOH at 3%, with the same peak registered only at day 5 ($34 L_N CH_4 kg VS d^{-1}$) for the raw grass. For the NaOH at 5%, even a higher peak was observed ($101 L_N CH_4 kg VS d^{-1}$) at day 7. This can be explained by the inhibition caused by the high concentration of the alkaline solution to the anaerobic microorganisms at 5% (Figure 1).

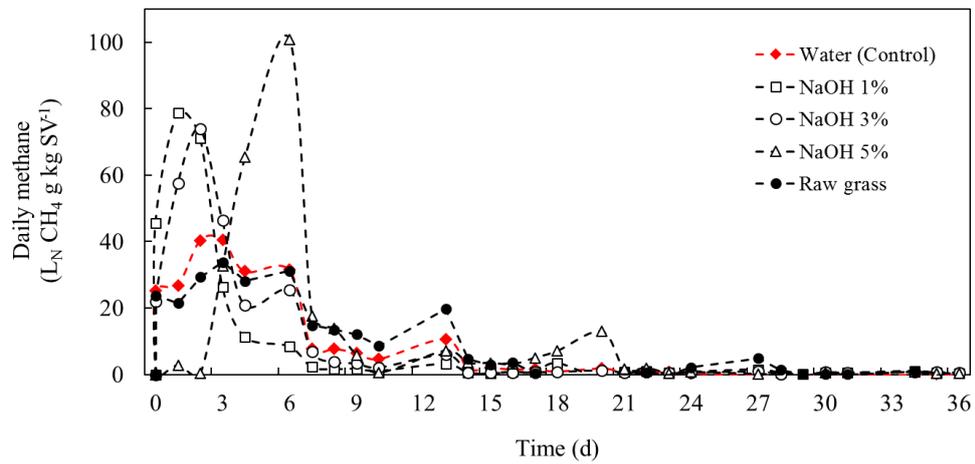


Figure 1 - Daily methane production of raw and pretreated grass

The BMP of the raw grass (without any pretreatment) was $323 \pm 21 \text{ L}_N \text{ CH}_4 \text{ g SV}^{-1}$ (Figure 2). Nitsche et al. (2017) reported similar value of $292 \text{ L}_N \text{ CH}_4 \text{ g SV}^{-1}$ for grass cuttings. When compared to the raw grass, all the applied pretreatments resulted in lower values of BMP (11% to 24%), indicating inhibition of the anaerobic digestion. This can be explained by the fact that during the pretreatment process at $100 \text{ }^\circ\text{C}$, part of the solubilized organic matter, especially the volatile fatty acids (VFA), was lost by volatilization and consequently not converted in methane. This behavior can indicate the limitation of thermal pretreatment in terms of bioconversion efficiency. The addition of NaOH, even with lower results compared to the raw grass, increased the BMP of grass clippings in 8% to 17% when compared to the grass pretreated with water.

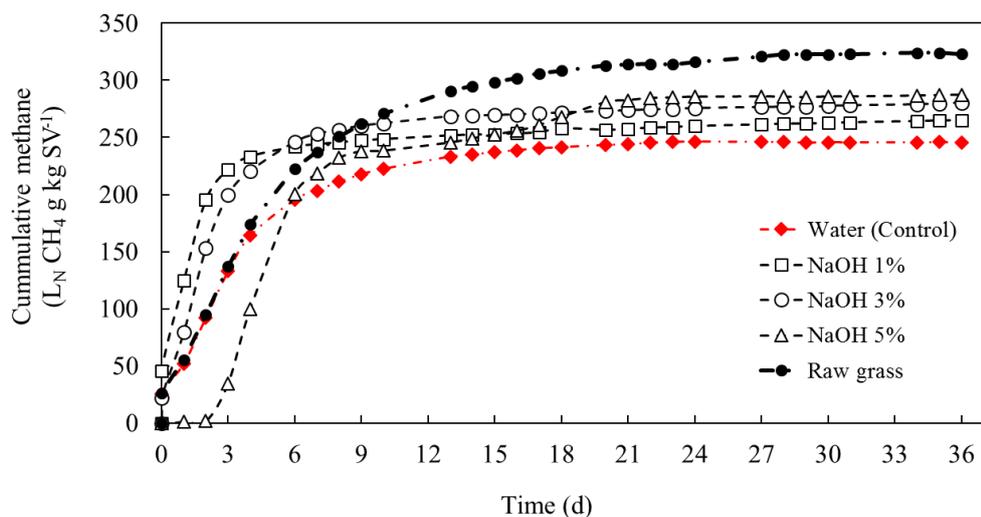


Figure 2 - Cumulative methane production for the raw and pretreated grass

CONCLUSÃO

The thermochemical pre-treatment of lignocellulosic biomass using NaOH and temperature at 100 °C showed positive effect on the biomass biodegradability. However, the cumulative methane yield were inhibited due to the volatilization of the organic matter during the pretreatment. Best results were obtained when NaOH at 5% was applied, with the BMP of 287 L_N CH₄ kg VS d⁻¹, which represented an increase of 17% compared to the same temperature condition using water, but 11% less than the BMP obtained for the raw grass of 323 L_N CH₄ kg VS d⁻¹. For further investigations, we recommend pretreatment at lower temperatures and contact time and its effect on organic matter volatilization.

REFERENCES

- APHA American Public Health Association. 2005 **Standart methods for the examination of water and wastewater**. American Water Works Association 21, 1368 p.
- Cremonese, P.A.; Feiden, A.; Zenatti, D.C.; Camargo, M.P.; Nadaleti, W.C.; Rossi, E.; Antonelli, J. 2013. **Biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos lignocelulósicos**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 2, p. 21-35.
- Edwiges, T., Frare, L., Mayer, B., Lins, L., Triolo, J., Flotats, X., Costa, M. 2018. **Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste**. Water Management, 71, p.618– 625.
- Khor, W., Rabaey, K., Vervaeren, H., 2015 **Low temperature calcium hydroxide treatment enhances anaerobic methane production from (extruded) biomass**. Bioresource Technology, 176, p.181–188.
- Menardo, S., Arioldi, G., Balsari, P. 2012. **The effect of particle size and thermal pretreatment on the methane yield of four agricultural by-products**. Bioresource Technology, 104, p. 708-14.
- Mendez, L., Mahdy A., Timmers, R.A., Ballesteros, M., González-Fernández, C. 2013. **Enhancing methane production of *Chorella vulgaris* via thermochemical pretreatments**. Bioresource Technology, 149, p. 136-41.
- Nitsche, M., Hensgen, F., Wachendorf, M. 2017. **Using grass cuttings from sports fields for anaerobic digestion and combustion**. Energies, 10, p.1-11.
- Rabemanolontsoa, H., Shiro, S. 2015. **Various pretreatments of lignocellulosics**. Bioresource Technology 199, p.83-91.
- Rodriguez, C., Alaswad, A., Benyounis, K.Y., Olabi, A.G. 2017. **Pretreatment techniques used in biogas production from grass. Renewable and Sustainable**. Energy Reviews, 68, 1193-1204.
- Wan, C., Li, Y. 2012. **Fungal pretreatment of lignocellulosic biomass**. Biotechnol Adv, 30, p. 1447-1457.
- Singh, J., Suhag, M., Dhaka, A. 2015. **Augmented digestion of lignocellulose by steam explosion, acid and alkaline pretreatment methods: a review**. Carbohydr. Polym. 117, p.624–631.
- Verein Deutscher Ingenieure. VDI 4630. 2006 **Fermentation of organic materials characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests**. 92 p.

ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA SEMIDECIDUAL: UMA COMPARAÇÃO ENTRE REGRESSÃO E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Marcela de Castro Nunes Santos Terra

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG

Daniel Dantas

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG

Luiz Otávio Rodrigues Pinto

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG

Natalino Calegario

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG

Sabrina Mandarano Maciel

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG.

RESUMO: A crescente preocupação em relação às mudanças climáticas globais tem chamado a atenção para o papel das florestas como mitigadoras desse processo, uma vez que elas atuam como sumidouro de carbono da atmosfera. Compreender o processo de estocagem de carbono em florestas e seus determinantes bem como apresentar modelos consistentes para sua estimativa é uma demanda atual. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi gerar um modelo para estimativa de carbono acima do solo para uma floresta estacional semidecidual secundária em Lavras, MG, com potencial de aplicação em

florestas do mesmo tipo na região. Foram testados duas abordagens de modelagem: (1) regressão linear múltipla com seleção de variáveis independentes por *stepwise* e transformação de Box-Cox e (2) redes neurais artificiais utilizando como variáveis de entrada as variáveis selecionadas pelo *stepwise* na regressão múltipla. Os métodos foram comparados principalmente pelo valor da raiz do erro quadrado médio (REQM). O modelo de regressão selecionou como variáveis explicativas: DAP (diâmetro altura do peito – 1,3 m) mínimo, DAP máximo, DAP médio, Altura total média e Número de árvores, todas por parcela. Ambas as abordagens apresentam excelente desempenho em explicar a variação do estoque de carbono na área de estudos. O desempenho das redes neurais foi superior, uma vez que apresentou REQM de 5,99% inferior ao apresentado pela regressão linear múltipla (14,67%). Espera-se com este estudo fornecer dados para estudos em largas escalas e aumentar o entendimento acerca do serviço de estocagem de carbono em florestas.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas. Sequestro de carbono. Biomassa florestal. Regressão múltipla. Aprendizagem de máquinas.

CARBON STOCK ESTIMATE IN SEMIDECIDUAL FORESTS: A COMPARISON BETWEEN REGRESSION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT: Growing concern about global climate change has called attention to the role of forests in the mitigation of this process as they act as a carbon sink for the atmosphere. Understanding the carbon stocking process in forests and its drivers as well as presenting consistent models for carbon stock estimation is a current demand. In this context, the main goal of this study was to generate a model for estimation of above-ground carbon for a secondary semidecidual forest in Lavras, MG, with potential application to forests of the same type in the study region. Two modeling approaches were tested: (1) multiple linear regression with selection of independent variables by stepwise and Box-Cox transformation and (2) artificial neural networks using as inputs the variables selected by stepwise in the multiple regression. The methods were compared primarily by the root mean square error (RMSE) value. The regression model selected as explanatory variables: minimum DBH (diameter at breast height - 1.3 m), maximum DBH, mean DBH, mean total height and number of trees, all variables obtained per sample plot. Both approaches present excellent performance in explaining the variation of the carbon stock in the study area. The performance of neural networks was superior, since it presented RMSE of 5.99%, which was lower than the RMSE presented by multiple linear regression (14.67%). This study provides data for studies at wider scales and increases understanding about the service of carbon storage in forests.

PALAVRAS-CHAVE: Climate change. Carbon sink. Forest biomass. Multiple regression. Machine learning.

1 | INTRODUÇÃO

O crescente aumento de CO₂ na atmosfera tem acelerado mudanças climáticas globais (SCHEFFER et al., 2006). Diante disso, cientistas cada vez mais se engajam na investigação de possibilidades de mitigação dos efeitos de tais mudanças. Florestas, em especial as florestas jovens, são sumidouros naturais de CO₂, uma vez que as plantas realizam a biossíntese de carbono no processo de fotossíntese (PUGH et al., 2019). Assim, estudar como as florestas funcionam, os fatores e mecanismos envolvidos no sequestro de carbono e sua capacidade de estocagem de carbono, é crucial para entender esse importante serviço ambiental prestado pelas florestas.

Muitos estudos têm focado na geração de resultados e produtos em larga escala, com mapas de distribuição de biomassa/carbono na vegetação para grandes regiões (e.g. SCOLFORO et al., 2015), utilizando bancos de dados extensos e, muitas vezes, recursos de sensoriamento remoto e métodos sofisticados de espacialização (e.g. SILVEIRA et al., 2019a). Outros trabalhos têm focado em investigar os determinantes ambientais e ecológicos de biomassa em diferentes florestas (e.g. SORIANO-LUNA et al., 2018) ou as ameaças que a atividade antrópica representa para a biomassa vegetal

(SILVEIRA et al., 2019b). Porém, diante de tantos produtos e generalizações, cresce a demanda por estudos locais, que investiguem variações pontuais de biomassa e estoque de carbono em florestas e ofereçam insights e refinamentos para concepção de padrões gerais e, ao mesmo tempo, dados para validação de produtos em larga escala (DUNCANSON et al., 2019).

Portanto, estudos locais que investigam os determinantes da biomassa em florestas são essenciais. Porém, os métodos utilizados nessas investigações devem ser apropriados, modernos e robustos, para que as inferências sejam válidas e representem de fato ganhos científicos. Na modelagem florestal, historicamente, as abordagens fundamentadas em modelos estatísticos predominaram (e.g. MELO et al., 2017). Recentemente, porém, observa-se que abordagens computacionais de inteligência artificial/aprendizagem de máquinas têm ganhado espaço como ferramenta de análise de dados florestais (SILVEIRA et al., 2019a). Essas ferramentas têm proporcionado ganhos na qualidade das estimativas e predições (VENDRUSCOLO et al., 2015; MARTINS et al., 2016).

Assim, o presente estudo visa empregar um algoritmo de aprendizagem de máquinas na modelagem da biomassa (estoque de carbono) acima do solo em uma Floresta Estacional Semidecidual secundária e comparar seu desempenho com a modelagem clássica (regressão múltipla). Espera-se com este trabalho entender as variáveis locais determinantes do estoque de carbono e gerar modelos para estimativa do estoque na floresta em questão, com potencial de aplicação em florestas do mesmo tipo na região de estudo.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudos e coleta de dados

A área de estudos corresponde a uma Floresta Estacional Semidecidual secundária localizada em Lavras, MG, nas coordenadas 21° 14'S e 45° 00'W, com altitude média de 900 m (FIGURA 1). O clima é classificado como Cwb de Köppen, com invernos secos e verões amenos (ALVARES et al., 2013). A precipitação média anual é 1511 mm e a temperatura média anual é 19.4 °C (MARQUES et al., 2019). A floresta é heterogênea e apresenta dominância de espécies arbóreas do gênero *Anadenanthera*, popularmente conhecidas como “angico”. Os dados são provenientes de 105 parcelas amostrais (10x10 m) lançadas na área. Em cada parcela foram medidas todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP – 1,3 m do solo) maior ou igual a 5 cm e suas respectivas alturas.

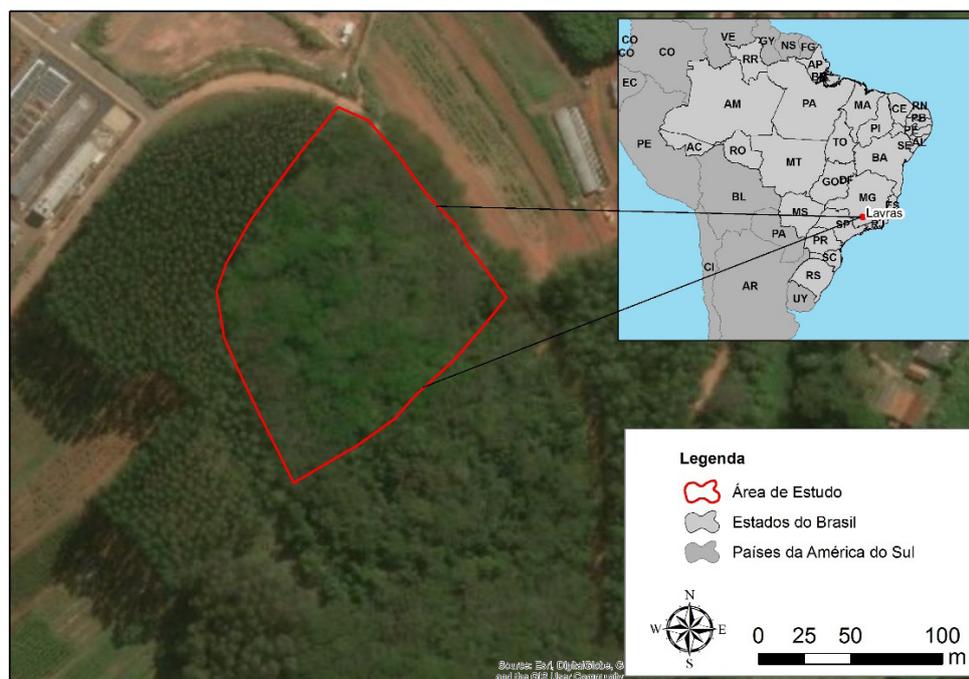


FIGURA 1. Área de estudos. Floresta Estacional Semidecidual secundária em Lavras, MG.

Análise de dados

A partir dos dados coletados em campo, foram obtidos por parcela: DAP mínimo (DAPmin), DAP médio (DAPmed), DAP máximo (DAPmax), Altural total mínima (Hmin), Altura total média (Hmed), Altura total máxima (Hmax), Diâmetro Médio Quadrático (Dq) e Número de árvores (N).

Estimou-se a biomassa acima do solo (Above Ground Biomass - AGB) por indivíduo arbóreo de acordo com a equação proposta por Chave et al. (2014), utilizando dados do inventário florestal, DAP e altura total das árvores e uma densidade básica média da madeira de $0,620 \text{ g.cm}^3$. A estimativa foi realizada no *software* R (R CORE TEAM, 2018), utilizando o pacote BIOMASS (RÉJOU-MÉCHAIN et al., 2017). A estimativa de AGB foi convertida para estoque de carbono em Mg.ha^{-1} de acordo com o trabalho proposto por Thomas e Martin (2012), multiplicando a AGB por 0,471, que segundo os autores corresponde a concentração de carbono nos tecidos das angiospermas das florestas tropicais.

Primeiramente foi conduzida a modelagem da biomassa por meio de regressão linear múltipla, com o estoque de carbono como variável resposta e as demais variáveis como variáveis independentes. Foi efetuada uma seleção de variáveis independentes pelo método *stepwise*, com base no Critério de Informação de Akaike (AIC). Assim, o modelo que apresenta a combinação de variáveis com menor AIC é considerado o modelo final. Tal modelo foi submetido à análise do gráfico do perfil de Box-Cox (BOX; COX, 1964) para verificação de necessidade de transformação da variável resposta e, posteriormente, à análise de resíduos.

Para a abordagem de aprendizagem de máquinas foram utilizadas redes neurais artificiais. As redes neurais artificiais foram treinadas considerando-se as variáveis selecionadas no melhor modelo na abordagem anterior como variáveis de entrada. O treinamento foi realizado no *software* R, versão 3.4.1, por meio do pacote *neuralnet* (FRITSCH; GÜNTHER, 2010). As RNA treinadas foram do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP), compostas por uma camada de entrada, uma camada intermediária e uma camada de saída. O número de neurônios foi definido de forma automatizada pelo pacote, em que foram testados de 1 a 10 neurônios. A taxa de aprendizagem também foi definida de forma automatizada, sendo testados valores entre 0,01 e 1,12. A função de ativação foi a logística, ou sigmoide, com um alcance de 0 a 1 e, por isso, foi feita a normalização dos dados, ou seja, os dados foram transformados para valores compreendidos entre 0 e 1. O algoritmo utilizado foi o *resilient backpropagation*.

Os dados foram divididos em dois grupos, sendo 70% para treinamento e 30% para generalização. Dentre os dados destinados ao treinamento da RNA, 70% foram utilizados na fase de treino e 30% na fase de teste. A partir da rede neural artificial foi extraído uma equação não-linear para predição da biomassa de árvores. Para isso, gerou-se um sistema de equações com coeficientes resultantes dos pesos gerados pelos neurônios da rede neural. Este sistema foi utilizado para predição da biomassa das árvores que compunham o banco de dados destinado à generalização.

Para fins de comparação, o modelo linear obtido por meio de regressão clássica também foi utilizado para predição do carbono no conjunto de dados destinados à generalização, ou seja, dados que não haviam sido utilizados no ajuste do modelo. A análise da qualidade das predições do modelo obtido por meio da regressão linear múltipla e do modelo extraído da rede neural artificial foi feita com base na Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), coeficientes de correlação entre valores estimados e observados, gráficos de dispersão de resíduos e gráficos de valores estimados versus observados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas das variáveis utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

	C	DAPmin	DAPmax	DAPmed	HTmin	HTmax	HTmed	N	Dq
Média	94,25	5,84	29,61	12,72	6,65	22	13,18	14,25	14,59
CV(%)	71,14	15,34	29,96	20,27	21,12	11,05	13,38	34,9	22,74

TABELA 1. Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na modelagem. C – estoque de carbono ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$); DAPmin = diâmetro altura do peito (DAP) mínimo da parcela amostral (cm); DAPmax = DAP máximo da parcela amostral (cm); DAPmed = DAP médio da parcela amostral (cm); HTmin = altura total mínima da parcela da amostral (m); HTmax = altura total máxima da parcela amostral (m); HTmed = altura total média da parcela amostral (m); N = número de árvores da parcela amostral; Dq = diâmetro quadrático médio da parcela amostral (cm).

Ainda na análise exploratória foi possível detectar, por meio de *boxplot* e pelo teste de Bonferroni, um valor discrepante de estoque de carbono (519.83 Mg.ha⁻¹), o qual foi removido da base para as etapas posteriores. A média do carbono (Mg.ha⁻¹) das parcelas foi superior à média encontrada para a região de estudos – floresta Atlântica na região central-sul do estado de Minas Gerais (55 Mg.ha⁻¹) – por Scolforo et al. (2015). Tal superioridade se deve provavelmente ao fato de, embora tratar-se de uma floresta secundária, a mesma não sofrer intervenções antrópicas e estar ladeada por outros tipos de floresta (plantio de *Eucalyptus* sp. e Floresta Estacional Semidecidual em fase inicial de sucessão), que suavizam o efeito-borda (NASCIMENTO et al., 2010).

Embora a média de estoque de carbono tenha apresentado valor elevado, sua variação (CV%) também foi expressiva. Isto se deve principalmente ao fato da variável estoque de carbono refletir as variações das demais variáveis dendrométricas. Ademais, em florestas naturais, inequiduais, com alta complexidade ecológica, variações espaciais na estrutura e composição de espécies, a presença de clareiras e outros fatores podem acarretar grande variabilidade nos valores de biomassa/estoque de carbono (SORIANO-LUNA et al., 2018) entre as parcelas amostrais.

Na modelagem clássica, as variáveis selecionadas para comporem o modelo final pelo método de *stepwise*, com base no critério de informação de Akaike, foram DAP mínimo, DAP máximo, DAP médio, HT média e N. Estas variáveis têm influência direta na variabilidade verificada no estoque de carbono: o DAPmed e HTmed representam as tendências centrais de crescimento dos indivíduos em cada parcela; DAPmin e DAPmax, os limites inferior e superior do crescimento em diâmetro, respectivamente; e N representa a densidade de indivíduos em cada parcela.

O modelo ajustado com as variáveis selecionadas foi, então, submetido à análise de Box-Cox e observou-se a necessidade de transformação da variável resposta, uma vez que o intervalo de confiança não compreendeu o valor de lambda igual a 1 (FIGURA 2a). Procedeu-se então à transformação de Box-Cox na variável resposta (Equação 1), utilizando o valor de lambda igual a 0,32, que corrigiu o problema de normalidade da variável resposta (FIGURA 2b).

$$C_{\text{trans}} = \frac{C^\lambda - 1}{\lambda} \quad (1)$$

Em que: C_{trans} = estoque de carbono em Mg.ha⁻¹ após a transformação de Box-Cox; C = estoque de carbono em Mg.ha⁻¹ original; λ = parâmetro da transformação de Box-Cox.

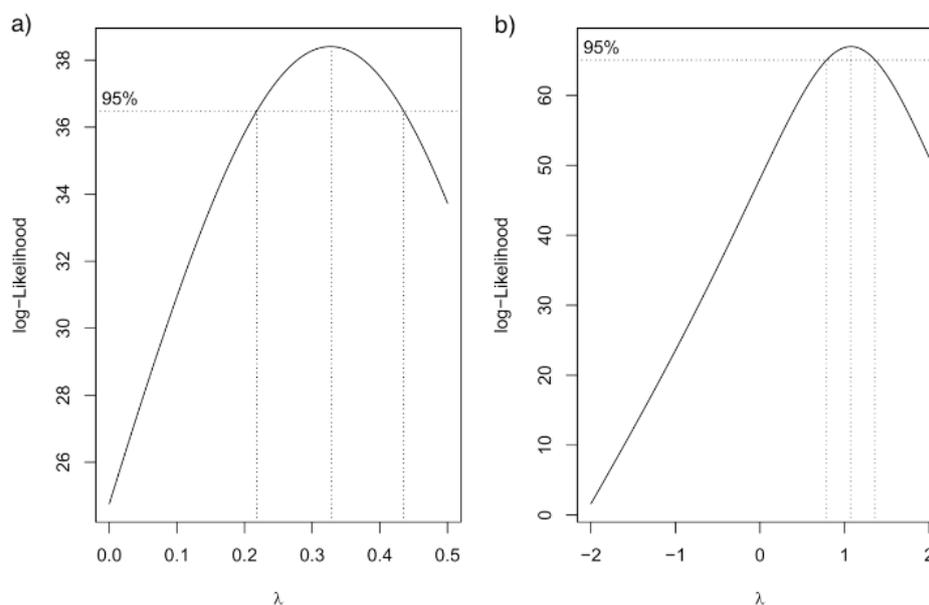


FIGURA 2. Gráfico de Box-Cox antes (a) e depois (b) da transformação da variável resposta estoque de carbono em Mg.ha⁻¹.

Após a transformação de Box-Cox, o modelo final foi reajustado com as variáveis anteriormente selecionadas (TABELA 2). O modelo final apresentou erro padrão residual de 0,4689 e conseguiu explicar boa parte da variabilidade do estoque de carbono, com um coeficiente de determinação ajustado de 96,99%. O ajuste do modelo foi significativo pelo teste F ($p < 2,2e-16$) e apresentou um REQM igual a 14,67%.

	Estimativa	Erro Padrão	Valor t	Pr (> t)
Intercepto	-2,3658	0,5654	-4,184	6,21e-05***
DAPmin	-0,2473	0,0746	-3,316	0,00128**
DAPmax	0,0844	0,0105	8,069	1,70e-12***
DAPmed	0,8234	0,0855	9,626	7,15e-16***
HTmed	-0,2296	0,1079	-2,128	0,03582*
N	0,2661	0,0118	22,553	<2e-16***

TABELA 2. Parâmetros do modelo final de regressão linear múltipla e suas significâncias. (***) significativo a 0,001 e * significativo a 0,05). DAPmin = diâmetro altura do peito (DAP) mínimo da parcela amostral (cm); DAPmax = DAP máximo da parcela amostral (cm); DAPmed = DAP médio da parcela amostral (cm); HTmed = altura total média da parcela amostral (m); N = número de árvores da parcela amostral.

Portanto, o modelo final para estimativa de Carbono em Mg.ha⁻¹ para a Floresta Estacional Semidecidual secundária em questão, com potencial para aplicação em outras florestas do mesmo tipo na região está apresentado na equação 2.

$$C = (-2,3658 - 0,2473 * DAPmin + 0,0844 * DAPmax + 0,8234 * DAPmed - 0,2296 * HTmed + 0,2661 * N) * 0,32 + 1)^{1/0,32} \quad (2)$$

Em que: C = estoque de carbono em Mg.ha⁻¹; DAPmin = DAP mínimo da parcela; DAPmax = DAP máximo da parcela; DAPmed = DAP médio da parcela; HTmed = Altura total média das árvores da parcela; N = Número de árvores da parcela.

A análise de resíduos do modelo de regressão final mostrou que os resíduos estão homogeneamente distribuídos e a correlação entre valores estimados e observados foi de 0,9855 (FIGURA 3).

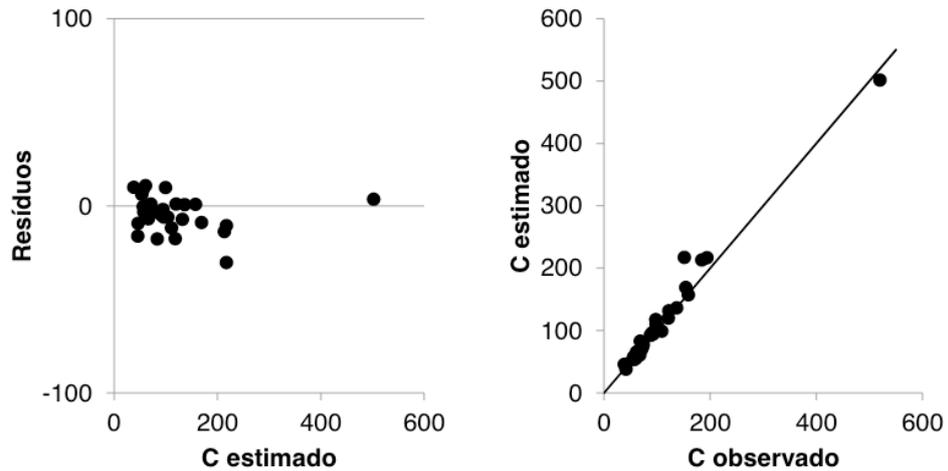


FIGURA 3. Gráfico de resíduos percentuais em função do estoque de carbono estimado pela regressão múltipla (a) e gráfico do estoque de carbono transformado estimado pela regressão múltipla em função do estoque de carbono observado (b).

Com relação à abordagem por redes neurais artificiais, verificou-se redução expressiva no valor de erro padrão residual. Enquanto o modelo linear múltiplo apresentou um valor de 0,4689, o valor apresentado pela RNA foi de 0,06193, o que representa uma redução de 86,79%. A FIGURA 4 ilustra a arquitetura da RNA selecionada que apresentou menor erro dentre as demais avaliadas, composta por seis neurônios na camada oculta.

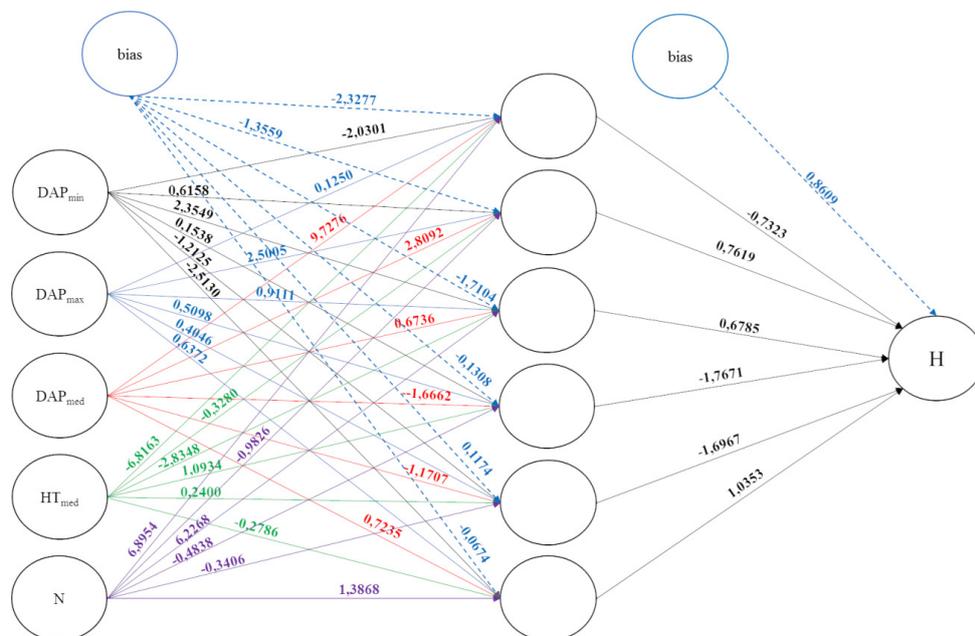


FIGURA 4. Arquitetura da rede neural artificial com menor erro dentre as avaliadas, composta por seis neurônios na camada oculta. Variáveis de entrada: DAP_{min} = DAP mínimo da parcela (cm); DAP_{max} = DAP máximo da parcela (cm); DAP_{med} = DAP médio da parcela (cm); HT_{med} = Altura total média das árvores da parcela (m); N = Número de árvores da parcela. Variável de saída: Carbono = estoque de carbono (Mg.ha⁻¹).

Os coeficientes do sistema de equações extraído (Equações 3) da rede neural artificial são apresentados na Tabela 3.

$$\text{Carbono}' = \beta_0 + \beta_1 * z_1 + \beta_2 * z_2 + \beta_3 * z_3 + \beta_4 * z_4 + \beta_5 * z_5 + \beta_6 * z_6 \quad (3)$$

$$z_n = \left[\frac{1}{1 + e^{-w_i}} \right]$$

$$w_i = \beta_{0,n} + \beta_{1,n} * DAP_{min_i}' + \beta_{2,n} * DAP_{max_i}' + \beta_{3,n} * DAP_{med_i}' + \beta_{4,n} * HT_{med_i}' + \beta_{4,n} * N_i'$$

em que: β_0 : bias; β_n : coeficiente do modelo associado ao neurônio n ; $\beta_{k,n}$: coeficiente do modelo entre a variável de entrada k e o neurônio n ; z_n : resposta do n -th neurônio da camada oculta; \sum : somatória dos produtos entre os pesos e das entradas.

	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
RNA	0,8609	-0,7323	0,7619	0,6785	-1,7671	-1,6967	1,0353
N1	-2,3277	2,0301	0,1250	9,7276	-6,8163	6,8954	-
N2	-1,3559	0,6158	2,5005	2,8092	-0,3280	-0,9826	-
N3	-1,7104	2,3549	0,9111	0,6736	-2,8348	6,2268	-
N4	-0,1308	0,1538	0,5098	-1,6662	1,0934	-0,4838	-
N5	0,1174	-1,2125	0,4046	-1,1707	0,2400	-0,3406	-
N6	-0,0674	-2,5130	0,6372	0,7235	-0,2786	1,3868	-

TABELA 3. Parâmetros (β 's) provenientes da rede neural artificial. N representa o número do neurônio

O modelo extraído da rede foi aplicado ao conjunto de dados destinados à

generalização e apresentou correlação 0,9979, indicando alta precisão entre as estimativas e os valores reais das variáveis analisadas (FIGURA 5). Ademais, a validação cruzada apontou um REQM de 5,99%.

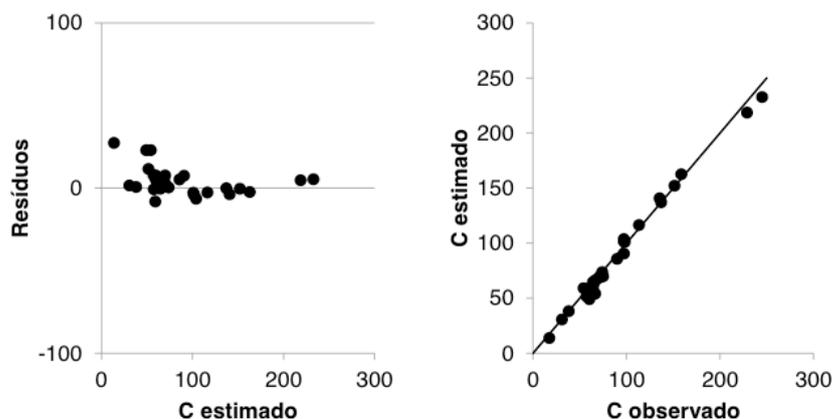


FIGURA 5. Gráfico de resíduos percentuais em função do estoque de carbono estimado pela rede neural artificial (a) e gráfico do estoque de carbono estimado pela rede neural artificial em função do estoque de carbono observado (b).

Assim, a rede neural apresentou desempenho superior ao da regressão múltipla, com menor REQM, maior correlação entre valores estimados e observados e melhor distribuição de resíduos. A RNA foi capaz de, com as variáveis disponíveis, explicar a variação do estoque de carbono na área de estudos quase em sua totalidade. Vários trabalhos têm demonstrado a superioridade das redes neurais artificiais quando comparadas a regressão linear múltipla (REFENES et al., 1994; VENDRUSCOLO et al., 2015; MARTINS et al., 2016). Essa superioridade se deve à capacidade das redes neurais de detectar implicitamente qualquer relação não-linear existente entre a variável resposta e as variáveis explicativas. Outras vantagens são o fato de não haver pressuposições necessárias, como independência e normalidade dos dados, e a sua grande capacidade de aprendizado e generalização.

É válido ressaltar que, embora com desempenho inferior ao da RNA, a regressão múltipla foi muito eficiente na estimativa de estoque de carbono na área de estudos. A transformação de Box-Cox proporcionou muitos ganhos na modelagem. Quando a distribuição normal não se adequa aos dados, como foi o caso dos dados analisados, o estimador da regressão apresenta viés, com resíduos heterocedásticos e não normais. Box e Cox (1964) afirmam que após a transformação adequada das observações, os valores esperados das observações transformadas estarão normalmente distribuídos e com variância constante.

A pequena parte da variação no estoque do carbono não explicada pelas variáveis em questão se deve aos vários fatores não considerados no presente estudo que sabidamente afetam a variabilidade do estoque de carbono em florestas, como a diversidade de espécies, o tamanho da floresta, o grau de antropização, dentre vários outros e suas interações (FERREIRA et al., 2018). Ainda assim, ambas as abordagens

foram capazes de explicar grande parte da variação do estoque de carbono na área estudada. Isso se deve principalmente às variáveis utilizadas na modelagem. Variáveis dendrométricas apresentam grande vantagem em relação a variáveis ambientais na modelagem do estoque de carbono, pois representam a própria expressão dos efeitos ambientais nas árvores.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo traz importantes contribuições na modelagem do estoque de carbono em florestas, por meio da comparação de diferentes abordagens na modelagem dessa variável. Um modelo de regressão múltipla do estoque de carbono em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ é apresentado, com potencial de aplicação em outras Florestas Estacionais Semidecíduais secundárias da região. Tal modelo apresentou um ótimo desempenho, que se deveu principalmente aos ganhos da transformação de Box-Cox aplicada à variável resposta. A modelagem do estoque de carbono por meio de redes neurais artificiais apresentou ainda melhor desempenho que a regressão múltipla, utilizando as mesmas variáveis do modelo de regressão clássica.

A determinação, modelagem e fornecimento de dados de estoque de carbono em florestas é uma forte demanda científica e social atual, uma vez que a estocagem de carbono nas árvores é considerada um serviço ambiental chave na mitigação das mudanças climáticas atuais, pelo sequestro de CO_2 da atmosfera.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (PPGEF-UFLA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. D. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211–252, 1964.

CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 2014.

DUNCANSON, L. et al. The Importance of Consistent Global Forest Aboveground Biomass Product Validation. **Surveys in Geophysics**, n. 0123456789, p. 1-21, 2019.

GÜNTHER, F.; FRITSCH, S. neuralnet: Training of Neural Networks. **The R Journal**, v. 2, n. 1, p.

30–38, 2010.

MARQUES, R. F. P. V. et al. Rainfall Water Quality Under Different Forest Stands. **Cerne**, v. 25, n. 1, p. 8–17, 2019.

MARTINS, E. R., BINOTI, M. L. M. S., LEITE, H. G., BINOTI, D. H. B. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do afilamento do fuste de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 33–38, 2016.

MELO, E. A. et al. Modelagem não Linear da Relação Hipsométrica e do Crescimento das Árvores Dominantes e Codominantes de Eucalyptus sp. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1325–1338, 2017.

NASCIMENTO, M. I. et al. Eficácia de barreira de eucaliptos na contenção do efeito de borda em fragmento de floresta subtropical no estado de São Paulo, Brasil The effectiveness of Eucalyptus barrier in containing the edge effect on a subtropical forest fragment in the state of. **Scientia Florestalis**, v. 38, n. 86, p. 191–203, 2010.

PUGH, T. A. M. et al. Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 116, n. 10, p. 4382–4387, 2019.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. ViennaR Foundation for Statistical Computing, 2018.

REFENES, A. N.; FRANCIS, G.; ZAPRANIS, A. D. Stock performance modeling using neural networks: A comparative study with regression models. **Neural Networks**, v. 7, n. 2, p. 375–388, 1994.

RÉJOU-MÉCHAIN, M. et al. biomass: an r package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 9, p. 1163–1167, 2017.

SCHEFFER, M.; BROVKIN, V.; COX, P. M. Positive feedback between global warming and atmospheric CO₂ concentration inferred from past climate change. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 10, p. 2–5, 2006.

SCOLFORO, H. F. et al. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian Biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-arid woodland. **PLoS ONE**, v. 10, n.6, p. 1-20, 2015.

SILVEIRA, E. M. O. et al. Pre-stratified modelling plus residuals kriging reduces the uncertainty of aboveground biomass estimation and spatial distribution in heterogeneous savannas and forest environments. **Forest Ecology and Management**, v. 445, n. May, p. 96–109, 2019a.

SILVEIRA, E. M. O. et al. Estimating Aboveground Biomass Loss from Deforestation in the Savanna and Semi-arid Biomes of Brazil between 2007 and 2017. **Tropical Forests in Transition - The Role of Deforestation and Impacts from Community Composition to Regional Climate Change [Working Title]**, p. 1–17, 2019b.

SORIANO-LUNA, M. DE LOS Á. et al. Determinants of above-ground biomass and its spatial variability in a temperate forest managed for timber production. **Forests**, v. 9, n. 8, p. 1–20, 2018.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: A synthesis. **Forests**, v. 3, n. 2, p. 332–352, 2012.

VENDRUSCOLO, D. G. S. et al. Estimativa Da Altura De Eucalipto Por Meio De Regressão Não Linear E Redes Neurais Artificiais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 4, p. 556–569, 2015.

EXTRAÇÃO DE LIPÍDEOS DA MICROALGA *Nannochloropsis oculata* CULTIVADA COM VARIAÇÃO DE NITRATO DE SÓDIO NO MEIO DE CULTURA

José William Alves da Silva

Professor Doutor do IFCE – Aracati. CEP. 62800-000, Aracati – CE

Susana Felix Moura dos Santos

Graduanda Eng. Aquicultura do IFCE – Aracati. CEP. 62800-000, Aracati – CE.

Illana Beatriz Rocha de Oliveira

Graduanda Eng. Aquicultura do IFCE – Aracati. CEP. 62800-000, Aracati – CE.

Ana Claudia Teixeira Silva

Graduanda Eng. Aquicultura do IFCE – Aracati. CEP. 62800-000, Aracati – CE.

Glacio Souza Araujo

Professor Doutor do IFCE – Aracati. CEP. 62800-000, Aracati – CE.

Emanuel Soares dos Santos

Professor Doutor do IFCE – Aracati. CEP. 62800-000, Aracati – CE.

Renato Teixeira Moreira

Professor Doutor do IFCE – Morada Nova. CEP. 62940-000, Morada Nova – CE.

Dilliani Naiane Mascena Lopes

Doutoranda RENORBIO/UFC. CEP; 60356-000, Fortaleza – CE.

RESUMO: A *Nannochloropsis oculata* microalga marinha, utilizada como alimento na aquicultura. O objetivo do trabalho foi cultivar e avaliar o rendimento de biomassa de *N. oculata* após floculação química e secagem em estufa. O cultivo foi realizado em frascos

de 8 L com três repetições, na salinidade de 27, iluminância de 10.000 lux, temperatura de 28 °C, pH $9,17 \pm 0,51$ na fase estacionária e pH $8,68 \pm 0,015$ na fase de morte, usando o Guilard f/2 como meio de cultivo. A curva de crescimento foi acompanhada, a cada dois dias, com a determinação da densidade óptica a 680 nm (DO_{680nm}) em espectrofotômetro. Para separação do meio de cultivo das células foi utilizado o método de floculação química, através da adição de NaOH 2N. Após a separação dos flocos, realizou-se a lavagem das células com água destilada para retirada do sal e secagem da biomassa em estufa a 60 °C. O acompanhamento do crescimento do cultivo foi realizado diariamente, sendo o tratamento com maior quantidade de nitrato no meio o que apresentou maior curva de crescimento, já quanto ao rendimento lipídico o melhor resultado foi com a menor quantidade de nitrato no meio de cultura.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa; Cultivo; Lipídio.

LIPIDS EXTRACTION FROM MICROALGA
NANNOCHLOROPSIS OCULATA
CULTIVATED WITH SODIUM NITRATE
VARIATION IN CULTURE.

ABSTRACT: *Nannochloropsis oculata*

microalgae, used as food in aquaculture. The objective of this work was to cultivate and evaluate *N. oculata* biomass yield after chemical flocculation and oven drying. Cultivation was performed in 8 L flasks with three repetitions, at salinity of 27, illuminance of 10,000 lux, temperature of 28 °C, pH 9.17 ± 0.51 in the stationary phase and pH 8.68 ± 0.015 in the death phase. , using Guillard f / 2 as a cultivation medium. The growth curve was followed every two days by determining the optical density at 680 nm (OD_{680nm}) in a spectrophotometer. To separate the culture medium from the cells, the chemical flocculation method was used, by the addition of NaOH 2N. After flake separation, the cells were washed with distilled water to remove the salt and dry the biomass in an oven at 60 °C. Cultivation growth was monitored daily, and the treatment with the highest amount of nitrate in the medium presented the highest growth curve. The best result was the lowest amount of nitrate in the culture medium.

KEYWORDS: Biomass; Cultivation; Lipid

1 | INTRODUÇÃO

A *Nannochloropsis oculata* é uma espécie de microalga marinha unicelular capaz de absorver radiação solar e dióxido de carbono, na presença de nutrientes orgânicos, para realização da fotossíntese e incrementar sua densidade algal. Possui alto teor lipídico, sendo uma promissora espécie, dentre outras, para a produção de biodiesel, é utilizada também como alimento na aqüicultura, principalmente na fase larval de peixes e crustáceos devido a sua facilidade e velocidade de cultivo, e possuir tamanho pequeno, sendo compatível com o mecanismo alimentar das larvas (DERNER *et al.*, 2006).

Dentre os fatores físicos e químicos que interferem no crescimento das microalgas, os principais são a luz, temperatura, salinidade, disponibilidade e qualidade dos nutrientes (RICHMOND, 2004). A interação das microalgas com o meio de cultivo e com o próprio ambiente físico do cultivo resulta em alterações na densidade celular, que tende a aumentar exponencialmente a partir da inoculação. Por outro lado, as concentrações dos nutrientes dissolvidos no meio de cultivo tendem a diminuir com sua multiplicação, podendo chegar à exaustão completa, dependendo do tempo de desenvolvimento da cultura, causando estresse nas mesmas (LOURENÇO, 2006).

Converti *et al.* (2009) estudaram os efeitos da concentração de nitrogênio no rendimento lipídico de uma cepa da microalga *N. oculata* e quando a concentração inicial de nitrogênio no meio de cultivo foi reduzida em 75%, foi verificado um aumento em cerca de 48% no teor lipídico dessa espécie. O trabalho teve como objetivo determinar o rendimento lipídico da biomassa seca da microalga *Nannochloropsis oculata* cultivada com redução da quantidade de nitrato de sódio no meio de cultura.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

As quantidades de nitrato de sódio utilizadas foram 15; 30; 45; 60 e 75 mg L⁻¹, mantendo constantes as quantidades dos outros nutrientes do meio Guillard f/2 (1975). Trezentos mililitros de um cultivo pré-estabelecido foram utilizados como inóculo em um recipiente de três litros úteis. Posteriormente, o volume foi completado com meio Guillard f/2 contendo 75 mg L⁻¹. Após o desenvolvimento do novo inóculo, acompanhado através das densidades óptica (DO_{680nm}) e celular da cultura (cels. mL⁻¹), alíquotas (300 mL) do mesmo foram utilizadas para iniciar os cultivos nas diferentes quantidades de nitrato de sódio. Os cultivos estacionários foram realizados, em triplicata, dentro de recipientes de três litros submetidos à aeração constante através de bombas de diafragma, luminosidade de 60 µE cm⁻² s⁻¹ e temperatura de 28 ± 1 °C.

A densidade óptica foi determinada diariamente, utilizando um espectrofotômetro a 680 nm. Ao final dos cultivos, utilizou-se uma solução de NaOH 2N para a das microalgas e sua separação do meio de cultura (ARAUJO *et al.*, 2011), sendo a biomassa lavada com água destilada e seca em estufa a 60 °C por 24 horas (RODRIGUES *et al.*, 2009).

A extração de lipídios foi realizada pelo método de Bligh & Dyer (1959), onde foram adicionados à biomassa seca da microalga (5 g), em triplicata, em um erlenmeyer de 250 mL, 25 mL de metanol, 12,5 mL de clorofórmio e 5 mL de água. O erlenmeyer foi tampado e posto para sonicar durante 40 minutos, em banho ultrasônico com frequência de 40 KHz e potência de 80 W. Em seguida, foram adicionados mais 12,5 mL de clorofórmio e 12,5 mL de solução de sulfato de sódio 1,5% e realizada outra sonicação com duração de 20 minutos. A parte sólida foi filtrada a vácuo e posteriormente seca em estufa a 105 °C durante 24 horas.

Os valores referentes às densidades celulares finais das microalgas cultivadas com diferentes quantidades de nitrato de sódio, bem como os rendimentos de óleo obtidos das respectivas biomassas secas foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e, no caso de diferença significativa, submetidos ao teste *t* para médias ao nível de 5% utilizando o programa Microcal Origin versão 6.0.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 mostra as curvas de crescimento da microalga *N. oculata* cultivada em diferentes quantidades de nitrato de sódio durante um período de cinco dias.

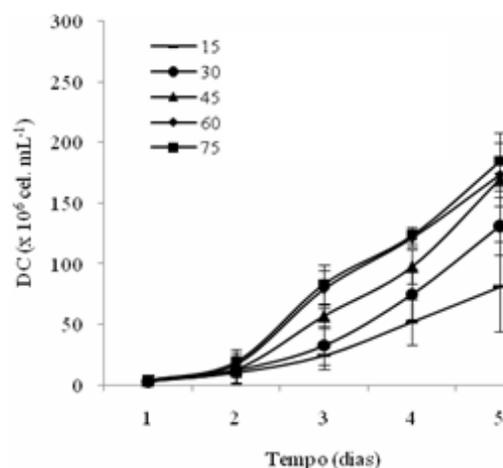


Figura 1 - Curvas de crescimento da microalga *N. oculata* expressas em termos de densidade celular (cels. mL⁻¹) por dia de cultivo, nas quantidades de 15; 30; 45; 60 e 75 mg L⁻¹ de nitrato de sódio.

Fonte: Autor

A cultura realizada com a maior quantidade de nitrato de sódio no meio de cultivo (75 mg L⁻¹) apresentou um crescimento populacional (cels. mL⁻¹) significativamente superior aos outros cultivos. Apesar da cultura realizada na menor quantidade de nitrato de sódio (15 mg L⁻¹) ter apresentado o menor incremento populacional, foi a que resultou no maior teor de lipídeos na biomassa seca. O teor de lipídeos na biomassa de *N. oculata* foi significativamente reduzido com o aumento da quantidade de nitratos no meio de cultivo (Tabela 1).

	Nitrato de sódio (mg L ⁻¹)				
	15	30	45	60	75
Densidade celular (cels. mL ⁻¹)	80,96±12,54a	130,96±9,95b	169,56±9,67c	173,36±11,74c	202,17±8,44d
Rendimento de óleo (%)	49,41±0,14 ^a	35,68±0,12b	31,21±0,58c	26,77±0,36d	23,36±0,15e

Tabela 1 - Densidades celulares (cels. mL⁻¹) finais das microalgas cultivadas com diferentes quantidades de nitrato de sódio e respectivos rendimentos de óleo (%) na biomassa seca.

Fonte: Autor

*Letras diferentes indicam diferença significativa

Rodolfi *et al.* (2009) cultivaram a microalga *Nannochloropsis* sp. em fotobioreatores de 110 L sob luz solar direta variando a concentração de nitrogênio. Os autores observaram uma redução de 16,7% no crescimento de biomassa quando a referida microalga foi cultivada com depleção de nitrogênio, resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho para a espécie *N. oculata*.

A taxa de crescimento populacional e a produção de óleo também estão relacionadas diretamente com a concentração de nutrientes presentes no meio de cultivo

das microalgas. O nitrogênio tem um papel importante no controle da produtividade desses organismos e existe uma determinada concentração de nitrogênio em que a biomassa e a produção de lipídios podem ser maximizadas (De La HOZ *et al.*, 2011).

Neste trabalho, a cultura realizada com 45 mg L⁻¹ de nitrato de sódio resultou em um bom crescimento populacional e também aumentou significativamente o teor de lipídeos na biomassa seca de *N. oculata*.

4 | CONCLUSÃO

A microalga *Nannochloropsis oculata* produz mais lipídeos com a redução da quantidade de nitrato de sódio no meio de cultura, no entanto essa redução pode diminuir significativamente a densidade celular.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO G. S.; MATOS L. J. B. L.; GONÇALVES L. R. B.; FERNANDES F. A. N. Bioprospecting for oil producing microalgal strains: Evaluation of oil and biomass production for ten microalgal strains. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 8, p. 5248-5250, Apr 2011.
- BLIGH, E.G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, v. 37, n. 8, p. 911-917, Aug 1959.
- CONVERTI, A. *et al.* Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. **Chemical Engineering and Processing**, v. 28, n. 6, p. 1146-1151, 2009.
- De La HOZ, S.; BEN-ZVI, A.; BURRELL, R.E.; McCAFFREY, W.C. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 10, p. 5764-5774, 2011.
- DERNER R. B.; OHSE S.; VILLELA M.; CARVALHO S. M.; FETT R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1959-1967, nov-dez, 2006.
- GUILLARD, R. R. L. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: **Culture of marine invertebrate animal**. SMITH, W. L.; CHANLEY, M. H. (eds.). New York: Plenum Publishing, p. 29-60, 1975.
- LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, v. 1, p. 295-315, 2006.
- RICHMOND, A. **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell, 2004.
- RODOLFI, L. *et al.* Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 102, n. 1, p. 100-112, 2009.
- RODRIGUES, J. A. G.; SOUSA JR., J.; LOURENÇO J. A.; LIMA P. C. W. C.; FARIAS, W. R. L. Cultivo de camarões tratados com polissacarídeos sulfatados da rodófitocea *Halymenia pseudofloresia* mediante uma estratégia profilática. **Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 1, p. 71-78, jan., 2009.

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

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Departamento de Educação e Tecnologia/ Núcleo de Eletricidade
Juiz de Fora - MG

Giovana Franco Valadão

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Graduanda em Engenharia Mecatrônica
Juiz de Fora - MG

Elias Gabriel Magalhães Silva

Universidade Federal do Paraná, Mestrando em Bioenergia
Palotina – PR.

Helen Ribeiro Rodrigues

Universidade Federal de Viçosa, Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo / Planejamento Urbano e Regional
Viçosa - MG

Márcio do Carmo Barbosa Poncilio Rodrigues

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Departamento de Educação e Tecnologia/ Núcleo de Eletrônica e Automação
Juiz de Fora - MG

Augusto Cesar Laviola de Oliveira

Universidade Federal de Viçosa, Mestrando em Engenharia Agrícola
Viçosa – MG.

RESUMO: As mesorregiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes, situadas em Minas Gerais, possuem uma produção elevada de proteína animal no que se refere a aves e suínos. A produção dessa proteína gera uma grande quantidade de resíduos, que podem ser prejudiciais caso não tenham uma correta destinação. O trabalho tem como objetivo mostrar o potencial energético desse resíduo para a produção de energia, dando a ele uma correta destinação e auxiliando na diversificação da matriz energética da região. Foi estimado que os resíduos suínos têm potencial de produção de 15.096,41 a 30.192,83 MW/ano e os resíduos de frango, de 1.697,47 a 3.394,94 MW/ano. Além disso, foi analisado o potencial da região como produtora de tecnologia e de profissionais capacitados, devido à grande produção desses animais e à presença de diversos campi do IF SUDESTE MG e de Universidades. Portanto, foi possível concluir que essas mesorregiões têm potencial para a produção de energia elétrica e para se tornar um polo tecnológico de conhecimento e de capacitação.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento Sustentável; Biogás; Potencial Energético.

GENERATION OF ELECTRIC ENERGY
THROUGH WASTE OF ANIMAL PROTEIN
PRODUCTION IN THE ZONA DA MATA AND

ABSTRACT: The mesoregions of the Zona da Mata and Campo das Vertentes, located in Minas Gerais, have a high production of animal protein in poultry and swine. The production of this protein generates a great amount of residues, which can be harmful if they do not have a correct destination. The work aims to show the energy potential of this waste for energy production, giving it a correct destination and helping diversify the energy matrix of the region. It was estimated that pig residues have a production potential of 15,096.41 to 30,192.83 MW / year and chicken residues, from 1,697.47 to 3,394.94 MW / year. In addition, the potential of the region as a technology producer and trained professionals was analyzed, due to the large production of these animals and the presence of several IFSUDESTE MG and University campuses. Therefore, it was possible to conclude that these mesoregions have the potential for the production of electric energy and to become a technological pole of knowledge and capacity building.

KEYWORDS: Sustainable Development; Biogas; Energy Potential.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma grande vocação na produção agrícola mundial, principalmente devido às suas condições climáticas favoráveis e à grande fertilidade de suas terras. Quando analisamos o cenário da produção mundial de proteína animal, ganhamos destaque principalmente na produção de frango e suínos. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2016), a produção mundial de carne de frango em 2016 foi de 88718 mil toneladas, sendo que apenas o Brasil foi responsável por produzir 12900 mil toneladas, sendo o segundo maior produtor neste ano, com cerca de 14,5% da produção mundial. Na produção de suínos, o Brasil em 2016 foi o quarto maior produtor mundial, tendo produzido 3731 mil toneladas de carne suína.

Devido à grande produção de proteína animal, são criados também altos volumes de resíduos líquidos e sólidos, que, apesar de existirem formas de consumi-los, na maioria das vezes são dispensados na natureza de forma incorreta. Os efluentes líquidos dessas produções possuem uma elevada carga orgânica e, se descartados de forma inadequada em corpos d'água, reduzem o oxigênio destes e ocasionam a diminuição ou até mesmo a morte dos seres aquáticos, ocasionando perdas na fauna e na flora e conseqüente desequilíbrio ambiental (FEISTEL, 2011). Além disso, perde-se uma biomassa com um excelente valor energético associado.

Minas Gerais apresenta uma importante contribuição para o plantel brasileiro de produção de frango de corte e suínos, sendo o quarto maior produtor de proteína animal do país (EMBRAPA, 2017). As mesorregiões da Zona da Mata e do Campo das Vertentes de Minas Gerais, apesar de possuírem atividades econômicas bastante diversificadas, têm a produção de frangos de corte e suinocultura como atividades de grande relevância que contribuem de forma direta para a economia regional e nacional, possuindo, portanto, potencial para a utilização energética dos

resíduos dessas atividades.

A demanda total de energia de Minas Gerais correspondeu, em 2015, a cerca de 12% da demanda total de energia no país, tendo crescido a uma taxa média de 2,3% ao ano desde 1978 e, além disso, o estado importou cerca de 61,1% da sua energia. O setor agropecuário representa 2,6% desta demanda, sendo que cerca de 58,7% do suprimento de energia desse setor é realizado por fontes não renováveis, como petróleo, gás natural e derivados (CEMIG, 2017). Dessa forma, torna-se notável a relevância do uso de formas alternativas para a produção de energia na região suprimindo as próprias necessidades e se tornando, a longo prazo, um polo gerador de energia elétrica.

Um marco importante que cria incentivos ainda maiores para o aproveitamento desse tipo de fonte para a produção de energia elétrica, principalmente por parte dos produtores rurais, é a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012. Essa normativa define limites e autoriza a micro e mini geração distribuída de energia elétrica por qualquer consumidor brasileiro, desde que para isso utilize fontes renováveis ou cogeração qualificada, e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição da concessionária de energia elétrica local (ANEEL, 2012).

Diante desse cenário, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial de aproveitamento energético nas mesorregiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes de Minas Gerais para o aproveitamento dos resíduos da avicultura e suinocultura com a finalidade de produção de energia elétrica. Além disso, pretende-se caracterizar as regiões como possíveis polos de desenvolvimento de tecnologia, conhecimento e capacitação dessa fonte energética.

2 | METODOLOGIA

Alguns fatores importantes foram levados em consideração na criação da nota técnica: fatores ambientais para a correta disposição desses dejetos, fatores econômicos como a venda do excedente de produção para as grandes concessionárias de energia e sociais para o produtor na melhora da qualidade de vida e diminuição dos gastos com energia elétrica.

Dessa forma, para confecção do trabalho foram utilizados levantamentos de dados oficiais em órgãos governamentais e associação do setor de produção de proteína animal, para estimar a produção de suínos e frangos de corte da região Sudeste de Minas Gerais. Para a caracterização dos dejetos da suinocultura e da avicultura em relação ao seu uso como biomassa energética, foram utilizadas pesquisas em referências bibliográficas especializadas. Foram levantados também as principais rotas de conversão desses resíduos em energia elétrica, sendo discutidos os mais adequados para cada tipo.

Foi utilizado a metodologia disponível no Atlas de Biomassa de Minas Gerais feito

pela CEMIG (REIS & REIS, 2017). Uma outra caracterização feita, foi em relação a propensão da região como polo de desenvolvimento tecnológico e capacitação dessa forma de energia renovável.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com levantamento de dados no IBGE (2017), sobre o efetivo do rebanho de frango e de suínos do estado de Minas Gerais por mesorregião, pode-se observar o significativo volume de produção da Zona da Mata e do Campo das Vertentes no cenário mineiro.

Na figura 1 é possível observar a distribuição da criação de frango nas Mesorregiões analisadas.

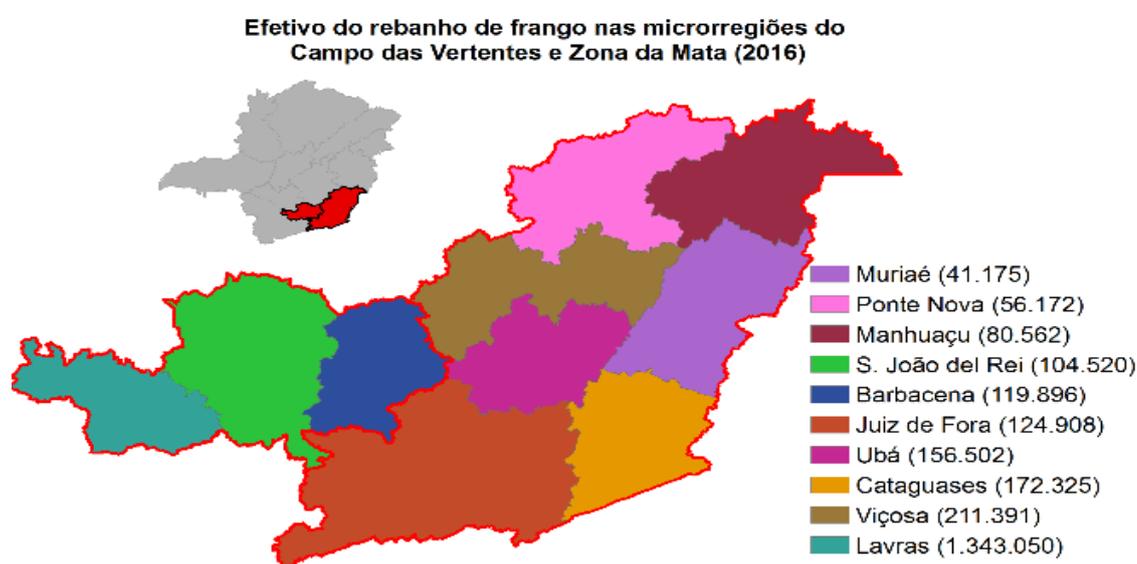


Figura 1 - Efetivo do rebanho de Frango 2016.

Fonte: Confeccionado pelos autores com dados do (IBGE, 2017)

De acordo com Dalólio et al (2017) em seu trabalho o volume estimado de cama de frango gerado na Zona da Mata Mineira foi de 78.624 ton/ano sendo que estes resíduos são dispostos no meio ambiente de forma aleatória, caracterizados como passivos ambientais.

Quanto à criação de suínos, Minas Gerais está entre os principais estados produtores do país, com uma parcela de 16% do plantel nacional (ABCS, 2017). Segundo ABCS (2017), a Zona da Mata Mineira representa uma boa parcela dessa participação, sendo um dos polos de suinocultura independente do Brasil mais importantes. Esta região mineira responsável por 21% do rebanho total de Minas

Gerais – com um efetivo em cabeças de 1,08 milhão a 1,95 milhão. A região dos Campos das Vertentes figura também com uma das mais importantes.

A Zona da Mata e Campo das Vertentes têm uma tradição na suinocultura, principalmente nas imediações da cidade Ponte Nova. Duas associações foram criadas para dar suporte a esse desenvolvimento sendo elas a Associação dos Suinocultores do Vale do Piranga (Assuvap) e a Cooperativa de Suinocultores de Ponte Nova e Região (Coosuiponte) (ABCS, 2017). A distribuição do plantel nessas regiões pode ser observada na Figura 2.



Figura 2 - Efetivo de Rebanho de Suínos

Fonte: Confeccionado pelos autores com dados do (IBGE, 2017)

Os resíduos provenientes de animais são capazes de gerar biogás, uma mistura gasosa combustível, constituída principalmente de metano e gás carbônico, através do processo de digestão anaeróbica. Esse processo é realizado em biodigestores onde a matéria orgânica é decomposta por bactérias e gera o biogás e um substrato que pode ser utilizado como biofertilizante (PRATI, 2010).

O gás metano será a base para a combustão do biogás. Para calcular o volume de metano gerado por cada produção, foi utilizada a equação 1 disponibilizada no Atlas da Biomassa (REIS & REIS, 2017):

$$m^3 \text{ metano} = 365 \text{ dias} \times N \text{ animais} \times E_t \times P_b \times CH_4 \times V_E \quad (1)$$

Em que E_t é a quantidade de resíduo produzida por dia, P_b a produção de biogás (kg de biogás/kg de esterco), CH_4 a concentração de metano no biogás (kg de metano por kg de biogás) e V_E o volume específico do metano, que é de 1,492 m³/kg. Utilizando os dados aqui já apresentados e os dados fornecidos pelo Atlas da Biomassa, chegamos aos seguintes resultados apresentados na Tabela 1.

	Suínos	Frangos
Número de animais	1.383.078	2.410.501
Et	2,25	0,18
Pb	0,062	0,055
CH4	0,66	0,6
m ³ de Metano	69.346.813	7.797.501

Tabela 1 - Volume de metano produzido para suínos e frangos

Fonte: Confeccionada pelos autores.

Para a conversão do biogás em energia elétrica, a energia química é convertida, através de uma combustão controlada, em energia mecânica e esta, por sua vez, é convertida em energia elétrica através de um gerador. As tecnologias mais utilizadas para essa conversão são as turbinas e microturbinas a gás, os motores de combustão interna de Otto e os de ciclo Diesel. Nos motores de Diesel é necessário acrescentar diesel com baixo teor de enxofre. As microturbinas podem trabalhar com potências de 30 a 100 kW, as turbinas, de 500 kW a 150 MW, os motores de Otto, de 30 kW a 20 MW, enquanto o de Diesel não possui informação de faixa de potência específica, mas possui motores comerciais adequados à utilização com biogás de 630 kW e 314 kW, por exemplo. Ademais, o tempo de vida das turbinas e microturbinas é longo e o dos motores, curto (LIMA; PASSAMANI, 2011).

Para calcular o potencial de energia elétrica (P) desses efluentes em (MW/Ano), foi utilizada a equação 2, baseada no Atlas da Biomassa (REIS & REIS, 2017):

$$P = \frac{m^3 \text{ metano} \times 0,67 \times PCI \times n}{(p \times 8322 \times 860)} \quad (2)$$

Em que é utilizado o volume de metano já encontrado, o Poder Calorífico Inferior (PCI) do gás, que é de 8.604 kcal/m³, n é a eficiência da rota de conversão em energia elétrica, encontrada em (LIMA; PASSAMANI, 2011) e p a densidade, que é de 0,74 kg/m³. Com isso, chegamos aos seguintes resultados:

Rota	n (%)	Potencial (MW/ano)
Turbinas a gás	20 - 30	15.096,41 - 22.644,62
Microturbinas a gás	24 - 28	18.115,7 - 21.134,98
Ciclo Otto	30 - 35	22.644,62 - 26.418,73
Ciclo Diesel	30 - 40	22.644,62 - 30.192,83

Tabela 2 - Potencial de Produção de energia elétrica da suinocultura.

Fonte: Confeccionada pelos autores.

Rota	n (%)	Potencial (MW/ano)
Turbinas a gás	20 - 30	1.697,47 - 2546,21
Microturbinas a gás	24 - 28	2.036,97 - 2.376,46
Ciclo Otto	30 - 35	2.546,21 - 2.970,58
Ciclo Diesel	30 - 40	2.546,21 - 3.394,94

Tabela 3 - Potencial de produção de energia elétrica na avicultura

Fonte: Confeccionada pelos autores.

Na região analisada, há a presença de 10 campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG), uma instituição de educação superior, básica e profissional que tem por objetivo desenvolver e ofertar a educação técnica e profissional a fim de formar e qualificar cidadãos com atuação em diversos setores da economia, visando o desenvolvimento socioeconômico da região e da nação (IFSUDESTEMG, 2017). Vale destacar também a presença da Universidade Federal de Viçosa que possui um Laboratório para pesquisas em torno do potencial energético dos diversos tipos de Biomassa.

Na tabela 4 são exibidas as cidades que possuem Institutos e Universidades Federais que ofertam cursos em áreas relacionadas à produção pecuária e/ou a utilização dos resíduos para a produção energética.

Institutos Federais	
Cidade	Cursos
Muriaé	Técnico em eletrotécnica
Barbacena	Técnico em agropecuária e graduação em agronomia
Juiz de Fora	Técnicos em eletromecânica e eletrotécnica e graduação em Engenharia Mecatrônica
Rio Pomba	Técnicos em agropecuária e zootecnia, graduação em zootecnia e pós-graduação <i>strictu sensu</i> mestrado profissional em nutrição e produção animal
Santos Dumont	Técnico em eletrotécnica
Universidades Federais	
Juiz de Fora	Graduação em Engenharia Elétrica/Engenharia Ambiental
Viçosa	Graduações e pós graduação na área de Ciências Agrárias e graduação em várias Engenharias
São João Del Rei	Graduações em Engenharia Elétrica e Zootecnia
Lavras	Graduações e pós graduação na área de Ciências Agrárias e graduação em várias Engenharias

Tabela 4 - Institutos e Universidades Federais da Zona da Mata e Campo das Vertentes

Fonte: (IFSUDESTEMG, 2017), (UFJF, 2017), (UFV, 2017), (UFSJ, 2017)

4 | CONCLUSÃO

O presente estudo pode comprovar que a produção de suínos e frangos na região

da Zona da Mata e do Campo das Vertentes é suficiente para justificar o investimento na transformação dos resíduos em energia elétrica, tendo maior rendimento através do ciclo Otto. Verifica-se na região grandes possibilidades de capacitação e desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, devido a seu grande número de universidades e institutos de grande tradição. Espera-se que esse e demais estudos acerca do potencial energético da biomassa possam despertar o interesse de setores públicos e privados para que os resíduos orgânicos sirvam para a geração de energia.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IF SUDESTE MG campus Juiz de Fora, através da Diretoria de Pesquisa pelo apoio prestado e a todas as pessoas que colaboraram direta ou indiretamente para a construção deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABCS. Associação Brasileira dos Criadores de Suínos, 2017. Disponível em: <<http://www.abcs.org.br/>>. Acesso em: 30 set. 2017.

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2016**. São Paulo: s/ed., p. 133. 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, **Resolução normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2018;

CEMIG. **31º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais - BEEMG 2016: ano base 2015**/ Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2017. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/BEEMG.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2018.

DALÓLIO, F. S. et al. Cama de frango e resíduo moveleiro: alternativa energética para a Zona da Mata mineira. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 03, p. 261-271, 2017. ISSN 2175-6813.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Suínos e Aves - Central de Inteligência de Aves e Suínos**, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>>. Acesso em: 30 set. 2017.

FEISTEL, J. C. **Tratamento e destinação de resíduos e efluentes de matadouros e abatedouros**. 2011, 37 f. Seminário (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás: Goiânia, GO, 2011. Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/67/o/semi2011_Janaina_Costa_2c.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016, **Indicadores agropecuários**. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/default.sht>>. Acesso em: 30 maio. 2018.

IFSUDESTEMG. **Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais**, 2017. Disponível em: <<https://www.ifsudestemg.edu.br/institucional>>. Acesso em: 30 set. 2017.

LIMA, A. C. G.; PASSAMANI, F. C. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES**. 2012, 106 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2012. Disponível em: <http://www.ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_potencial_energetico_do_biogas_produzido_no_reator_uasb_da_ete-ufes_reduzido.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2018.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 2010, 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

REIS, R. J. dos; REIS, L. S. dos (org.). **Atlas de Biomassa de Minas Gerais**, Belo Horizonte: Rona Gráfica e Editora, 2017.

UFJF. **Cursos de Graduação – Universidade Federal de Juiz de Fora**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/cat/graduacao/cursos/>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

UFSJ. **Cursos oferecidos – Universidade Federal de São João Del Rei**. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/vestibular/cursos_oferecidos.php>. Acesso em: 26 jun. 2018.

UFV. **Universidade Federal de Viçosa**. Disponível em: <<https://www.ufv.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

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, β -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.

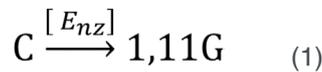
Variáveis	Nível -1,414	Nível -1	PC 0	Nível +1	Nível +1,414
T (° C)	43	45	50	55	57
t(h)	0,172	1	3	5	5,828

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 ⁻¹	PR g L ⁻¹ h ⁻¹
-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 2² + 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.

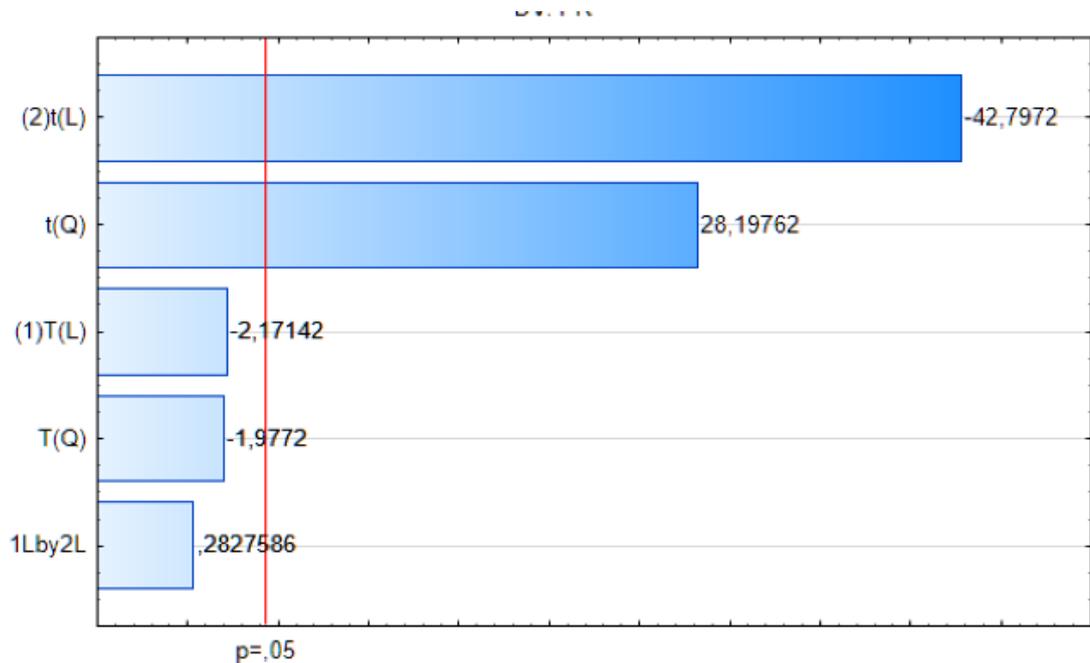


Figura 1. Estimativa dos Efeitos Padronizados (Valor absoluto)

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.

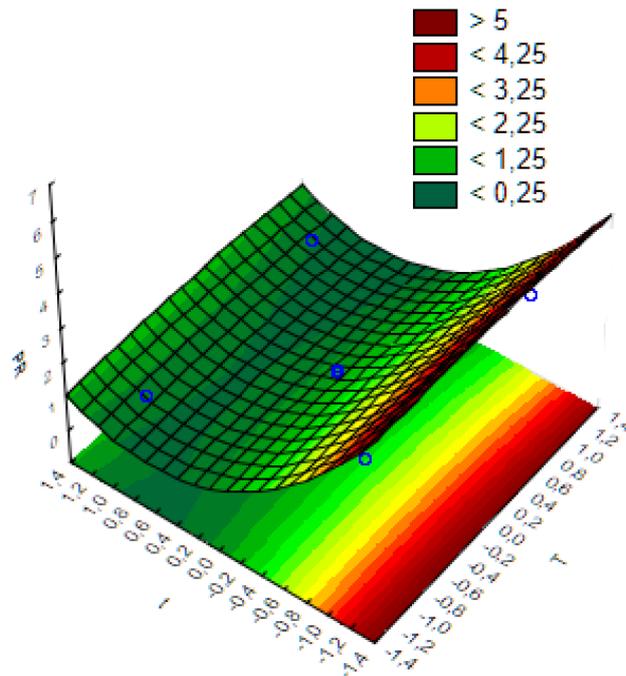


Figura 2 – Superfície de resposta para a produtividade

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.

PRODUÇÃO DE CÉLULA SOLAR COM CORANTE DA *Beta vulgaris*

Julianno Pizzano Ayoub

UNICENTRO, Programa de Pós Graduação em
Bioenergia
Guarapuava - PR

Gideã Taques Tractz

UNICENTRO, Programa de Pós Graduação em
Química
Guarapuava - PR

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira

UNICENTRO
Irati - PR

Cynthia Beatriz Furstenberger

UNICENTRO, Programa de Pós Graduação em
Bioenergia
Guarapuava - PR

Everson do Prado Banczek

UNICENTRO, Programa de Pós Graduação em
Bioenergia
Guarapuava - PR

Paulo Rogerio Pinto Rodrigues

UNICENTRO, Programa de Pós Graduação em
Bioenergia
Guarapuava - PR

produzidas por diversos tipos de semicondutores, e os corantes podem ser sintéticos ou naturais. A substituição dos corantes sintéticos por naturais contendo antocianinas ou betacianinas que se adsorverem à superfície do semicondutor podem ser viáveis devido ao baixo custo de produção. Este trabalho tem o objetivo desenvolver uma célula solar sensibilizada por corantes naturais obtidos de extratos de beterraba e utiliza-lo para produzir e caracterizar eletroquimicamente dispositivos fotovoltaicos baseados em TiO_2 , com interface FTO/ TiO_2 /Corante Natural/Eletrólito/Platina. As técnicas utilizadas foram espectroscopia na região UV-VIS, medidas do potencial de circuito aberto em função do tempo, fotocronoamperometria e curvas de densidade de corrente em função do potencial. Dentre os sistemas produzidos, todos foram fotossensíveis, com um ótimo tempo de carregamento e descarregamento, sendo que o produzido com o corante extraído da beterraba crua apresentou uma eficiência de $\eta = 0,16\%$.

PALAVRAS-CHAVE: Energia, energias renováveis, célula fotovoltaica

RESUMO: A energia solar vem se destacando como uma fonte de energia renovável, sendo uma solução para redução de impactos ambientais causados por combustíveis fósseis, além de apresentar um baixo custo. As células solares sensibilizadas por corante podem ser

SOLAR CELL PRODUCTION WITH DYE *Beta vulgaris*

ABSTRACT: A Solar energy comes to stand out as a source of renewable energy, being a

solution for the reduction of gases caused by radiation, in addition to presenting a low cost. Because the cells can be stained by some types of semiconductors, the dyes may be synthetic or natural. Substitution of the dyes by different natural or antibacterial substrates that may appear on the surface of the semiconductor can result in low production costs. This work has the objective of developing a solar light sensor system for natural heat extraction applications and use for the production of electrochemically photovoltaic components based on TiO₂, with FTO / TiO₂ / Natural Dye / Electrolyte / Platinum interface. As the techniques used were spectroscopic in the UV-VIS region, measurements of open circuit potentiation, photocronoamperometry and current density curves as a function of potential. The systems produced were all photosensitive, with a good loading and depletion time, and that produced with dye extracted from the raw beet showed an efficiency of $\eta = 0.16\%$

KEYWORDS: Energia, energias renováveis, célula fotovoltaica

INTRODUÇÃO

Está sendo crescente o desafio para desenvolver ações que garantam simultaneamente a manutenção dos ecossistemas ao redor do mundo e a oferta de energia e de insumos à população, necessitando de soluções em um prazo relativamente curto para combater as mudanças climáticas e o acúmulo de CO₂ na atmosfera, promovendo assim o desenvolvimento sustentável e o aumento da contribuição das fontes renováveis de energia (ARMAROLI et al., 2007; GRATZEL, 2001; VICHI e MANSOR, 2007; COUNCIL, 2007).

Sabe-se que muitos países, inclusive o Brasil, visam a partir das energias eólica e solar alternativas para o problema energético, uma vez que a demanda energética mundial depende quase que totalmente (cerca de 80%) dos combustíveis fósseis. Além do mais, o uso de tais combustíveis está associado a riscos ambientais ainda não completamente avaliados, porém preocupantes (NOGUEIRA, 2001).

O uso do sol tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais favoráveis para enfrentar os desafios do novo milênio, pois esta energia, possui características únicas como a disponibilidade, abundância e custo zero na fonte primária. Adicionalmente, sua conversão é vista como limpa, não poluindo na obtenção de energia e contribuindo para minimizar os problemas do meio ambiente (ALVES FILHO, 2003).

Em torno de 90% dos módulos solares encontrados no mercado, tem como base as células solares fotovoltaicas de silício mono e policristalino, cujo custo é elevado (GREEN et al., 2012)

Independentemente de todas as vantagens mencionadas, pode-se encontrar problemas na implementação de um sistema de geração baseado em energia solar, como a descontinuidade da energia gerada e o custo bastante elevado desses dispositivos fotovoltaicos, necessitando de maiores pesquisas no desenvolvimento

destes materiais (ANEEL, 2009).

METODOLOGIA

A pasta de TiO_2 foi preparada de acordo com a metodologia descrita por Paurussulo (2013) e depositada sob substrato condutor FTO (fluorine doped tin oxide) via doctor blading, sendo após calcinados a $450\text{ }^\circ\text{C}$ por 30 minutos para garantir a completa decomposição da matéria orgânica (VITORETTI et al., 2017).

As soluções dos corantes naturais foram extraídas em 60 ml de etanol 99,3 %. (BRILHANTE et al., 2013). Foram testados dois corantes produzidos a partir da beterraba (*Beta vulgaris*), sendo 10 gramas de material cru e 10 gramas de material cozido por 10 minutos. O tempo de impregnação utilizado foi de 24 horas para garantir uma máxima adsorção do corante na superfície do óxido, formando assim o anodo do sistema (TRACTZ et al., 2018).

Como contra eletrodo (catodo) foi utilizada Platina depositada sob FTO e eletrólito contendo par redox iodeto/triodeto (I^-/I_3^-) (PAURUSSULO, 2013).

A célula foi montada em formato sanduíche com anodo e catodo com área de $0,2\text{ cm}^2$, sendo unidos pela presença do eletrólito.

Para verificação de qual faixa de absorção do corante no espectro eletromagnético, as soluções do corante foram analisadas por UV-VIS, em um espectrofotômetro UV-Vis- 320G, Gehaka, a temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C}$, em uma faixa de 300 a 1200 nm. As medidas eletroquímicas foram obtidas em um potenciostato Zahner simulador solar, com lâmpada de Xenônio e diâmetro do feixe de 25 mm. Foi utilizada a potência solar de 100 mW cm^{-2} , sob temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C}$ em uma área da célula delimitada de $0,2\text{ cm}^2$, com um espectro solar padrão a AM1.5G (O'REGAN E GRATZEL 1991).

As células foram caracterizadas por técnicas eletroquímicas, como medidas de potencial de circuito aberto em função do tempo (E_{ca}), fotocronoamperometria curvas de densidade de corrente em função do potencial, sendo possível retirar os parâmetros fotovoltaicos para cálculo da eficiência energética do dispositivo, empregando-se a Equação 1 (VIOMAR et al., 2016) (TRACTZ et al., 2018).

$$\eta = J_{cc} E_{ca} \frac{FF}{P_{in}} 100\% \quad (\text{Equação 1})$$

Em que J_{cc} representa a densidade de curto circuito, E_{ca} o potencial de circuito aberto, FF o fator de preenchimento e P_{in} a potência incidente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

É de grande importância avaliar a região espectral de absorção de luz dos corantes usados.

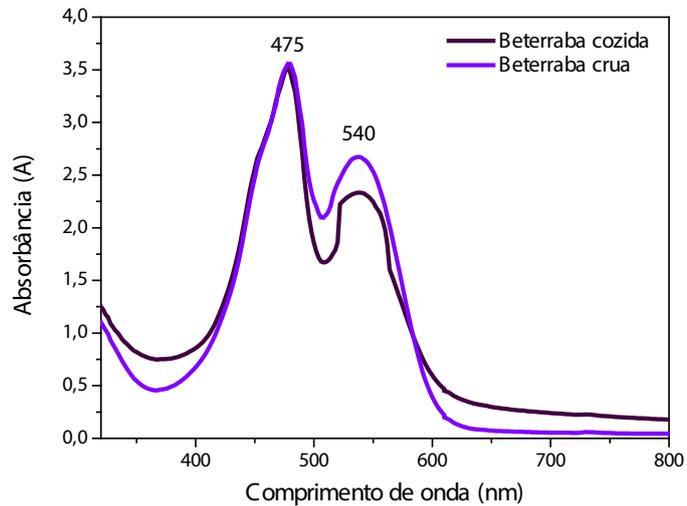


Figura 1 – Espectros de absorção na região do UV VIS para os corantes de extrato de beterraba analisados

Fonte: Autor

Conforme a Figura 1, a região de absorção dos extratos corantes de beterraba é na faixa visível, com a maior intensidade de absorção em 470 nm devido a presença de betaxantina, uma betalaina com coloração amarelada e uma menor intensidade de absorção em 550 nm decorrente da presença de betacianinas. (SONAI et al., 2015). Este resultado limita parcialmente a geração de energia, visto que corantes sintéticos, derivados de rutênio, apresentam na estrutura grupos auxocromos e cromóforos eficientes, que deslocam a banda de energia para a região do infravermelho (Hangdfeldt et al., 2010).

Na Figura 2 são apresentadas as curvas representativas do potencial de circuito aberto em função do tempo, mantendo temperatura e iluminação constante.

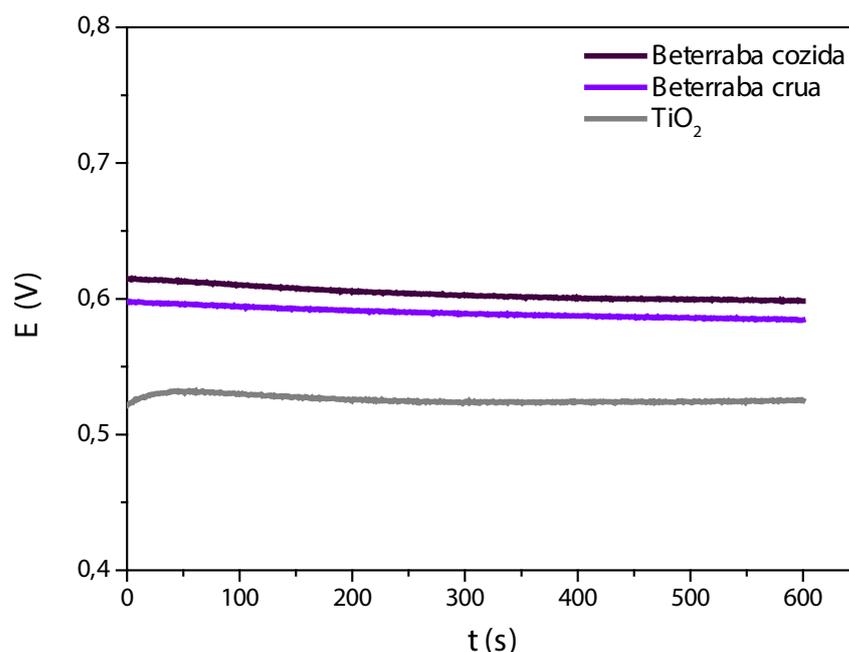


Figura 2- Curvas de Potencial de circuito aberto em função do tempo para as células analisadas

Fonte: Autor

Nota-se na Figura 2, que os sistemas com corantes apresentaram um maior valor de potencial quando comparado ao sistema com apenas TiO_2 . Dentre os corantes analisados, o sistema produzido com o corante extraído da beterraba cozida, apresentou um maior valor de potencial, equivalente a 0,62 V que se manteve estável durante o tempo analisado (TRACTZ, 2016).

Na Figura 3, encontra-se a fotocronoamperometria das células produzidas.

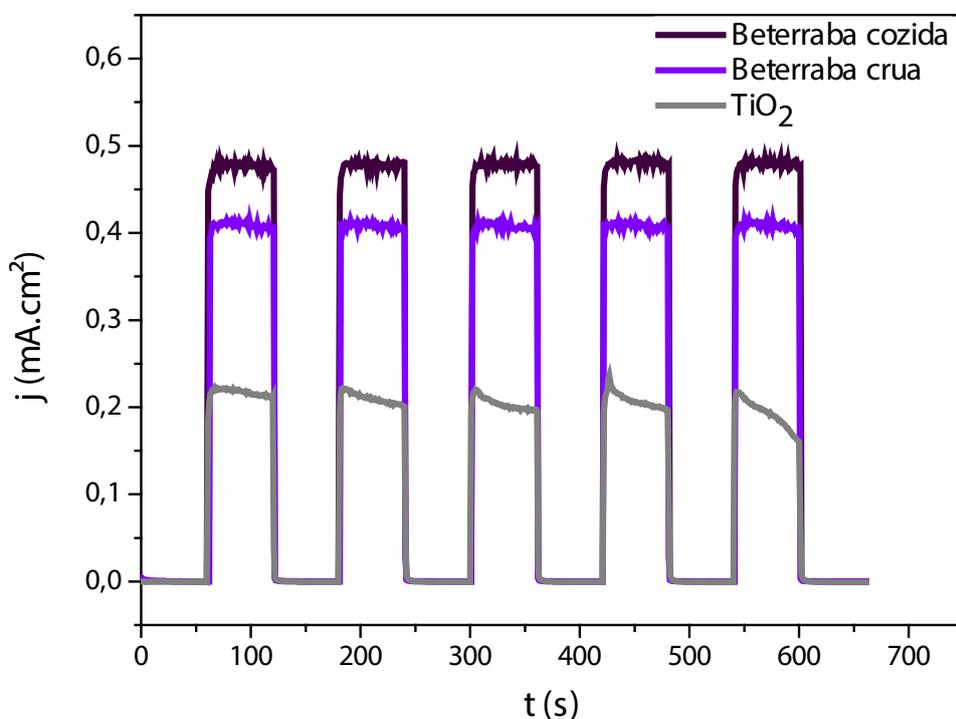


Figura 3- Curvas de fotocronoamperometria para as células analisadas

Fonte:Autor

Como mostrado na Figura 3, a célula apresenta fotossensibilidade, pois, quando a mesma é atingida por luz, há o aumento instantâneo na corrente e quando a luz é interrompida, a corrente decai. Verifica-se também uma ótima carga/descarga do sistema, devido a este comportamento de corrente (TRACTZ, 2016).

Para o corante extraído da beterraba cozida, o valor de corrente se manteve próximo a $0,58 \text{ mAcm}^{-2}$, e para com o corante da beterraba crua $0,40 \text{ mAcm}^{-2}$. Nota-se também que o TiO_2 apresenta também uma corrente quando exposto a incidência solar, sendo mais baixa quando comparada com o uso de corantes e é relacionada a capacidade deste óxido produzir par elétrons – buraco quando exposto a radiação ultravioleta (AGNALDO, 2005). Pode-se afirmar também que o corante não se degrada durante o tempo de análise em que foi exposto, visto que em diferentes tempos a corrente se manteve constante.

Na Figura 4 são apresentadas as curvas $j \times E$ para as células estudadas, e na Tabela 1 os parâmetros fotovoltaicos.

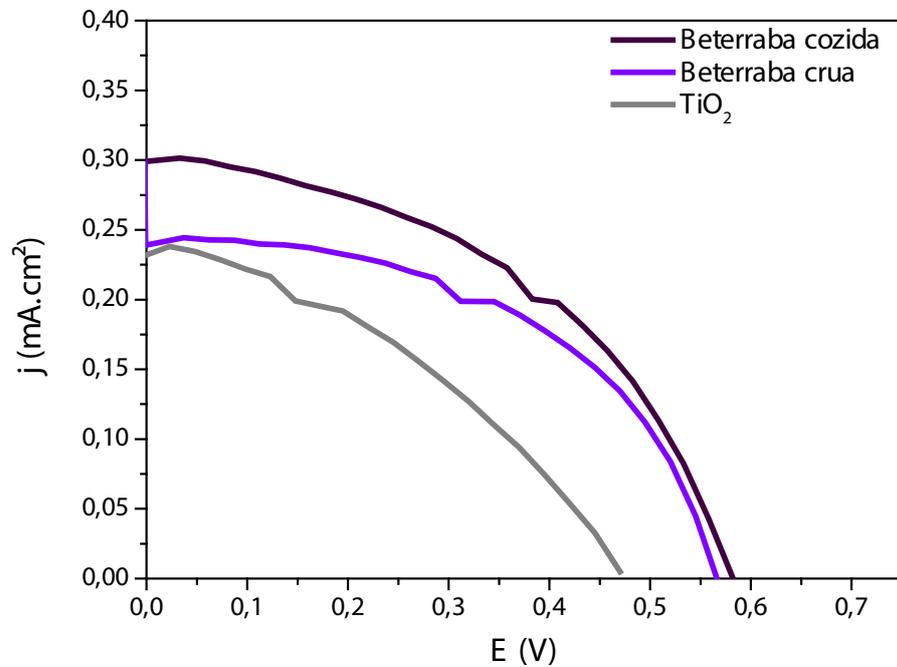


Figura 4- Curvas de densidade de corrente em função do potencial para as células analisadas

Fonte:Autor

Os resultados obtidos através da figura 4 mostram valores de correntes baixos para as células compostas com os corantes analisados. Utilizando a Equação 1 foi possível obter os valores de eficiência em transformação de energia, os resultados estão na Tabela 1.

Corante	Jcc ($\mu\text{A cm}^{-2}$)	Eca(V)	FF	$\eta(\%)$
Beterraba Crua	60,29	0,582	0,46	0,1614
Beterraba Cozida	48,85	0,566	0,509	0,1407

Tabela 1- Parâmetros fotovoltaicos para os sistemas analisados

Na Tabela 1, nota-se que a célula produzida com o corante extraído da beterraba crua, apresentou um maior valor de eficiência em aproveitamento de energia, próximo a $\eta = 0,16014 \%$. Percebe-se que há uma dependência da eficiência em função da corrente, para uma corrente maior a tendência é de um rendimento maior (Handgfeldt et al., 2010). Acredita-se que há uma maior eficiência devido a maior absorvância no espectro analisado com o corante do extrato da beterraba crua, além de uma possível degradação ou sensibilidade do corante à altas temperaturas proveniente do cozimento da beterraba.

CONCLUSÃO

É possível desenvolver células solares com baixo custo, através de corantes naturais, como o corante produzido a partir da beterraba.

As células solares compostas com corantes naturais extraídos da beterraba apresentam uma conversão de energia baixa quando comparadas com valores encontrados na literatura.

A célula que apresenta melhor eficiência em conversão energética é a produzida com o corante extraído da beterraba crua, com valor de $\eta = 0,16\%$

A técnica de fotocronoamperometria demonstra que a célula não se degrada durante o tempo de análise.

O uso de outros produtos naturais que contenham antocianinas pode ser viável, o que contribui com o desenvolvimento sustentável, uma vez que as fontes de energia solar apresentam processo de geração de eletricidade mais simples do que a obtenção de energia através de combustíveis fósseis.

REFERÊNCIAS

[1] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. Brasília, 236 p. 2009.

[2] Agnaldo, J. S; Bastos, J. B. V. Cressoni, J. C; Viswanathan, G. M. **Células solares de TiO₂ sensibilizadas por corante**. Revista Brasileira de ensino de Física. V28.N01.2006.

[3] Alves Filho, J. **Matriz energética brasileira**. Janeiro: Mauad. 188 p. 79. 2003.

[4] Armaroli, N.; Balzani, V.; **The future of energy supply: Challenges and opportunities**. Angew. Chem., Int. Ed, 46, 2. 2007

[5] Brilhante, S. E. T; Neto, O; Alcantara, L. A; Bertini, L. M. **Determinação do teor de antocianinas e sua influência na variação da coloração dos extratos de flores do oeste potiguar**. IX congresso de iniciação científica do IFRN. Tecnologia e inovação para o semi árido. 2013.

[6] Council, W. E.; **Survey of energy resources**. Disponível em: < http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf> Acesso em: Jan. de 2018.

[7] Grätzel, M.; **Photoelectrochemical cells**. Nature. 414, 338. 2001.

[8] Hangfeldt, A. Boschloo, G. Sun, L; Kloo, L; Pettersson, H. **Dye sensitized Solar Cells**. Chemical Reviews. Vol.110. N.11. 2010.

Green, M. A.; Emery, K.; Hishikawa, Y.; Warta, W.; Dunlop, E. D.; **Prog. Photovoltaics Res. Appl.** 2012, 20, 12.

[9] NOGUEIRA, A. F. **Células solares de “Grätzel” com eletrólito polimérico**. 185 f. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

[10] O'Regan, B; Gratzel, M; **A low cost, high efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO₂ films**. Nature. 353, 24. 1991

- [11]PARUSSULO, A. L. A. **Conceitos supramoleculares e morfologia interfacial em células solares de TiO₂**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2013.
- [12]Sonai, G. G; Melo, M. A; Nunes, J.H.B, Junior, J. D.M; Nogueira, A. F. **Células solares sensibilizadas com corantes naturais. Um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação**. Química Nova. Vol38. N10. 2015.
- [13]Tractz, G. T; Maia, G. A. R; Dias, B. V; Ignachwski, F; Rodrigues, P. R. P. **Avaliação da adsorção e estudo eletroquímico de células solares produzidas com TiO₂ e corante extraído do hibiscus**. Química Nova. 41, 5, 2018.
- [14]TRACTZ, Gideã Taques. **Uso de corantes comerciais e naturais na produção de células solares de TiO₂**. 2016. 45f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual do Centro Oeste do Parana, Guarapuava, 2016.
- [15]Vichi, F. M.; Mansor, M. T. C. **Sintéticas alternativas para prevenção a poluição**. Química Nova, 32, 757. 2009.
- [16]Viomar, A; Maia, G. A. R; Scremin, F. R; Khalil, N. M; Cunha, M. T; Antunes, A. C; Rodrigues, P. R. P. **Influência do método de obtenção de partículas de Nb₂O₅ empregadas em células solares sensibilizadas por corante compostas de TiO₂/ Nb₂O₅**. Revista Virtual de Química. 8.03. 889-900. 2016.
- [17]Vitoretto, A. B. F; Vaz, R; Pena, A. L; Ferrari, J. L; Shiavon, M. A. **Aplicação de dióxido de titânio em células solares**. Revista virtual de química. 4, 9. 2017.

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

Taís Adeil Muller

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO, Guarapuava – Paraná

Wilma Aparecida Spinosa

Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina – Paraná.

Juliano Tadeu Vilela Resende

Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina – Paraná.

Leonel Vinicius Constantino

Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina – Paraná.

Edson Perez Guerra

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO, Guarapuava - Paraná

Leonardo de Lima Wrobel

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO, Guarapuava – Paraná

Wallace Lima Paulo

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO, Guarapuava – Paraná

Ana Elisa Barbosa Siqueira

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT, Cuiabá - Mato Grosso

Claudia Jeorgete dos Santos Burko

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO, Guarapuava – Paraná

RESUMO: Estima-se que 25 a 30% da batata produzida no mundo é desperdiçada em

forma de refugo por defeitos de aparência que compromete a sua comercialização. Nesse cenário, 24 mil toneladas de batatas foram desperdiçadas no município de Guarapuava, em 2018, de uma produção em torno de 97 mil toneladas. Diante disso, a produção de etanol é uma alternativa para a destinação que resulte no mínimo de impacto ambiental. Por isso, o objetivo deste trabalho foi produzir etanol, via processo fermentativo, da batata Divina Ágata, cultivar amplamente produzida no sul do Brasil. A batata foi seca e processada na forma de farinha e, posteriormente, determinada a umidade. Com a batata *in natura* foram determinados e quantificados atributos como: sólidos solúveis, pH, acidez titulável, açúcares redutores e teor de amido. A partir da farinha, realizou-se o processo fermentativo com *Saccharomyces pastorianus* e *Saccharomyces cerevisiae*, utilizando três concentrações para cada levedura, antecedida de hidrólise ácida com HCl para conversão do amido em açúcares simples. O mosto da fermentação foi centrifugado, destilado e a análise de teor alcoólico foi realizada por espectrofotometria, conforme a norma NBR 13920. A fermentação com *S. pastorianus* resultou no mosto com 5,77 mL (v/v), enquanto a utilização da levedura *S. cerevisiae* rendeu 5,48 mL (v/v) de etanol. Assim, a produção de etanol em microescala, a partir da fermentação de batata refugo antecedida de

hidrólise ácida do amido, obteve maior rendimento aplicando-se a fermentação com a levedura *S. pastorianus*.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo orgânico. Biocombustível. Álcool. Agronegócio. *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT: It is estimated that 25 to 30% of the potato produced in the world is wasted in the form of scrap because of defects in appearance that compromises its commercialization. In this scenario, 24 thousand tons of potatoes were wasted in the municipality of Guarapuava in 2018, of a production around 97 thousand tons. Therefore, the production of ethanol is an alternative to the destination that results in a minimum of environmental impact. Therefore, the objective of this work was to produce ethanol, via fermentation process, of the potato Divina Agate, cultivar widely produced in southern Brazil. The potato was dried and processed in the form of flour and subsequently determined to moisture. With potato in natura were determined and quantified attributes as: soluble solids, pH, titratable acidity, reducing sugars and starch content. From the flour, the fermentation process was carried out with *Saccharomyces pastorianus* and *Saccharomyces cerevisiae*, using three concentrations for each yeast, preceded by acid hydrolysis with HCl to convert the starch to simple sugars. The fermentation wort was centrifuged, distilled and the alcohol content analysis was performed by spectrophotometry, according to NBR 13920. The fermentation with *S. pastorianus* resulted in the wort with 5.77 mL (v / v), while the use of yeast *S. cerevisiae* yielded 5.48 mL (v / v) ethanol. Thus, the production of ethanol in microscale, from the fermentation of refuse potato preceded by acid hydrolysis of the starch, obtained higher yield by applying the fermentation with yeast *S. pastorianus*.

KEYWORDS: Organic waste. Biofuel. Alcohol. Agribusiness. *Solanum tuberosum* L.

1 | INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estima que, aproximadamente, um terço dos alimentos produzidos no mundo são desperdiçados, representando 1,3 bilhão de toneladas por ano (FAO, 2017). Nesse cenário, estima-se que de 25 a 30% de batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.) produzidas mundialmente são desperdiçadas, decorrente de problemas fitossanitários e aos defeitos para comercialização como diâmetro de tubérculo indesejado pelo consumidor (CETEC, 2004).

No mundo, mais de 96 milhões de toneladas de batata inglesa são desperdiçadas de uma produção de 385 milhões de toneladas (FAO, 2018). No Brasil, o número chega a 920 mil toneladas desperdiçadas, enquanto no Paraná, o desperdício atinge 212 mil toneladas.

Guarapuava é a segunda cidade que mais produz batata no estado do Paraná, representando 27% de produção estadual, perdendo somente para Curitiba com 30% de produção do estado (IBGE, 2019), em que a cultivar Divina Ágata é a mais produzida

e seu desperdício chega a 24 mil toneladas (IBGE, 2018).

A produção de álcool a partir da batata exige a hidrólise do amido para conversão em açúcares simples, realizada pela enzima α -amilase para posterior fermentação pela levedura. Uma alternativa ao uso da enzima é a hidrólise ácida com ácido clorídrico, com a vantagem de tempo de conversão mais curto e custos mais baixos, mas com a necessidade de grande volume de reagentes ácidos e resíduos químicos resultantes do processo (CEREDA, 2001).

Assim, a destinação adequada de batata refugo e a produção de biocombustível é altamente relevante, uma vez que atende as preocupações ambientais e os interesses dos produtores rurais. Por isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial da batata refugo da cultivar Divina Ágata para produção de etanol por meio de fermentação com as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces pastorianus*.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A batata utilizada no trabalho foi a Divina Ágata, produzida na safra 2017 no município de Guarapuava-PR, no *Campus* Centro de Desenvolvimento Educacional e Tecnológico de Guarapuava – CEDETEG, da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO.

Os tubérculos foram colhidos e secos em estufa (QUIMIS, Q3171-22), a 65°C por 72 horas e, posteriormente, moídos e peneirados em 35 *mesh*, para obtenção da farinha, a qual foi utilizada para a produção de etanol. A batata *in natura* foi utilizada para determinação das propriedades físico-químicas: massa seca, teor de água, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, açúcares redutores e teor de amido.

Os sólidos solúveis foram determinados em refratômetro e os resultados expressos em °Brix. O pH foi determinado em potenciômetro. Com a mesma alíquota foi realizada a titulação para quantificação da acidez total titulável e os dados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

Os Teores de amido e açúcares redutores foram determinados, segundo metodologia de Somogyi adaptada por Nelson (1944), com leitura procedida em espectrofotômetro (Spectrum, SP 2000 UV) a 540 nm.

Para obtenção de álcool foi realizada a hidrólise ácida do amido, utilizando a proporção de 1:10 (m/v) para a quantidade de farinha de batata e ácido clorídrico concentrado, respectivamente. A amostra foi então autoclavada a temperatura de 120 °C, com pressão de 1 atm, durante período de 15 minutos. Resfriou-se a amostra e centrifugou-se a 3000 rpm por 8 minutos (Hettich Zentrifugen, MIKRO 220R).

O pH da amostra foi fixado a cinco para início do processo de fermentação. O mosto formado pelo material amiláceo autoclavado durante 15 minutos, em temperatura de 120°C e 1 atm.

O ensaio foi realizado utilizando duas leveduras e três concentração no processo fermentativo, utilizando o valor recomendado pelo fabricante, como primeira

concentração, o dobro e o triplo desse valor, nas temperaturas de fermentação ideais para cada levedura. A levedura comercial *S. cerevisiae*, da marca Danstar foi adicionada nas concentrações; 5, 10 e 15 g L⁻¹ na amostra em temperatura de 32 °C e a levedura *S. pastorianus*, da marca Lager Yeast, foi adicionada nas concentrações de 2, 4 e 6 g L⁻¹ na amostra, em temperatura de 25 °C. Ambos os ensaios fermentaram durante o período de 5 dias em BOD, conduzido em delineamento inteiramente casualizados (DIC) realizado em triplicata.

O álcool obtido foi isolado por meio de destilação, e a determinação do teor alcoólico das amostras foi realizada por meio da norma NBR 13920 (ABNT, 1997). A identificação do etanol foram realizadas no Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, em Curitiba - Paraná. Os resultados das análises foram obtidos em triplicata e reportados na forma de média e desvio padrão.

Os dados foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), reportando-se os resultados na forma de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado de teor de água encontrado na batata foi de 88,03%, um pouco superior à média sugerida pela Tabela Brasileira de Composição Química dos Alimentos (TACO-UNICAMP, 2011) onde diz que as batatas brasileiras apresentam em média 82,9% de umidade. Esse teor de água pode variar de acordo com a cultivar, condições de cultivo e grau de maturidade dos tubérculos (PASTORINI et al., 2003).

O pH foi de 6,00, segundo Nardin, 2009 os valores de pH ótimos para a ação de enzimas que degradam o amido são menores que 6,00 indicando que os tubérculos analisados se encontravam em bom estado de maturação e conservação.

A acidez titulável da cultivar apresentou 0,39%, para Smith (1977), a acidez titulável de batatas varia de 0,85% a 1,15%.

O teor de açúcares redutores foi de 0,259%. EVANGELISTA et al. (2011) encontraram 0,47% de açúcar redutor para Divina Ágata isso representa o dobro do que encontrado no trabalho Segundo Melo (1999), o teor de açúcares é fortemente determinado pelo grau de maturação do tubérculo na colheita, condições climáticas e nutricionais em que se desenvolveram as plantas, além de condições de armazenamento após a colheita (KUMAR et al., 2004).

O teor de amido na farinha da batata foi de 16,05%, Quadros et al. (2009) observou teor de amido no mesmo tubérculo de 16,42%, isto é, próximo ao obtido no presente trabalho, já Bregagnoli (2006) encontrou valores para amido superior a 17,5%.

	SSB	SSH	SS F Sc.	SS F Sp
Divina Ágata	4,20±0,01	12±0,94	3,60±0,17	2,06±0,20
CV(%)	0,003	0,07	0,04	0,10

Tabela 1. Determinação de sólidos solúveis da batata in natura, do hidrolisado e do fermentado utilizando a farinha de batata como matéria para o mosto.

*** SS=sólidos solúveis (°Brix), B=batata *in natura*, H=hidrólise, F Sc.=fermentação com a levedura *S. cerevisiae*, F Sp.=fermentação com a levedura *S. pastorianus*.

Este trabalho mostra que a produção alcoólica com a levedura *S. pastorianus* foi maior estatisticamente no primeiro e no último tratamento, utilizando concentrações menores de levedura, comparando os resultados com a *S. cerevisiae* utilizando as condições ideais para cada uma delas (Figura 1).

O aumento na concentração de levedura resultou em um aumento considerável em produtividade de álcool no processo fermentativo.

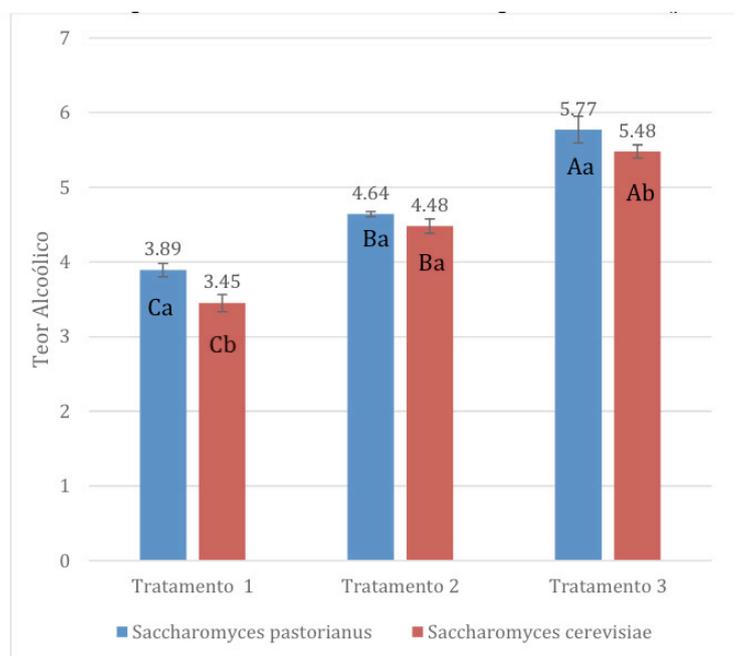


Figura 1. Graduação alcoólica das amostras de farinha de batatas obtida através de fermentação. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p < 0,05$).

Fonte: Muller, 2018.

Nas análises qualitativas foi identificado nas amostras de álcool: cor incolor e aspecto límpido e isento de impurezas, conforme exigências da Agência Nacional de Petróleo (ANP). E detectada apenas a presença de etanol, Brighenti e Cabello (2005) também observaram a ausência de álcoois superiores, metanol (CH_3OH), glicerol e ácidos orgânicos em análises realizadas no álcool de resíduo amiláceo.

4 | CONCLUSÕES

É possível produzir etanol através de hidrólise ácida e fermentação de batata. A quantidade de etanol foi diretamente proporcional à concentração de ambas as leveduras *S. pastorianus* e *S. cerevisiae* nas condições ideais para cada uma delas; temperatura e concentração.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Nacional de Normas Técnicas. **NBR 13920**. 1997.

BREGAGNOLI, M. **Qualidade e produtividade de cultivares batata para indústria sob diferentes adubações**. Piracicaba, 2006. 141 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BRINGHENTI L.; CABELLO, C. Qualidade do álcool produzido a partir de resíduos amiláceos da agroindustrialização da mandioca. **Energia e Agricultura**. v. 20, n. 4, Botucatu, São Paulo, 2005.

CEREDA, M. P. *et al.* **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001.

CETEC. **Processo produtivo do álcool de milho**. In: SBRT - Boletim de resposta Técnica. São Paulo, 2004.

EVANGELISTA, R. M. NARDIN, I. FERNANDES, A. M. SORATTO, R. P. Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. **Pesquisa Agropecuária**. v.46, n.8, ago. 2011.

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT – Statistics Database, 2016. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> >. Acesso em: 29-08-2018.

IAL-INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Brasil. **Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

IBGE. **Brasil/Paraná/Guarapuava**. Acesso em 14/06/2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/guarapuava/panorama>.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil/Paraná/Guarapuava. Acesso em 27/09/2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/guarapuava/panorama>.

KUMAR, D.; SINGH, B.P.; KUMAR, P. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. **Annals of Applied Biology**, v.145, n.3, p.247-256, 2004.

MELO, P.E. Cultivares de batata potencialmente úteis para o processamento na forma de fritura no Brasil e manejo para obtenção de tubérculos adequados. **Informe Agropecuário 20**: 112-119. 1999.

NARDIN, I. **Qualidade, suscetibilidade de esverdeamento e aptidão culinari de cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Botucatu: UNESP-FCA. 96p. (Monografia especialização), 2009.

NELSON, N. (1944), **Aphotometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose**. Journal of Biological Chemistry, 153, 375-380.

PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; TREVIZOL, F.C.; BERVALD, C.M.P.; FERNANDES, H.S. Produção e teor de carboidratos não estruturais em tubérculos de batata obtidos em duas épocas de plantio. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 21, outubro/dezembro 2003.

QUADROS, D.A. de; JUNG, M.C.; FERREIRA, S.M.R.; FREITAS, R.J.S. de. Composição química de tubérculos de batata para processamento, cultivados sob diferentes doses e fontes de potássio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.316-323, 2009.

SMITH, O. **Potatoes**: production, storing, processing. 2. ed. Westport: AVI, 1977. 642p.

SOMOGY, M. A New Reagent for Determination of Sugars. A new Sugar Reagent, May p. 61 – 68, 1945.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4ed. revisada e ampliada. Campinas, SP: UNICAMP, 2011. Disponível em: <http://goo.gl/8O6hWi>. Acesso em 07 de outubro de 2018.

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

Matheus Redel Finger

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais
Santa Maria- RS

Rosimeire Cavalcante dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Elias Costa de Souza

Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Florestais
Macaíba-RN

Gabriel Raamon Santana Nunes

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais
Santa Maria- RS

Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Renato Vinícius Oliveira Castro

Universidade Federal de São João Del Rei, Departamento de Ciências Agrárias
São João Del Rei-MG

Stephanie Hellen Barbosa Gomes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Cynthia Patricia de Sousa Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Sarah Esther de Lima Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Gualter Guenter Costa da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do carvão da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* plantado em cinco diferentes espaçamentos e coletadas em diferentes alturas ao longo do fuste. O espaçamento de plantio ocorreu em cinco níveis: 3,0 x 0,5m; 3,0 x 1,5m; 3,0 x 3,0m; 3,0 x 5,0m; 3,0 x 6,5m e foram feitas três repetições. Foram derrubadas 3 árvores de cada tratamento, e foram feitos discos 10cm de altura, em 10 níveis ao longo da árvore: 0% (base); diâmetro a altura do peito (DAP); 12,5%; 25%; 37,5%; 50%; 67,5%; 75%; 87,5% e 100% da altura comercial. Após

a coleta do material, os discos foram divididos em cunhas e secos. Após secos, foi realizada a carbonização do material e, em seguida, foi realizada a análise química imediata do material. Após a realização deste trabalho, foi possível concluir que, para o carvão obtido apenas da madeira do DAP apenas no teor de cinzas houve diferença significativa. Para o carvão obtido de diferentes alturas no fuste, apenas o teor de umidade não apresentou diferença estatística entre os 5 tratamentos.

PALAVRAS-CHAVES: energia da biomassa; análise química imediata; carvão vegetal; eucalipto.

CHARACTER QUALITY OF *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* PLANTED IN DIFFERENT SPACINGS

ABSTRACT: This work aimed at evaluating the quality of the wood charcoal of a clone of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* planted in five different planting spacings and collected at different heights along the stem. The planting spacing occurred in five levels: 3.0 x 0.5m; 3.0 x 1.5m; 3.0 x 3.0m; 3.0 x 5.0m; 3.0 x 6.5m and three replicates were made. Three trees of each procedure were taken down, and 10cm thick discs were made in 10 levels along the tree: 0% (base); diameter at breast height (DAP); 12.5%; 25%; 37.5%; 50%; 67.5%; 75%; 87.5% and 100% of commercial height. After the material was collected, the discs were divided into wedges and dried. After drying, the material was carbonized and the immediate chemical analysis of the material was carried out. After carrying this work out this work, it was possible to conclude that there was significant difference in the ash content for the coal obtained only from the wood of the DAP. For the coal obtained from different heights in the stem, only the moisture content did not present statistical difference between the 5 treatments.

KEYWORDS: biomass energy; immediate chemical analysis; charcoal; eucalyptus.

1 | INTRODUÇÃO

Devido à grande variedade de produtos combustíveis que podem ser obtidos e do grande potencial de aproveitamento da biomassa florestal, esta matéria prima tem despertado relevante interesse para fins energéticos, através dos mais diversos tipos de transformações termoquímicas (PROTÁSIO et al., 2013).

Entre os produtos que podem ser obtidos a partir da biomassa de origem vegetal, o carvão vegetal se destaca. Seu rendimento na produção pode ser otimizado por meio do uso de matéria prima adequada, ou seja, a partir da utilização de madeira densa, com maior poder calorífico e com constituição química adequada, o que pode assegurar a produção de um carvão vegetal com qualidade considerada satisfatória (OLIVEIRA et al., 2010).

O espaçamento é um fator que pode afetar o desenvolvimento e a produtividade das florestas de espécies de rápido crescimento, o espaçamento que é responsável

pode determinar o tempo e a intensidade da competição pelos recursos entre as árvores, sabendo que a competição só ocorre quando a disponibilidade dos recursos é baixa (HARRINGTON et al., 2009; ROCHA, 2011). Logo, a diferenciação do crescimento das árvores em locais e espaçamentos distintos, que podem seguir um mesmo padrão ou não, pode resultar em propriedades que se diferenciam entre si na madeira oriunda do fuste dessas árvores, e estas diferenças nas propriedades pode influenciar diretamente a qualidade e a produção do carvão vegetal, visto que a qualidade do carvão está diretamente ligada, também, à qualidade da madeira (REIS et al., 2012).

A carbonização, que é definida como o processo termoquímico de transformação da madeira em carvão. Visa aumentar o teor de carbono fixo no carvão e é influenciado pelas características físicas e químicas da madeira, bem como pelos diferentes sistemas de carbonização, (LAZARETTI, 2015; OLIVEIRA et al., 2010; PIMENTA, 2002).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do carvão da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* plantado em cinco diferentes espaçamentos e coletadas em diferentes alturas ao longo do fuste.

2 | METODOLOGIA

Procedência e coleta do material

Foram coletadas toras de madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, aos 4 anos de idade, provenientes da área experimental da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias (UAECIA) da UFRN, localizada no município de Macaíba, no Estado do Rio Grande do Norte. O espaçamento de plantio ocorreu em cinco níveis: (T1) 3,0 x 0,5m; (T2) 3,0 x 1,5m; (T3) 3,0 x 3,0m; (T4) 3,0 x 5,0m; (T5) 3,0 x 6,5m e foram feitas três repetições.

Foram derrubadas 3 árvores de cada tratamento, e foram feitos discos 10cm de altura, em 10 níveis ao longo da árvore: 0% (base); diâmetro a altura do peito (DAP); 12,5%; 25%; 37,5%; 50%; 67,5%; 75%; 87,5% e 100% da altura comercial. Cada disco foi dividido em 4 cunhas, onde foram utilizadas apenas 2 cunhas de cada disco, denominadas A e B, para o sorteio. O sorteio foi feito dentro de cada tratamento, para saber quais cunhas das diferentes posições no sentido longitudinal da árvore seriam utilizadas, para melhor representação da árvore, e outro sorteio para saber quais cunhas dos DAP.

Determinação do teor de umidade das toras

As cunhas partidas foram pesadas inicialmente, a fim de obter o seu peso úmido (Pmu) e a partir disso, foram secas em estufa a 103 ± 2 °C, por 24 horas. Passado esse tempo, foram pesadas novamente obtendo-se o peso seco (Pms). O teor de

umidade (TU) foi determinado subtraindo-se o valor do Pmu pelo Pms, dividido pelo Pms. O resultado é multiplicado por 100, pois o valor do teor de umidade é dado em porcentagem.

Carbonização em mufla de laboratório

As carbonizações foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da mesma unidade acadêmica. As cunhas sorteadas foram colocados em um mini-container e em seguida, posicionadas no interior da mufla. O processo de aquecimento do material foi estabelecido previamente, e foram realizadas duas repetições em cada marcha, não sendo possível mais repetições devido à quantidade do material. A taxa de aquecimento (dada através da relação entre a temperatura final e tempo de carbonização) foi de 1, 25°C.min⁻¹ (6 horas), como mostrado na Tabela 1.

	6h
Marcha	100°C – 60min
	150°C – 60min
	200°C – 60min
	250°C – 30min
	300°C – 30min
	350°C – 30min
	400°C – 30min
	450°C – 60min
Taxa de Aquecimento	1,25°C.min ⁻¹

Tabela 1 - Marchas de carbonização e taxa de aquecimento

Depois de ligada a mufla e iniciado o processo de carbonização, foi verificada a temperatura de carbonização, coloração e a densidade da fumaça a cada meia hora. Finalizado o período de carbonização, a mufla foi desligada e iniciado o processo de resfriamento à temperatura ambiente por ± 8 horas.

Análise Química Imediata do carvão

Os procedimentos utilizados para a análise química imediata foram baseadas nas normas ASTM D-1762-64 “Chemical Analysis of Wood Charcoal”, ABNT NBR 8112-83 “Carvão Vegetal – Análise Imediata”. Para esta análise foi utilizado carvão proveniente de lenha dos clones carbonizados em mufla. O material obtido foi moído e peneirado (o carvão coletado foi o que passou da peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh) e depois pesado cerca de 1,0 g do carvão que, posteriormente, foram colocados em cadinhos de porcelana, seco e tarado (Pcu). Foram obtidos os

teores de umidade, matérias voláteis, carbono fixo e cinzas.

Análise estatística

As análises foram realizadas utilizando o programa BioEstat versão 5.3 sendo realizado o teste de normalidade, Shapiro Wilk, e, em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, posteriormente, foi realizada a análise de correlação entre os dados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das análises estatísticas, os dados das análises químicas puderam ser comparados em relação ao espaçamento e nas diferentes alturas, como mostrados na Tabela 2, que apresenta os dados coletados no DAP e na Tabela 3, que apresenta os dados coletados nas diferentes alturas.

Espaçamentos (m)	%U	%MV	%CZ	%CF
3,0 x 0,5	4.86 a	29.15 a	0.55 a	70.30 a
3,0 x 1,5	4.97 a	27.27 a	0.25 b	72.48 a
3,0 x 3,0	3.96 a	31.11 a	0.21 b	68.67 a
3,0 x 5,0	5.93 a	29.84 a	0.15 b	70.01 a
3,0 x 6,5	5.30 a	25.52 a	0.14 b	74.34 a

Tabela 2 – Médias da análise química imediata do carvão da madeira coletada no DAP das árvores dos 5 tratamentos

Onde %U= Teor de Umidade; %MV= Teor de matérias voláteis; %CZ= Teor de cinzas; %CF= Teor de carbono fixo. Médias acompanhadas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Os dados da análise química do carvão, obtidos apenas da madeira do DAP, mostram que, para os teores de umidade, matérias voláteis e carbono fixo, não há diferença significativa entre os tratamentos. Apenas para os teores de cinzas houve diferença significativa entre o T1 e os outros tratamentos, indicando que, de todos, o que apresentou maior valor de cinzas foi o tratamento com menor área útil por árvore.

Espaçamentos (m)	%U	%MV	%CZ	%CF
3,0 x 0,5	5.07 a	29.35 a	0.17 a	70.48 b
3,0 x 1,5	4.79 a	27.16 b	0.15 a	72.68 a
3,0 x 3,0	4.27 a	26.78 b	0.11 b	73.11 a
3,0 x 5,0	4.50 a	29.23 a	0.11 b	70.66 b
3,0 x 6,5	5.44 a	26.01 b	0.13 ab	73.86 a

Tabela 3 – Médias da análise química imediata do carvão da madeira coletada nas diferentes alturas das árvores dos 5 tratamentos

Onde %U= Teor de Umidade; %MV= Teor de matérias voláteis; %CZ= Teor de cinzas; %CF= Teor de carbono fixo. Médias acompanhadas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Logo, de acordo com os dados, o menor espaçamento poderá ser utilizado, sem comprometer a qualidade do carvão da madeira na altura do DAP, o que proporciona um aumento no volume de biomassa por hectare. Outras propriedades devem ser levadas em consideração para classificar o carvão em relação a sua aplicabilidade para a indústria siderúrgica, como, por exemplo, o poder calorífico e a densidade do carvão (SANTOS, 2011).

Já para os dados dos 5 diferentes tratamentos, quando avaliadas as madeiras em diferentes alturas das árvores, é possível observar uma maior variabilidade nos dados da análise química imediata deste material. Como as amostras foram carbonizadas aleatoriamente, a variabilidade pode ser justificada principalmente pela quantidade de variações da madeira ao longo do fuste.

Para o carvão obtido de diferentes alturas no fuste, apenas o teor de umidade não apresentou diferença estatística entre os 5 tratamentos. Para matérias voláteis, o T1 e o T4, apresentaram maiores valores, quando comparados aos outros tratamentos. Para teor de cinzas, os menores valores encontrados foram no T3, T4 e T5, indicando que, houve um menor acúmulo de minerais nestas madeiras, onde a área útil por árvore é maior. Para o teor de carbono fixo, os melhores resultados encontrados foram no T2, T3 e T5, que diferiram estatisticamente dos outros tratamentos, apesar de todos terem sido superiores a 70%.

Os valores de matérias voláteis encontrados neste trabalho foram bem superiores aos valores encontrados por Santos et al. (2016) ao avaliar 4 clones híbridos de *Eucalyptus*, aos 7 anos de idade, conseqüentemente, quanto os valores de carbono fixo, os autores encontraram valores superiores aos valores encontrados neste trabalho, visto que há uma relação inversa entre os valores de carbono fixo e matérias voláteis. Os teores de cinzas obtidos neste trabalho foram inferiores aos valores obtidos por Santos et al. (2016). Esta característica é desejável para carvões utilizados na indústria siderúrgica. Segundo Santos (2008), valores de carbono fixo na faixa de 75 a 80% são desejáveis, para carvões utilizados na siderurgia, visto que, quanto maior o teor de carbono fixo, maior é a produtividade do alto-forno, para a mesma quantidade de redutor utilizado.

4 | CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho, foi possível concluir que, para o carvão obtido apenas da madeira do DAP apenas no teor de cinzas houve diferença significativa. Para o carvão obtido de diferentes alturas no fuste, apenas o teor de umidade não apresentou diferença estatística entre os 5 tratamentos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1762-64, Philadelphia, PA: **American Society for Testing and Materials**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5734/83, NBR 8112/83. Rio de Janeiro: 1981.

HARRIGTON, T. B.; HARRIGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effect of plating spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 18-25, 2009.

LAZARETTI, D. S.; A energia da floresta, **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto-SP, p. 5, 2015.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 431–439, 2010.

PIMENTA, A.S. Curso de atualização em carvão vegetal - Aspectos Técnicos, Operacionais e Ambientais. **Apostila, documento interno**. Viçosa: UFV/DEF, 2002.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F.; GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 137-149, 2013.

REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 497-505, Dec. 2012.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. Dissertação (Mestrado). Viçosa, MG. 2011.

SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 57p. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, Rosimeire Cavalcante et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SANTOS, Rosimeire Cavalcante et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

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

Matheus Redel Finger

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais
Santa Maria- RS

Rosimeire Cavalcante dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Elias Costa de Souza

Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Florestais
Macaíba-RN

Gabriel Raamon Santana Nunes

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais
Santa Maria- RS

Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Renato Vinícius Oliveira Castro

Universidade Federal de São João Del Rei, Departamento de Ciências Agrárias
São João Del Rei-MG

Stephanie Hellen Barbosa Gomes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Cynthia Patricia de Sousa Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Sarah Esther de Lima Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

Gualter Guenter Costa da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Macaíba-RN

RESUMO: O objetivo do trabalho foi analisar o efeito de diferentes espaçamentos de plantio, na qualidade do carvão vegetal do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, implantado no Rio Grande do Norte, aos 4 anos de idade. Foram retirados discos do diâmetro à altura do peito (DAP), em cinco diferentes espaçamentos: 3,0 m x 0,5 m; 3,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 5,0 m e 3,0 m x 6,5 m. Cada disco com 10 cm de espessura, foi dividido em 4 cunhas, onde duas cunhas de cada disco (denominadas A e B) foram utilizadas para realização da análise de rendimento gravimétrico. O processo de

carbonização teve duração de 6 horas, com temperatura final de 450°C. Foram feitas 2 repetições de cada tratamento. Os resultados mostraram que não influenciou o espaçamento para o rendimento em carvão, em licor pirolenhoso e em gases não condensáveis. O espaçamento de plantio não afetou significativamente a qualidade e a produção do carvão vegetal avaliado.

PALAVRAS-CHAVE: carbonização da madeira; carvão vegetal; eficiência energética; bioenergia; híbrido de eucalipto.

GRAVIMETRIC PERFORMANCE IN COAL OF *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus tereticornis* UNDER DIFFERENT PLANTING SPACINGS

ABSTRACT: The goal of this work was to analyze the effect of different planting spacings on the charcoal quality of the hybrid clone of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, implanted in Rio Grande do Norte, at the age of 4 years. Discs of the diameter at chest height (DAP) were removed in five different spacings: 3.0 m x 0.5 m; 3.0 m x 1.5 m; 3.0 m x 3.0 m; 3.0 m x 5.0 m and 3.0 m x 6.5 m. Each 10 cm thick disc was divided into 4 wedges, where two wedges of each disc (named A and B) were used to perform gravimetric analysis. The carbonization process lasted 6 hours, with a final temperature of 450 ° C / 842°F. Two replicates of each procedure were done. The results showed that there is no influence of the spacing for the yield on coal, pyroligneous liquor and on non-condensable gases. Planting spacing did not significantly affect the quality and production of charcoal which was evaluated.

KEYWORDS: carbonization of wood; charcoal; energy efficiency; bioenergy; hybrid eucalyptus.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou um aumento de 0,5% de área plantada de 2016 para 2017, possuindo atualmente uma área de 7,84 milhões de hectares ocupada por florestas plantadas. O setor de base florestal é responsável por 91% da madeira produzida das para fins industriais. Com base nos dados de 2016 os plantios de *Eucalyptus* preenchem 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas do país (IBÁ, 2017).

Com a distribuição de sua vegetação de ocorrência exclusiva no Brasil, o bioma Caatinga apresenta uma grande variedade de espécies endêmicas distribuídas entre fauna e flora. Um dos usos mais tradicionais da madeira oriunda de espécies da Caatinga é para geração de energia, seja na forma de lenha ou carvão. A maior parte desta biomassa é proveniente de remanescentes de florestas nativas (MMA, 2009).

No Rio Grande do Norte, especificamente, aproximadamente metade da energia consumida nos setores industrial e residencial provem da lenha e este cenário apresenta tendências de aumento crescente de demanda nos próximos anos (RIO GRANDE DO NORTE, 2006). No referido Estado, as fábricas de cerâmica vermelha

ou estrutural, fábricas de gesso, siderúrgicas, indústria alimentícia e têxtil, além de olarias, padarias, casas de farinha e pequenas indústrias rurais são as principais unidades consumidoras de lenha e/ou carvão vegetal oriundas do bioma Caatinga. De acordo com dados do Sebrae (2013) o consumo médio mensal de lenha por região é 22.363 m³ (Grande Natal), 46.314 m³ (Região do Seridó), 26.390 m³ (Baixo Açu) e 7.777 m³ (Região Oeste), contabilizando um total de aproximadamente 103.000 m³ de lenha ao mês. Apesar de parte desta demanda por lenha ser abastecida a partir de podas de frutíferas (Cajueiro e Algaroba) é ainda do desmatamento ilegal que se origina 80% da oferta atual de lenha na região.

Os plantios de *Eucalyptus*, são uma grande alternativa ao uso da madeira nativa na produção madeireira no Brasil, e destacam-se entre as florestas plantadas devido ao seu rápido crescimento e alta produtividade (RAMOS *et al.*, 2011). A grande utilização das espécies desse gênero se deve pela adaptação a climas diversos, no que resulta a elevadas produtividades e bons índices de qualidade da madeira, para fins energéticos (ARAÚJO, 2018). O espaçamento de plantio é um dos fatores que podem influenciar na qualidade da madeira, e conseqüentemente, na produção e qualidade do carvão vegetal (ASSIS, 2012).

Nesse sentido, objetivou-se com esse trabalho analisar a influência dos diferentes espaçamentos no rendimento gravimétrico em carvão vegetal, licor pirolenhoso e gases não-condensáveis, do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, implantado no Rio Grande do Norte, sob diferentes espaçamentos.

2 | METODOLOGIA

Foram utilizadas madeiras do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, aos 4 anos de idade, provenientes de plantio em área experimental da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias (UAECIA) da UFRN, localizada no município de Macaíba, no Estado do Rio Grande do Norte.

O corte para obtenção do material em estudo ocorreu em Janeiro de 2018, onde de 7 linhas por parcela, foram consideradas somente as três linhas centrais, desconsiderando duas linhas de cada lateral devido ao efeito de borda.

O espaçamento de plantio ocorreu em cinco níveis: 3,0 x 0,5m; 3,0 x 1,5m; 3,0 x 3,0m; 3,0 x 5,0m; 3,0 x 6,5m e foram feitas três repetições.

Foram derrubadas 3 árvores de cada tratamento, e foram obtidos discos de 10 cm de espessura, do diâmetro à altura do peito.

Cada disco foi dividido em 4 cunhas, onde foram utilizadas apenas 2 cunhas de cada disco, denominadas A e B, para o sorteio.

As cunhas sorteadas foram colocadas em estufa de circulação forçada, com temperatura de 100°C, por 24h.

Após a secagem, as cunhas selecionadas foram pesadas e colocadas em um

contêiner metálico, que foi levado para o interior do forno elétrico (mufla).

O controle da temperatura foi feito em diferentes marchas, com duração total de 6h, onde: 100°C por 60min; 150°C por 60min; 200°C por 60min; 250°C por 30min; 300°C por 30min; 350°C por 30min; 400°C por 30min; 450°C por 60min.

Foram feitas 2 repetições de cada tratamento. A coleta do licor pirolenhoso, foi feita por um sistema de condensação conectado a um kitasato, pesado previamente.

Para determinar o rendimento em carvão, em licor pirolenhoso e gases não condensáveis, foi feita a utilização das fórmulas:

$$RC = (PC / PM) * 100$$

$$RLP = (PL / PM) * 100$$

$$RGNC = 100 - (RC + RL)$$

Onde:

RC = rendimento em carvão (%)

RLP = rendimento em licor pirolenhoso (%)

RGNC = rendimento em gases não-condensáveis (%)

PC = peso do carvão

PM = peso seco dos cavacos de madeira

PL = peso do líquido pirolenhoso

As análises foram realizadas utilizando o programa BioEstat versão 5.3 sendo realizado o teste de normalidade, Shapiro Wilk, e, em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, posteriormente, foi realizada a análise de correlação entre os dados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, encontram-se os valores médios das características avaliadas no carvão vegetal no DAP, de diferentes espaçamentos.

Espaçamentos (m)	DAP (%)		
	RC	RLP	RGNC
3,0 x 0,5	34.36 a	37.40 a	28.23 a
3,0 x 1,5	34.83 a	40.03 a	25.14 a
3,0 x 3,0	37.20 a	33.80 a	29.00 a
3,0 x 5,0	37.62 a	31.72 a	30.65 a
3,0 x 6,5	34.76 a	29.00 a	36.27 a

Tabela 1 – Valores médios dos rendimentos gravimétricos, das cunhas do DAP, em função do espaçamentos.

Em que: RC (rendimento em carvão), DAP (diâmetro à altura do peito), RLP (rendimento em licor pirolenhoso), RGNC (rendimento em gases não-condensáveis). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pela análise de variância, observou-se que a interação rendimento em carvão x

espaçamento foi não significativa. Observou-se, ainda, que o efeito do espaçamento de plantio foi não significativo a 5%, evidenciando que as variáveis analisadas – rendimentos em carvão vegetal, líquido pirolenhoso – no carvão vegetal, proveniente dos diferentes espaçamentos de cultivo, são estatisticamente iguais (Tabelas 1).

Os rendimentos em líquido pirolenhoso e em gases também não foram influenciados pelo espaçamento. Neves et al. (2011), encontraram valores inferiores de rendimento em carvão, com médias de 30,89 e 32,08% para o carvão vegetal de clones de *Eucalyptus*, produzido na mesma temperatura final de carbonização (450°C).

Rocha (2011) encontrou valores médios para o rendimento gravimétrico do carvão variando entre 28,01% e 30,08%, ao estudar a influência do espaçamento sobre a qualidade energética do carvão vegetal de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis*, aos 4 anos de idade, sendo esses valores inferiores aos encontrados neste trabalho (Tabelas 1). Esse resultado demonstra o potencial de utilização da madeira proveniente do clone nos espaçamentos avaliados para a produção de carvão vegetal.

Levando-se em conta a homogeneidade dos valores médios observados para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, pode-se afirmar que povoamentos no espaçamento 3 × 0,5 m podem ser utilizados, garantindo a qualidade e a produção do carvão vegetal, sem comprometimento, do clone de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus tereticornis*.

4 | CONCLUSÕES

Os diferentes espaçamentos do plantio, não influenciaram significativamente no rendimento gravimétrico em carvão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis, da madeira do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus tereticornis* aos quatro anos de idade.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.C.C et al. Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum*: subsídios ao uso sustentável. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, jul. 2018. ISSN 1983-2605. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1546>>. Acesso em: 07 ago. 2018. doi:<https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701546>.

ASSIS, M.R. et al. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291, set. 2012. ISSN 1983-2605. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/359>>. Acesso em: 07 ago. 2018. doi:<https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.291>.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2017**, São Paulo, 33 p, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Caatinga. **Biomass**. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 07.08.2018.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO T.P.; COUTO A.M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA V.O.; VIEIRA C.M.M.; Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira** 2011; 31(68): 319-330. <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.319>

RAMOS, L.M.A.; LATORRACA, J.V.F.; PASTRO, M.S.; SOUZA, M.T.; GARCIA, R.A.; CARVALHO, A.M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.39, n.92, p.411-418, 2011.

SEBRAE/RN. **Diagnóstico da Indústria Cerâmica Vermelha do Rio Grande do Norte**. Natal/RN: relatório final – Natal: Sebrae/RN, 2013.

RIO GRANDE DO NORTE (ESTADO). Secretaria Extraordinária de Energia e Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDEC). Balanço energético do Estado do Rio Grande do Norte 2006: Ano Base 2005. **SEDEC: Natal**, 2006. 103 p. (Série Informações Energéticas, 1).

ROCHA, M.F.V.; **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia** [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2011.

UMA PROPOSTA PARA O APROVEITAMENTO DA *Acrocomia aculeata* COMO FONTE DE ENERGIA LIMPA

Cássio Furtado Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Fernanda de Oliveira Araujo

Laboratório de Química e Bioquímica de Produtos Naturais da Universidade Federal de Viçosa - BioNat-UFV

Leonne Bruno Domingues Alves

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Angleson Figueira Marinho

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Érica Bandeira Maués de Azevedo

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Michel Keisuke Sato

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Victor da Cruz Peres

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Juliana Souza da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Luiz Fernando Reinoso

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Edinelson Luis de Sousa Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Maykon Sullivan de Jesus da Costa

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

Francisco Robson Alves da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Pará (IFPA)

RESUMO: De acordo com dados da ONU, a utilização de combustíveis fósseis é a principal causa do aumento na concentração de gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera, com uma possível elevação da temperatura média da terra, de 1,8 a 4,0 °C até o ano de 2100. Com essa problemática e demanda pela sustentabilidade envolvida sobre as fontes de energia não renováveis aparecem os biocombustíveis, sobretudo o biodiesel. O objetivo desse trabalho foi estudar o setor de biodiesel e o potencial energético da *Acrocomia aculeata* (Macaúba), a fim de entender a regulação e as tomadas de decisão do setor, juntamente com uma proposta de aproveitamento para uma nova alternativa de energia limpa e sustentável. O estudo em questão permeia por uma análise do panorama atual de biocombustíveis, através do estudo no referencial bibliográfico, ocorreu ainda uma investigação do óleo da *Acrocomia aculeata* com análises químicas pertinentes para discussão dos dados presentes na literatura. Devido à

elevada contaminação de recursos hídricos quando se utiliza catalizadores ácidos e a impossibilidade de utilizar catalizadores básicos, devido ao Índice de Saponificação, a proposta de transesterificação enzimática aparece como solução para esse problema, visando o aproveitamento energético do óleo de macaúba para produção de biodiesel de maneira sustentável.

PALAVRAS-CHAVES: Macaúba, Transesterificação Enzimática; Biodiesel; Sociologia ambiental; Gestão Ambiental.

ABSTRACT: According to UN data, the use of fossil fuels is the main cause of the increase in the concentration of gases responsible for the greenhouse effect in the atmosphere, with a possible increase of the average temperature of the earth, from 1.8 to 4.0 °C until the year of 2100. With this problematic and demand for the sustainability involved in non-renewable energy sources are biofuels, especially biodiesel. The objective of this work was to study the biodiesel sector and the energy potential of *Acrocomia aculeata* (Macaúba) in order to understand the regulation and the decision making of the sector, together with a proposal for the use of a new clean and sustainable energy alternative . The study in question permeates an analysis of the current panorama of biofuels, through the study in the bibliographical reference, an investigation of the oil of *Acrocomia aculeata* was carried out with pertinent chemical analyzes to discuss the data present in the literature. Due to the high contamination of water resources when using acid catalysts and the impossibility of using basic catalysts due to the Saponification Index, the proposed enzymatic transesterification appears as a solution to this problem, aiming at the energy utilization of macaúba oil for the production of biodiesel sustainable manner.

KEYWORDS: Macaúba, Enzymatic Transesterification; Biodiesel; Environmental sociology; Environmental management.

1 | INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho foi estudar o setor de biodiesel e o potencial energético da *Acrocomia aculeata* (Macaúba), a fim de apresentar uma proposta de aproveitamento para uma nova alternativa de energia limpa e sustentável. O estudo em questão permeia uma investigação do óleo da *Acrocomia aculeata* com análises químicas pertinentes para discussão dos dados presentes na literatura. Devido à elevada contaminação de recursos hídricos quando se utiliza catalizadores ácidos e a impossibilidade de utilizar catalizadores básicos, devido ao Índice de Saponificação, a proposta de transesterificação enzimática aparece como solução para esse problema, visando o aproveitamento energético do óleo de macaúba para produção de biodiesel de maneira sustentável.

De acordo com dados da ONU¹, a utilização de combustíveis fósseis é a principal causa do aumento na concentração de gases responsáveis pelo efeito estufa na

1 Organização das Nações Unidas

atmosfera. Como aspectos positivos da utilização dos biocombustíveis, destaca-se o de natureza social, uma vez que contribui para a geração de empregos no setor primário, a permanência do trabalhador no campo, reduz o inchaço das grandes cidades e favorece o ciclo da economia autossustentável, essencial para a autonomia do país. Ainda, no âmbito social, o biodiesel evita a poluição do ar, ao contrário do diesel comum que, lança, na atmosfera, toneladas de dióxido de enxofre, dióxido de carbono, hidrocarbonetos e outras partículas que causam problemas respiratórios e dermatológicos.

Segundo Albuquerque et al. (2008), os biocombustíveis possuem grande potencial para auxiliar no combate ao aquecimento global, contudo os estudos em relação à produção de biocombustíveis derivados de fontes naturais e renováveis, como os vegetais, apresentam-se viáveis por serem capazes de reduzir em até 78% as emissões poluentes, limitando em até 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre. É nesse contexto que destacamos a *Acrocomia aculeata* (macaúba).

Com a sua ocorrência em todo o país, diversas denominações populares sugeriram, como: macaúba; macaíba; boicaiuva; macaúva; coco-de-catarro; coco-baboso e coco-de-espinho, macaubeira. Segundo Lorenzi (2010), as regiões de predominância mais expressiva da espécie vão do Pará até São Paulo e no Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul em cerradões e matas semidecíduas. Na região da zona da mata mineira predominam plantios de estudos experimentais conduzidos pela Universidade Federal de Viçosa.

Reportando Lima (2015) trata-se de uma palmeira que alcança aproximadamente 20 metros de altura e possui espinhos longos e pontiagudos no caule (Figura 04).



Figura 04. a. Visão panorâmica da *Acrocomia aculeata*. b. Espinhos pontiagudos no caule.

Fonte: Adaptado de NUCCI, 2007.

A *Acrocomia aculeata*, apresenta características botânicas e morfológicas que favorece a redistribuição da água de forma eficiente (CORRÊA, 2014, apud LIMA, 2015). De acordo com Dias (2011), a copa da planta em forma de funil, com folíolos funcionando como pequenas calhas são capazes de direcionar a água da chuva interceptada para a região central da folha e dirigi-la para o estipe, espinhos e pelos do caule. Desta forma, aumentam a área de captação da água mantendo a umidade e a temperatura microclimática.

A macaúba possui caule simples, sempre cilíndrico, quando adulta a planta apresenta diâmetro de 20 a 30 cm e altura de 10 a 20 m, com presença de pelos e folhas associadas a espinhos, principalmente em plantas jovens. (LORENZI et al. 2004). Corrêa (2014) acrescenta que a planta possui de 10 a 30 folhas por unidade, pinas irregularmente dispostas e inseridas em planos diferentes ao longo da raque, inflorescências interfoliáreas e flores pistiladas na base dos ramos. De acordo com Lorenzi (2010), os frutos são globosos, epicarpo lenhoso verde-amarelado, com 3,5 a 5,0 cm de diâmetro, com mesocarpo amarelado fibroso-mucilaginoso, comestível e bastante oleoso.

Neste sentido, as análises/estudos que envolvem um balanço energético favorável, de modo especial, a produção de biodiesel, a diminuição da emissão de gases do efeito estufa, a ciclagem de nutrientes em culturas anuais e a otimização das áreas produtivas, têm sido valorizados, uma vez que buscam alternativas que proporcionem a substituição parcial ou total da utilização dos combustíveis de origem fóssil (CHERUBINI et al., 2009; SOUZA et al., 2010). De acordo com a literatura, as propriedades morfológicas e botânicas da macaúba, permitem afirmar que a planta possui um incrível potencial energético, ambiental e social, qualidades que justificam a implantação e manutenção de um empreendimento agrário.

2 | CARACTERÍSTICAS DO FRUTO E ÓLEO

Segundo Massote et al. (2013), na metodologia para geração de energia é fundamental dispor de ferramentas para avaliação do balanço de material, tempo e energia produzida. Diante dessa necessidade, a Embrapa tem desenvolvido estudos com a macaúba na região de Minas Gerais e em parceria com a Universidade Federal de Viçosa. Em junho de 2008 a Embrapa divulgou o documento 217, de autoria dos pesquisadores Cargnin, Junqueira & Fogaça (2008), no qual apresentam a descrição sobre o potencial da macaúba, como matéria prima para a produção de biodiesel. Nesse documento 217 consta a divulgação do rendimento da planta (Kg de óleo por hectare) descrito na Tabela 02, a seguir.

Plantas por hectare	Rendimento de Kg de óleo por hectare
100	1840 – 2300
123	2264 – 2829
156	2879 -3588
216	3974 – 4968

Tabela 02. Produção de óleo da macaúba em função da densidade das plantas

Fonte: Adaptado. Cargnin, Junqueira & Fogaça (2008). Doc. 217 Embrapa

A partir de 2013 o cultivo da palmeira começou a ser realizado visando à produção de biodiesel e seu uso vem crescendo gradativamente ao longo dos anos (CÉSAR, et al., 2015). O óleo de soja tem se destacado no Brasil com uma produtividade de cerca de 700 kg de óleo/hectare/ano, quando comparado ao óleo da macaúba percebe-se uma alta produtividade que varia de 1500 a 5000 kg de óleo da polpa/hectare/ano (MICHELIN et al., 2015).

O óleo presente no fruto da macaúba pode ser extraído para produção do biodiesel utilizando tanto a polpa quanto a amêndoa. Porém, Souza et al. (2010) destaca que os teores de óleo são ligeiramente maiores na polpa (60%), em relação à amêndoa (55%). O óleo extraído da polpa da caracteriza-se pelo seu alto percentual de insaturação, enquanto o da amêndoa tem se destacado por características cosméticas aproveitadas na indústria farmacêutica (DIAS, 2011).

Dentre os diferentes ácidos graxos extraídos da polpa o de com maior potencial para fabricação do biodiesel é o ácido oleico (69,07%) e o palmítico (12,18%) (BHERING, 2016). O ácido oleico é um ácido graxo insaturado de cadeia longa possuindo 18 carbonos na sua estrutura (AMARAL et al., 2011). Bhering (2016) observou que os óleos ácidos podem reduzir o rendimento e até mesmo inviabilizar a produção de biodiesel. Dourado et al. (2015) caracterizou o perfil de ácido graxo do óleo de Macaúba, os índices obtidos pelo autor foram de 78,5% de ácidos graxos insaturados com predominância do ácido oleico (53,4%) seguido do ácido linoleico (17,7%) e 21,5% de ácidos graxos saturados com ácido palmítico em maior percentual (18,7%). A Tabela 03, a seguir mostra uma caracterização química dos diferentes ácidos graxos extraídos da amêndoa e polpa do fruto da macaúba.

Ácidos graxos (%)	Óleos de macaúba	
	Amêndoa	Polpa
Ácido Cáprílico 8:0	5,22	
Ácido Cáprico 10:0	4,56	-
Ácido Laurício 12:0	44,14	1,56
Ácido Mirístico 14:0	8,45	0,49
Ácido Palmítico	6,57	12,18
Ácido Esteárico 18:0	2,11	2,64
Ácido Oléico 18:1 (9)	25,76	69,07
Ácido Linoleico 18:2(9,12)	3,19	6,77

Ácidos graxos (%)	Óleos de macaúba	
	Amêndoa	Polpa
Ácido Palmitoleico 16:1(9)	-	1,36
Ácido Oléico Trans 18:(9)	-	2,47
Ácido Docosadenoico	-	1,77
Ácido Docosahexanoico	-	1,69
Total	100	100

Tabela 03. Porcentagem dos diferentes ácidos graxos extraídos da amêndoa e polpa da macaúba

Fonte: Adaptado de Amaral et al. (2011)

Politi, Matos & Sales (2013) ressaltam que além das perspectivas econômicas, os óleos vegetais devem apresentar propriedades físico-químicas específicas, tais como a viscosidade, ponto de fulgor, ponto de fluidez e estabilidade oxidativa. Segundo Ramos et al. (2007), o óleo da polpa de macaúba desponta como promissor para a produção de biodiesel pois apresentam características satisfatórias, dentre elas um elevado teor de carotenoides, que atuam como antioxidantes e podem proporcionar melhor estabilidade oxidativa ao biodiesel. Porém é imprescindível ressaltar que é necessário verificar a acidez do óleo a fim de atestar a qualidade do produto e desenvolver metodologia apropriada para produção de biodiesel (MACHADO et al., 2015). Iha et al. (2014) ressalta que o índice de acidez no óleo da polpa de macaúba é elevado, entre, 65 a 112 mg de KOH g⁻¹, tal fato indica elevada presença de AGL. Dourado et al. (2015) determina o índice de acidez total (91,11 mg KOH/g), índice de saponificação (198,7 mg KOH/g).

3 | ANÁLISE DO ÓLEO NOS FRUTOS DE MACAÚBA COLETADOS NA FAZENDA EXPERIMENTAL

De acordo com os potenciais demonstrados nos estudos de revisão bibliográfica, realizou-se um estudo com os frutos da *Acrocomia aculeata* coletados na fazenda experimental da Universidade Federal de Viçosa. Procurou-se inferir sobre a qualidade do óleo para produção do biodiesel. Através das análises químicas de Índice de Saponificação, Peróxidos e Teor de Umidade, realizadas no Laboratório de Análise de Produtos Alimentícios – LAPA/UFV. A Tabela 04 demonstra os resultados encontrados.

Analises	Resultados
Índice de peróxidos	Abaixo do Limite de Detecção
Índice de saponificação	229,5
Teor de umidade	0,2 g/100g

Tabela 04. Análises químicas realizadas no LAPA/UFV

Fonte: Análises LAPA/ UFV. Realizadas em Julho/2016

O Índice de Peróxido avalia o estado de oxidação inicial de um óleo. É expresso em miliequivalentes de oxigênio ativo por quilograma de gordura (meq/kg). Peróxidos ocorrem e aumentam quando os frutos não são sãos, íntegros, apresentam machucaduras e quando o óleo não é protegido da luz, do calor ou armazenado em recipientes inadequados (AOCS, 1988). O resultado encontrado abaixo do limite de detecção, indica a baixa presença de peróxidos, inferido a boa qualidade e o baixo tempo entre a colheita, despulpção e análises.

O Índice de Saponificação é o número que representa a massa (em miligramas) de hidróxido de potássio necessária para saponificar 1 g de óleo ou gordura (AOCS, 1988). O resultado elevado indica a presença elevada de AGL, como já trabalhada na Tabela 03. Tal identificação é importante, pois impede a utilização de um catalizador básico na produção do biodiesel, tal catalizador iria favorecer a reação secundária de produção da glicerina (Sabão), fato esse que ressalta a importância de se trabalhar com a proposta de transesterificação enzimática para produção do biodiesel de macaúba.

O Teor de Umidade é outro requisito importante, pois é interessante que o material graxo possua baixo teor de umidade. Isto porque a água desloca o equilíbrio químico em favor da hidrólise do alcóxido, produzindo o álcool correspondente e o hidróxido do metal utilizado como contra-íon do alcóxido (SCHUCHARDT et al, 1998). Além disso, a presença de água pode induzir a hidrólise dos monoésteres produzidos, aumentando assim a possibilidade da formação de emulsões e de uma consequente redução no rendimento do processo.

4 | O BIODIESEL DE MACAÚBA

O biodiesel é um éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural, como de animais e plantas, produzido através da reação de triacilgliceróis com um álcool (etanol ou metanol), na presença de um catalisador ácido ou básico (COSTA, OLIVEIRA & PIRES, 2015). Souza & Ferrari (2007) destacam que além de reduzir a emissão de gases poluentes, o biodiesel pode melhorar a ignição e lubrificação dos motores, somados também ao fato do manuseio e estocagem serem considerados mais seguros em comparação ao diesel.

Reportando a afirmação de Ilha et al. (2014) sobre o alto índice de acidez no óleo da polpa de macaúba, entre 65 a 112 mg de KOH g⁻¹, tal indicação é devido a presença de AGL, impossibilitando sua utilização comercial através do método convencional, utilizando catálise homogênea alcalina para produção de biodiesel. De acordo com El-Mashad et al. (2008), a presença de ácidos graxos em conjunto com catalisadores básicos leva à formação de sabão, o que dificulta a separação e diminui o rendimento da reação.

Segundo Galvão et al. (2010, apud, COSTA et al., 2015), a oxidação do biodiesel ocorre quando exposto ao ar. Este processo afeta a qualidade do combustível,

principalmente em decorrência dos longos períodos de armazenamento. Sendo assim se torna necessário a inclusão de antioxidantes (naturais e/ou sintéticos) com a finalidade de aumentar a estabilidade do biodiesel durante o período de armazenamento. Dourado et al. (2015) destaca que quase todos os parâmetros de caracterização físico-química da amostra de biodiesel metílico de macaúba esta de acordo com os limites e especificação obrigatórias. Excetua-se o da estabilidade à oxidação, tal fato recomenda a adição de antioxidante (COSTA et al., 2015). Na Tabela 04 esta descrita à caracterização do biodiesel da macaúba.

Análises	Resultados	Especificação	Métodos
Aspecto	LII	LII	Visual
Massa específica a 20°C (kg/m ³)	877,8	850-900	ABNT NBR 14065
Viscosidade cinemática 40°C (mm ² /s)	4,55	3,0-6,0	ABNT NBR 10441
Teor de água Karl-Ficher (mg/Kg)	345	350	ASTM D 6304
Ter de contaminação total (mg/Kg)	22	24	EN ISO 12662
Ponto de fulgor Pensky-Martens (°C)	170	min. 100	ABNT NBR 14598
Análises	Resultados	Especificação	Métodos
Teor de éster (% m/m)	97,8	min. 96,5	EN 14103
Resíduo de carbono (%m/m)	0,014	máx. 0,05	ASTM D 4530
Teor de cinzas sulfatadas (%m/m)	0,01	máx. 0,02	ABNT 6294
Teor de enxofre total (mg/Kg)	9,2	máx. 10	ASTM D 4530
Sódio+Potássio (mg/Kg)	< 3	máx. 5	ABNT NBR 15553
Cálcio+Magnésio (mg/Kg)	< 1	máx. 5	ABNT NBR 15553
Teor de fósforo (mg/Kg)	< 1	máx. 10	ABNT NBR 15553
Corrosividade ao cobre (3h a 50 °C)	1 ^a	1	ASTM D 130
Ponto de entupimento a filtro frio (°C)	13	19	ABNT NBR 14747
Índice de acidez (mgKOH/g)	0,485	0,5	ABNT NBR 14448
Glicerina Livre (%m/m)	0,004	0,02	ASTM D 6584
Glicerina total (%m/m)	0,085	0,25	ASTM D 6584
Estabilidade à oxidação a 110°C (h)	6,82	min. 6	EN 14112
Monoglicerídeos (% m/m)	0,242	0,8	ASTM D 6584
Diglicerídeos (%m/m)	0,071	0,2	ASTM D 6584
Triglicerídeos (%m/m)	0,074	0,2	ASTM D 6584
Índice de lodo (g/100g)	78,9	anotar	EN 14111

Tabela 04. Parâmetros do biodiesel da macaúba

Fonte: Adaptado de Dourado et al., 2015.

De acordo com Machado e Giordani (2014), o processo mais utilizado para produção de biodiesel é o de transesterificação, no qual os triglicerídeos reagem com álcoois de cadeia curta, na presença de um catalisador. Segundo Brieu (2009), em todas as partes do mundo existem vários processos utilizados para produção de biodiesel, porém a transesterificação por apresentar uma tecnologia simples e de baixo custo é o mais recomendado.

5 | A PROPOSTA DE TRANSESTERIFICAÇÃO ENZIMÁTICA

De acordo com Goldemberg (2008), a transesterificação é fundamental, pois reduz a viscosidade, os pontos de fulgor e de solidificação, quando comparados ao óleo original. Reportando Ferreira et al. (2015), esta modificação da estrutura dos óleos vegetais é uma alternativa para substituição do óleo diesel por um combustível oriundo de biomassas renováveis e inesgotáveis, biodegradável e não tóxico, o que permite classificá-lo como “ecologicamente correto”. A transesterificação é utilizada como rota alternativa para modificação de óleo, com vistas à produção de biodiesel e indicada para matérias primas com elevada acidez. Em geral essa reação é realizada utilizando catalisadores homogêneos ácidos, os quais apresentam baixas taxas de reações (LIU et al., 2015).

Ghesti et al. (2011) ressalta que o número de duplas ligações dos ácidos graxos facilita a reação de transesterificação dos óleos. Do ponto de vista bioquímico, o biodiesel produzido por meio de óleo vegetal, provém da reação de ácido graxo com álcool etílico (etanol) ou metílico (metanol), originando um éster (FERREIRA et al., 2015). A utilização dos métodos convencionais com catalisadores sintéticos, ácidos ou básicos, apresentam algumas desvantagens como o elevado custo de purificação dos produtos e os mesmos podem apresentar traços do catalisador, caso não seja removido adequadamente (LÓPES, et al., 2015). Segundo Jiang et al. (2013), a corrosividade e o número elevado de efluentes são entraves para um uso sustentável do método

Segundo YE et al. (2016) o biodiesel, ou éster alquila de ácido graxo ($R'COOR$), é considerado um combustível limpo e renovável que pode ser produzido por transesterificação de triglicerídeos (TG), oriundos de em óleos vegetais ou gorduras animais com baixo peso molecular, semelhante ao óleo da polpa de macaúba, e álcool (ROH), sob condições críticas ou na presença de catalisador, como enzimas ou compostos químicos de natureza ácida ou alcalina (GONZALES, 2012).

Com isso a Figura 07 apresenta a reação química de transesterificação e suas três etapas.

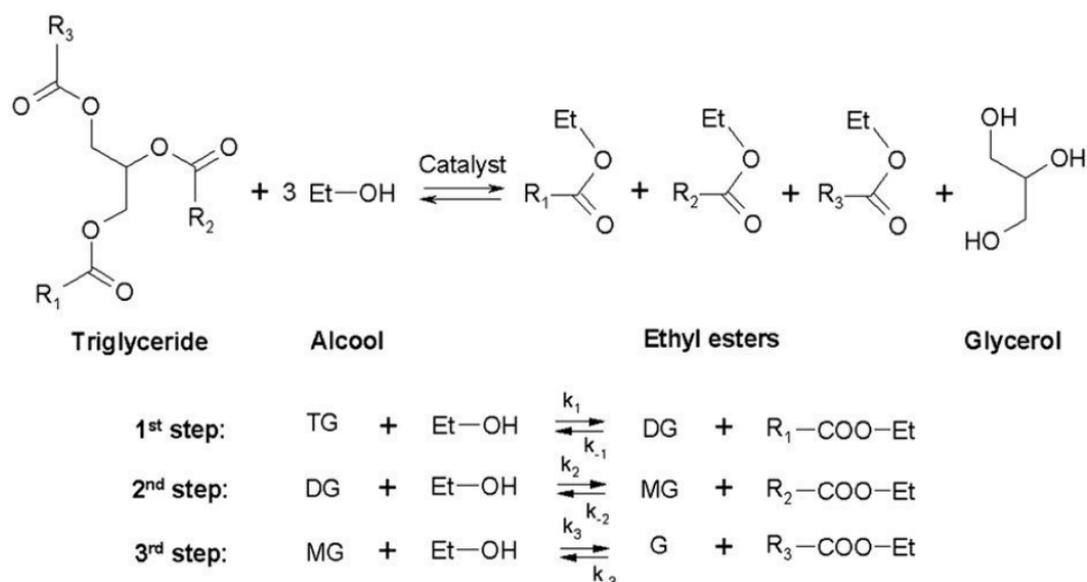


Figura 07. A Reação de Transesterificação

Fonte: Adaptado de YE et al., 2016.

Segundo Lima (2008), os produtos da transesterificação são a glicerina, presente na fase inferior e os ésteres (biodiesel), presentes na fase superior. Ressalta-se que a principal vantagem do processo de produção de biodiesel pela rota enzimática é que os triglicerídeos, bem como, os ácidos graxos livres, podem ser eficientemente convertidos em biodiesel, gerando o glicerol em menores quantidades como coproduto da reação (NIELSEN et al., 2008).

Segundo Batistella et al. (2012), embora exista a vantagem técnica e econômica ressaltada por Nielsen (2008), o elevado custo de produção de enzimas em escala comercial continua a ser o maior obstáculo no processo enzimático. Assim, estudos que possibilitem encontrar intervalos ótimos, potencializando a ação enzimática têm sido bastante incentivados. Além disso, outra contribuição tem sido a realização de pesquisas com o uso de solventes tolerantes, enzimas comerciais e não comerciais e novas tecnologias para a imobilização de lipases, que visa tornar o catalisador reutilizável para produção de biodiesel (NIELSEN et al., 2008). A Figura 08, a seguir mostra um diagrama para a produção do biodiesel.

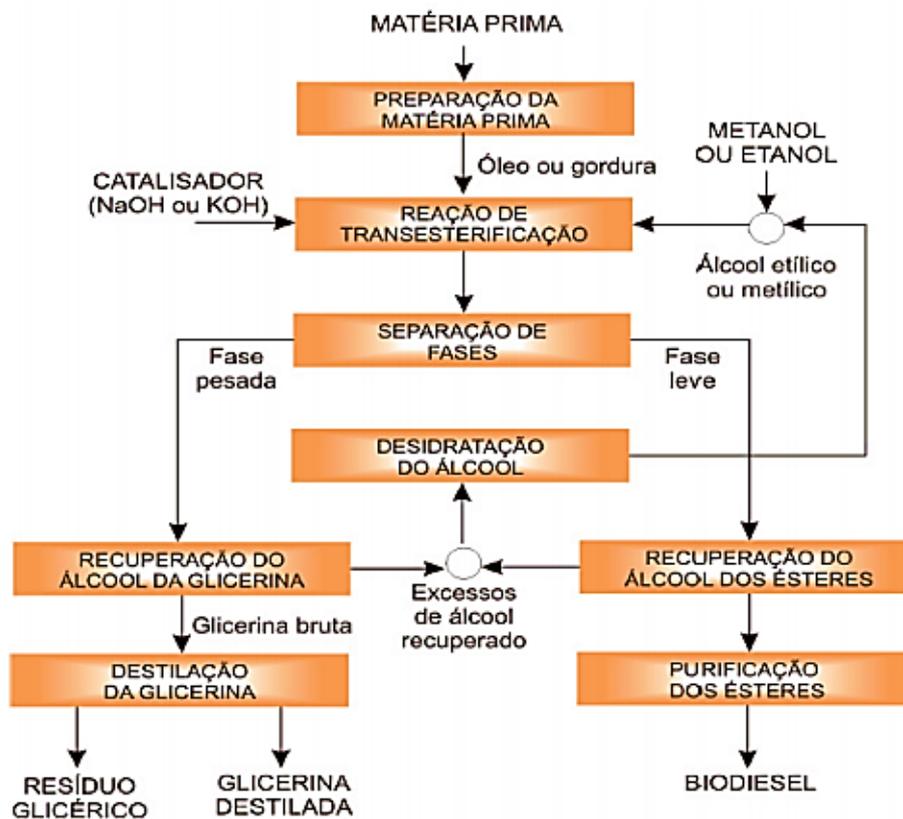


Figura 08. Diagrama para produção do biodiesel.

Fonte: Ferrés, 2010.

Atualmente o biodiesel é preferencialmente preparado com a utilização de catalisadores alcalinos como, metóxidos e hidróxidos de sódio e potássio. No entanto, este processo não é recomendado com matérias primas que apresentem um alto teor de ácidos graxos livres, como é o caso da macaúba. Segundo Aranda et al. (2009) pode ser realizada uma transesterificação enzimática, o que poderá contribuir para diminuir ou até eliminar a formação de glicerina. De acordo com Castro et al. (2004), a utilização de enzimas apresenta um vantagem pois possibilita a ação em condições mais brandas de reação e maior especificidade, gerando menos produtos indesejáveis. As enzimas, em geral, são proteínas que atuam como catalisadores acelerando a velocidade das reações, que pode ser até 1012 vezes maior do que as reações não catalisadas (BENEVIDES, 2013).

As enzimas proveniente dos microorganismos *Candida antarctica*, *Candida sp.*, *Pseudomonas cepaci*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizomucor miehi*, *Porcine pancreatic*, *Chromobacterium viscosum*, *Burkholderia cepacia* e *Thermomyces lanuginosus* são as mais utilizadas para produção de catalisadores enzimáticos (TAN et al., 2010). Na Figura 09 pode-se ver a embalagem comercial de duas enzimas utilizadas no processo.

De acordo com o estudo de Benevides (2013), a enzima proveniente de *Candida antarctica* apresentou ótimas taxas de conversão em diferentes temperaturas e concentrações. O mesmo autor destaca que a enzima proveniente de *T. lanuginosa*

apresentou melhor rendimento em temperaturas mais baixas, a temperatura ótima para ação dessa enzima foi de 32,2 °C.

De acordo com Nasaruddin, Alam & Jami (2014) a busca para solucionar esses problemas, sobretudo a presença de AGL nos óleos vegetais (como o da polpa de macaúba), está na utilização da transesterificação enzimática que desponta com um futuro promissor, em especial por apresentar vantagens como: produzir ésteres de ácidos graxos utilizando menor número de etapas de processo, com menor custo energético, visto que se elimina a etapa de lavagem com água e permite a reutilização do catalisador (SKORONSKI et al., 2010).

6 | O USO DO ULTRASSOM COMO INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA ACELERAR A TRANSESTERIFICAÇÃO

Na transesterificação pode se utilizar o ultrassom como substituição do processo de produção convencional, o qual emprega a agitação mecânica, uma vez que as cavitações² (YU et al., 2010). Segundo Lee et al. (2012) essas cavitações são provocadas por ondas sônicas, em ciclos rápidos de compressões e descompressões. Segundo YU et al. (2010) essas ondas geradas pelo ultrassom aumentam a miscibilidade entre os reagentes, fornecendo energia necessária para a reação, reduzem o tempo de reação, reduz a quantidade de reagentes e aumenta o rendimento e a seletividade da reação.

De acordo com Bahadar et al. (2013) quando um líquido é assistido por ultrassom, existem dois principais mecanismos nos quais células e outras estruturas podem ser alteradas, cavitação e transmissão acústica. A Cavitação se refere a produção de microbolhas no líquido devido a aplicação de ultrassom (ADAM et al., 2012). Segundo Gerde et al. (2012) eventualmente pode ocorrer uma instabilidade, pois as bolhas continuam a se expandir e contrair, podendo até implodir violentamente.

De acordo com Lee et al. (2012) a Transmissão acústica é o mecanismo que facilita a mistura da solução. Os mesmos autores afirmam que há muitos estudos mostrando o ultrassom como promessa de melhora da hidrólise enzimática. A Figura 10 mostra o processo de cavitação acústica.

De acordo com Paiva et al. (2013), a utilização do ultrassom pode ser aplicada a processos que são limitados pela transferência de massa, como a transesterificação alcalina de óleos, de acordo com o autor esse procedimento tende a reduzir o tempo, melhorar a purificação e diminuir o gasto energético. Segundo Lee et al. (2012) tal metodologia pode ser adaptada para processos em escala industrial.

Os autores Machado e Giordani (2014) afirmam que nesse sentido o processo de transesterificação enzimática, assistido por ondas de ultrassom, pode viabilizar a utilização de matérias primas com altos teores de ácidos graxos livres, como óleo de

2 Formação, aumento e implosão de bolhas no meio reacional (YU et al., 2010).

Acrocomia aculeata, e com isso reduzir o custo de produção de biodiesel. Segundo Silva et al. (2013) tais procedimentos levam ao desenvolvimento sustentável e promovem a ecoeficiência, uma vez que essa está diretamente relacionada com a redução de perdas, diminuição da utilização de matérias primas e de geração de resíduos, bem como um melhor aproveitamento energético de fontes renováveis de matéria prima.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto neste trabalho, percebe-se que a cultura da macaúbeira apresenta elevado potencial de produção de biodiesel, porém através dos estudos realizados no Laboratório de Análises de Produtos Alimentícios da UFV constatou que óleo possui elevado Teor de Saponificação, fato que impossibilita a utilização de catalizadores básicos na reação de produção do biodiesel.

Devido à elevada contaminação de recursos hídricos quando se utiliza catalizadores ácidos e a impossibilidade de utilizar catalizadores básicos, devido ao Índice de Saponificação, a proposta de transesterificação enzimática aparece como solução para esse problema, visando o aproveitamento energético do óleo de macaúba para produção de biodiesel de maneira sustentável.

O uso do ultrassom junto com a transesterificação enzimática pode representar um ganho de rendimento na produção do biodiesel, uma vez que a *Acrocomia aculeata* apresenta altos teores de ácidos graxos livres, e esse processo, pode reduzir o custo de produção de biodiesel.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; BRANT, R. S.; ROCHA, G. R.; JARDIM, R. R. **Seletividade de herbicidas para o pinhão manso. In: Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Ricinoquímica**, 3. Resumos... Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

AMARAL, F. P. do; BROETTO, F.; BASTITELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. **Extração e Caracterização Qualitativa do Óleo da polpa e Amêndoas de Frutos de Macaúba [*Acrocomia Aculeata* (Jacq) Lodd. Ex Mart] Coletada na Região de Botucatu, SP.** Revista Energia na Agricultura, Vol. 26, n.1, p.12-20. Botucatu, São Paulo. 2011.

AOCS - **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society** (Method AOCS Ca 5a-40), ed. 5, Champaign, 1998.

ARANDA, D. A. G.; GONÇALVES, J. de; PERES, J. S.; RAMOS, A. L. D.; MELO JUNIOR, C. A. R. de; ANTUNES, O. A. C.; FURTADO, N. C.; TAFT, C. A. **The use of acids, niobium oxide, and zeolite catalysts for esterification reactions.** Journal of Physical Organic Chemistry, v. 22, p. 709-716, 2009.

BAHADAR, A.; KHAN, M. B. **Progress in energy from microalgae: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 27, p. 128-148, 2013.

BATISTELLA, L.; LERIN, L. A.; BRUGNEROTTO, P.; DANIELLI, A. J.; TRENTIN, C. M.; TREICHEL, H.; OLIVEIRA, J. V.; OLIVEIRA, D. **Ultrasound-assisted lipase-catalyzed transesterification of soybean oil in organic solvent system.** Journal Ultrason Sonochem, 2012, v19, 452. Doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.11.018

BENEVIDES, L. C. **Transesterificação Enzimática de Gordura com Alto Índice de Acidez.** São Mateus: Universidade Federal do Espírito Santo, 2013. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, Espírito Santo. 2013.

BHERING, L. **Macaúba: Matéria-prima nativa com potencial para a produção de biodiesel.** Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21272&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em 04 abril 2016.

CARGNIN, A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FOGAÇA, C. M. **Potencial da Macaubeira como Fonte de Matéria-prima par Produção de Biodiesel.** Embrapa Cerrados. Planaltina, Distrito Federal. Junho, 2008.

CASTRO, H. F. de; MENDES, A. A.; SANTOS, J. C. dos. **Modificação de óleos e gorduras por biotransformação.** Revista Química Nova, v. 27, n. 1, p. 146–156, 2004.

CÉSAR, A. S.; ALMEIDA, F. de A.; SOUZA, R. P.; SILVA, G. C.; ATABANI, A. E. **The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 49, 1213-1220, 2015.

CHERUBINI, F.; BIRD, N.D.; COWIE, A.; JUNGMEIER, G.; SCHLAMADINGER, B.; WOESS-GALLASCHA S. **Energy and greenhouse gas based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations.** Journal Resources, Conservation and Recycling. v.53, n.1. p. 434–447, 2009.

CORRÊA, J. B. L. **Processos Hidrológicos Quantitativos e Parametros de Qualidade da Água na Cultura de Macaúba (*Acrocomia aculeata*), Araponga – MG.** 49p. tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2014.

COSTA, L. V.; OLIVEIRA, E. C. A. M.; PIRES, N. R. **Biodiesel: Mamona e Dendê como Culturas Energéticas.** Revista Eletrônica de Energia. v.5, n.2, p.90-99. Dezembro, 2015.

DIAS, H. C. T. **Cultivo da macaúba: ganhos ambientais em áreas de pastagens.** Informe agropecuário, Belo Horizonte, v 32, n. 265, p. 52-60, Nov./Dez. 2011.

DOURADO S. S.; NASCIMENTO, R. F. M.; SOARES, O. R.; SILVA, E. F.; CAVALCANTI, E H. S.; PEDROSO, L. R. M.; ARANDA, D. A. G. **Rota de Produção de Biodiesel de Óleo de Macaúba (*Acrocomia Aculeata*) por Esterificação Seguida de Transesterificação.** Quinquagésimo Congresso Brasileiro de Química – CBQ. Goiana, GO. Novembro, 2015. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2015/trabalhos/8/7458-16678.html>> Acesso em: 14/07/16.

FERREIRA, C. J. R.; KISUFURI, T. C.; FLUMINHAN, A.; GRIGOLI, A. A. **Análises de Parâmetros Físico-Químicos do Óleo Extraído de Espécies Vegetais Utilizadas para a Produção do Biodiesel.** Revista Colloquium Exactarum, v. 7, n.2, p.130 –141. Abr-Jun. 2015.

GOLDEMBERG, J. **Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perpectivas, barreiras e propostas.** São Paulo: 152p. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

GONZALEZ, S. L. **Produção continua de biodiesel por transesterificação de óleo do fruto de macaúba (*Acrocomia aculeata*) e óleo de fritura em metanol e etanol. Supercrítico.** 2012. 251 f. Tese – (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

- GHESTI, G. F.; MACEDO, J. L. de; DIAS, J. A.; DIAS, S. C. L. **Produção de Biodiesel Via Transesterificação Etilica com Zeólitas Básicas**. Revista Química Nova. v.35, n.1, p.119-123. Agosto, 2011.
- IHA, O. K.; ALES, F. C. S. C.; SUAREZ, P. A. Z.; OLIVEIRA, M. B. F. de; MENEGHETTI, S. M. P.; SANTOS, B. P. T.; SOLETT, J. I. **Physicochemical properties of *Syagrus coronata* and *Acrocomia aculeata* oils for bio fuel production**. Industrial Crops and Products, v. 62, 318–322, 2014.
- JIANG, Y.; LUB, J.; SUNA, K.; MAA, L.; DINGA, J. **Esterification of oleic acid with ethanol catalyzed by sulfonated cation exchange resin: Experimental and kinetic studies**. Energy Conversion and Management, v. 76, 980-985, 2013. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.
- LEE, A. K.; LEWIS, D. M.; ASHMAN P. J. **Disruption of microalgal cells for the extraction of lipids for biofuels: processes and specific energy requirements**. Journal Biomass and Bioenergy, v. 46, p. 89–101, 2012. DOI: doi:10.1016/j.biombioe.2012.
- LIMA, D. R. **Produção de ésteres etílicos (biodiesel) a partir da transesterificação básica de óleo residual**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- LIMA, C.F. **Monitoramento Hidrológico da Microbacia do Janjão, com Platio da *Acronomia aculeata*, no Município de Viçosa, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 15p. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2014.
- LIU, W.; YIN, P.; LIU, X.; ZHANG, S.; QU, R. **Biodiesel production from the esterification of fatty acid over organophosphonic acid**. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 21, 893–899, 2015. Doi: 10.1016/j.jiec.2014.04.029.
- LÓPES, B. C.; CERDÁN, L. E.; MEDINA, A. R.; LÓPEZ, E. N.; VALVERDE, L. M.; PEÑA, E. H.; MORENO, P. A. G.; GRIMA, E. M. **Production of biodiesel from vegetable oil and microalgae by fatty acid extraction and enzymatic esterification**. Journal of Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 119, 706-711, 2015. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2014.11.002
- LORENZI, H. **Flora Brasileira: Arecaceae (palmeiras)**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2010.
- LORENZI, H.; SOUZA, H.M., J.T. de Medeiros Costa, L.S.C. de Cerqueira & E. Ferreira. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 2004. 432 p. 15.
- MACHADO, S. A.; GIORDANI, D. S. **Obtenção de Biodiesel a Partir de Óleo de Amêndoa de Macaúba Utilizando Ondas Ultrassônicas**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ. Florianópolis, SC. Outubro, 2014. Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1013-21656-147410.pdf>> Acesso em: 14/07/16.
- MACHADO, W.; GUIMARÃES, M. F.; LIRA, F. F.; SANTOS, J. V. F.; TAKAHASHI, L. S. A.; LEAL, A. C.; COELHO, G. T. C. P. **Evaluation of two fruit ecotypes (total and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Industrial Crops and Products, v. 63, 287-293, 2015.
- MASSOTE, C. H., R. SANTI, A. M. M. **Implementation of a cleaner production program in a Brazilian wooden furniture factory**. Journal of Cleaner Production. Vol. 46, p. 89-987. 2013.
- MICHELIN, S.; PENHA, F. M.; SYCHOSKI, M. M.; SCHERER, R. P.; TREICHEL, H.; VALÉRIO, A.; DI LUCCIO, M. DE OLIVEIRA, D.; OLIVEIRA, J. V. **Kinetics of ultrasound assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil**. Renewable Energy, v. 76, 388-393, 2015.

NASARUDDIN, R.; ALAM, Z.; JAMI, M. S. **Evaluation of solvent system for the enzymatic synthesis of ethanol-based biodiesel from sludge palm oil (SPO)**. *Bioresource Technology*, v. 154, 155-161, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.11.095.

NIELSEN, P.M., BRASK, J., FJERBAEK, L. **Enzymatic biodiesel production: Technical and economical considerations**. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2008, v.110, p.692-700. DOI: 10.1002/ejlt.200800064

NUCCI, S. M. **Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba**. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) - Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo. 2007.

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

Natielle Gomes Cordeiro

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais.

Kelly Marianne Guimarães Pereira

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais.

Luiz Otávio Rodrigues Pinto

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais.

Marcela de Castro Nunes Santos Terra

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais.

José Márcio de Mello

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais.

RESUMO: O Cerrado é considerado como um *hotspot* mundial em decorrência da biodiversidade que abriga. O domínio atua como sumidouro de carbono, serviço ecossistêmico diretamente relacionado com a mitigação climática. Nesse sentido, o estudo objetivou avaliar a variação espaço-temporal do estoque de carbono em fragmentos do Cerrado por meio da geração de mapas temáticos das áreas. Foram amostrados três fragmentos situados na região da bacia do Rio São Francisco e Vale do Jequitinhonha. Nas parcelas inventariadas, mensurou-se todos os indivíduos com DAP ≥ 5 cm, a altura total

de todos os indivíduos que atenderam o critério de inclusão, bem como realizou a identificação botânica. Determinou-se o estoque de carbono presente em cada fragmento por meio do AGB. Realizou-se a análise espacial por meio da geração de semivariogramas e posteriormente empreendeu-se a Krigagem e IDW para obtenção dos mapas temáticos. Para todos os fragmentos analisados, a variação média do carbono esteve entre 10,23 e 32,8 Mg.ha⁻¹. Selecionou-se o modelo exponencial como o de melhor ajuste. Os mapas temáticos permitiram prever quanto ao crescimento do estoque de carbono em todos os fragmentos e seus respectivos intervalos. O estoque de carbono teve um aumento progressivo em todos os fragmentos e anos de mensuração analisados e a utilização da técnica de geoestatística propiciou uma melhor visualização das alterações ocorrentes.

PALAVRAS-CHAVE: Geoestatística; Inventário florestal; Domínio Cerrado.

SPACE-TEMPORAL VARIATION OF CARBON STOCK INTO SAVANNA'S FRAGMENTS IN MINAS GERAIS

ABSTRACT: The Cerrado is classified as a global *hotspot* due to its biodiversity. The domain acts as a carbon sink, an ecosystem service related

to climate mitigation. The aim of this study was to evaluate the space-time variation of the carbon stock in the Cerrado fragments through the generation of thematic maps of the areas. Three fragments were sampled in the region of the São Francisco River and Jequitinhonha Valley Basin. In the inventoried plots, it was measured all individuals with $DBH \geq 5$ cm, their total height as well as the botanical identification. The carbon stock present in each fragment was determined by AGB. Spatial analysis was performed through the generation of semivariograms. It was used the Kriging and IDW to achieve the thematic maps. For all fragments analysed, the mean carbon was between 10.23 and 32.8 $Mg \cdot ha^{-1}$. The exponential model was selected as the best fit. The maps were able to predict the growth of carbon stock in all fragments and their respective intervals. The carbon stock had a progressive growth in all fragments and the use of geostatistics method helped to have a better visualization of it.

KEYWORDS: Geostatistics; Forest Inventory; Cerrado Domain.

1 | INTRODUÇÃO

As comunidades arbóreas abrigam uma diversidade expressiva e, portanto, possuem recursos de grande importância nos aspectos ambientais, sociais e econômicos (ARNOLD et al., 2011; GARDNER et al., 2009; PINHEIRO; MARCELINO; MOURA, 2018; SANQUETTA et al., 2018). Dentre as formações nativas brasileiras, o Cerrado é o segundo maior domínio em dimensão territorial, com grande riqueza florística e paisagística, além de ser considerado como um *hotspot* mundial devido às suas características intrínsecas (FERREIRA et al., 2016; STRASSBURG et al., 2017; SILVA NETO et al., 2016). No entanto, essa vegetação têm sofrido perdas em sua estrutura por causa do uso indiscriminado dos seus recursos para atividades agropecuárias (RIBEIRO et al., 2011; SILVEIRA et al., 2018; STRASSBURG et al., 2017)

Com isso, os estudos sobre o desenvolvimento e crescimento da fitofisionomia além da quantificação do estoque presente, permite a obtenção de informações que direcionam para o emprego de ações mitigadoras a favor da diminuição dos impactos e consequente conservação da vegetação (ALVES et al., 2016; CARVALHO; MARCO JÚNIOR; FERREIRA, 2009; FRANÇOSO et al., 2015; ROQUETTE, 2018)

Dada a importância, o arranjo das comunidades vegetais é considerado como um dos principais direcionadores do ciclo global do carbono (VANDERWEL; LYUTSAREV; PURVES, 2013). Assim, o conhecimento da estrutura da vegetação é de suma relevância, pois permite inferir a respeito de práticas em prol da manutenção das espécies e preservação do carbono (AZEVEDO et al., 2018; FERREIRA et al., 2018) junho e julho de 2016 e teve como objetivo verificar a percepção sobre remanescentes florestais pela visão de discentes de onze colégios estaduais do município de Irati (PR.

O estoque de carbono é considerado um dos mais solenes serviços ecossistêmicos ambientais, sendo diretamente afetado por ações como desmatamento, fogo,

fragmentação e traços funcionais das espécies presentes na área (BELLO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2017; VANDERWEL; LYUTSAREV; PURVES, 2013). Dessa forma, os estudos de dinâmica da comunidade arbórea subsidiam informações sobre a variação do carbono presente em determinado intervalo de tempo.

Cabe ressaltar que a quantificação da variável carbono pode ser obtida por meio de métodos diretos, que consiste no abate das árvores, e indiretos dos quais empregam modelos matemáticos com a utilização das características mensuradas na floresta como o diâmetro e altura (QURESHI et al., 2012; RIBEIRO et al., 2017). Contudo, o estoque de carbono pode ser melhor estimado e a variação visualizada com a aplicação de técnicas espaciais, como a geoestatística (MORAIS et al., 2017; SCOLFORO et al., 2015, 2016). Este método permite a espacialidade da variável de interesse, com a constatação da sua distribuição e variabilidade, além de mensurar os fatores imprevisíveis associados (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Estudos que avaliam simultaneamente variações temporais-espaciais do estoque de carbono da vegetação são escassos, no entanto podem ser úteis para o entendimento da ecologia, ações de conservação e práticas de manejo. Nessa conjuntura, este estudo tem como objetivo avaliar a variação espaço-temporal do estoque de carbono em fragmentos do Cerrado, por meio da geração de mapas temáticos das áreas, como forma de assegurar esse importante serviço ecossistêmico e entender a dinâmica das formações vegetais, nos três períodos de mensuração.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e base de dados

Os dados para realização deste estudo são oriundos de áreas características do domínio Cerrado localizadas na Bacia do Rio São Francisco e do Rio Jequitinhonha (TABELA 1).

Caracterização	Fragmento I	Fragmento II	Fragmento III
Área (ha)	236.85	111.9	178.11
Fitofisionomia	Campo Cerrado	Cerrado sensu stricto	Cerrado sensu stricto
Longitude	45°51'30,12"O	43°47'55,40"O	44°21'10,21"O
Latitude	16°56'33,84"S	17°20'39,23"S	18° 27'55,63"S
Precipitação (mm)	1285.92	1187.21	1312.12
Temperatura média °C	22.95	20.91	21.48
Altitude (m)	578	855	643
Solo	Latossolo	Latossolo	Cambissolo
Parcelas ano I	40 (4 hectares)	11 (1.1 hectares)	11 (1.1 hectares)
Parcelas ano II	40 (4 hectares)	24 (2.4 hectares)	20 (2 hectares)
Parcelas ano III	40 (4 hectares)	24 (2.4 hectares)	20 (2 hectares)
Tamanho da parcela	10 x100 (1000 m ²)		

TABELA 1: Caracterização dos fragmentos avaliados em três municípios de Minas Gerais.

Para a realização do inventário florestal foram alocadas parcelas retangulares por meio da amostragem sistemática (Silva Neto et al., 2017) (TABELA 1). Os levantamentos foram realizados em três períodos para cada fragmento (fragmento I: 2003, 2010 e 2014; fragmento II: 2003, 2005 e 2010; fragmento III: 2002, 2005 e 2013).

Considerou-se a mensuração de todos os indivíduos arbóreos vivos com diâmetro à 1,30 metros do solo (DAP) ≥ 5 cm, como método de inclusão para os três fragmentos. Na mesma ocasião, mensurou-se a altura total e realizou-se a identificação botânica de todos os indivíduos avaliados.

Em todos os fragmentos e anos de mensurações, os indivíduos que atenderam o critério de inclusão foram marcados com placas de alumínio com informações a respeito do número da planta e parcela, além disso todas as unidades amostrais foram georreferenciadas. Sendo assim, tais informações viabilizaram a remedição das árvores nas mensurações posteriores.

2.2 Análise de dados

2.2.1 Estimativa de carbono

Por meio das informações obtidas nos inventários realizados, em cada fragmento, empreendeu-se a estimativa do estoque de carbono presente nas áreas de estudo. Inicialmente realizou-se a quantificação do estoque da biomassa acima do solo (Above-Ground Biomass – AGB) por meio da equação de Chave et al. (2014) modificada por Réjou-Méchain et al. 2017 (EQUAÇÃO 1) para cada indivíduo. Este procedimento leva em consideração, para a estimativa da AGB, a variável diâmetro, assim como a média da densidade da madeira obtida por meio do banco de dados The Global Wood Density (GWD).

$$AGB = \exp(-2,024 - 0,896 * E + 0,920 * \log(WD) + 2,795 * \log(D) - 0,0461 * \log(D)^2) \quad (1)$$

Em que: *AGB* é a biomassa acima do solo; \exp é exponencial; *E* é a medida do estresse ambiental estimado a partir das coordenadas do local; \log é o logaritmo; *WD* é a densidade básica da madeira (g.cm³); *D* é o diâmetro medido a 1,30 metros de altura do solo (cm).

O processamento para estimativa da AGB se deu a partir do software R (R CORE TEAM, 2017) por meio do pacote “BIOMASS” (REJEOU-MECHAIN et al., 2017). As estimativas foram transferidas para planilhas do software EXCEL 2016, em que o valor de AGB de cada árvore foi multiplicado por um fator igual à 0,471, resultando assim no valor de estoque de carbono presente nas parcelas e conseqüentemente nos fragmentos. A utilização deste fator está atrelada a proporção de carbono para as angiospermas, isto é, 47,1% corresponde a fração média de carbono para estes indivíduos (SULLIVAN et al., 2017; THOMAS; MARTIN, 2012)

Por fim, para verificar o crescimento do estoque de carbono para cada fragmento nos períodos analisados, determinou-se o incremento periódico anual (IPA) por hectare da característica de interesse. Além disso, calculou-se o coeficiente de variação (CV%) para todas as áreas avaliadas e seus respectivos intervalos de mensuração.

2.2.2 Análise espacial

Para todos os fragmentos, com os dados de estoque de carbono referente à cada parcela em seus respectivos anos de mensuração, realizou-se a análise geoestatística a fim de verificar a estrutura de continuidade espacial por meio do pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2016) do software R (R CORE TEAM, 2017). Foram gerados os semivariogramas experimentais e ajustados para os modelos teóricos esférico, exponencial e gaussiano. Mediante os ajustes dos semivariogramas definiu-se os parâmetros: efeito pepita, alcance e patamar. A avaliação do desempenho e seleção do modelo ajustado se deu a partir da análise de parâmetros estatísticos como o erro reduzido, desvio padrão dos erros reduzidos, erro médio absoluto e critério de informação de Akaike (AIC).

Com a aplicação do interpolador espacial, mediante a utilização do software ArcGis 10.5, para aqueles fragmentos e anos de mensuração que apresentaram dependência espacial procedeu-se com a Krigagem ordinária, procedimento que leva em consideração a distância e covariância existente entre os pontos. Para os fragmentos e períodos inventariados que não apresentaram dependência espacial, optou-se por trabalhar com o Inverso Quadrado da Distância (IDW), que aborda somente a distância existente entre os pontos. Ressalta-se que para todas as áreas avaliadas e respectivos intervalos de mensuração, realizou-se a distribuição do carbono em seis classes de intervalos de mesma amplitude (5; 15; 25; 35; 45 e 55 Mg. ha⁻¹). Por meio

dos mapas gerados pelas técnicas supracitadas empreendeu-se a comparação entre os estoques de carbono presente nas áreas de estudos e anos de mensuração.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por intermédio dos levantamentos florestais realizados nas áreas de interesse quantificou-se o estoque de carbono presente nos fragmentos. De maneira geral, pode-se inferir que houve um crescimento da variável em todas as áreas ao longo dos períodos inventariados. No entanto, ressalta-se que para os fragmentos II e III houve o acréscimo no número de unidades amostrais, a partir da segunda mensuração, e este fato contribuiu para uma melhor caracterização da variabilidade existente na área e conseqüentemente, melhor descrição dos resultados obtidos.

Para todos os fragmentos analisados, a variação média do carbono esteve entre 10,23 e 32,8 Mg.ha⁻¹. Os resultados obtidos neste estudo se encontram no intervalo de estoque de carbono esperado para a formação vegetal ao se comparar com valores encontrados em outros estudos. Cordeiro et al. (2018), avaliando a variação temporal do estoque de carbono em uma área de cerrado *sensu stricto*, também em três períodos, encontraram um intervalo de 11,51 a 34,52 Mg.ha⁻¹. Scolforo et al. (2015), ao realizar um mapeamento do carbono em três domínios brasileiros, discorrem que o cerrado *sensu stricto* apresenta um estoque de 11,40 Mg.ha⁻¹. No entanto, Lopes e Miola (2010) avaliando o sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado, quantificaram um valor de 3,85 Mg.ha⁻¹, resultado inferior a todos os fragmentos avaliados neste estudo. Os valores de estoque de carbono médio por fragmento e o coeficiente de variação desta característica dentro das áreas estudadas se encontram na tabela 2.

	FRAGMENTO								
	I			II			III		
Ano	2003	2010	2014	2003	2005	2010	2002	2005	2013
N	40	40	40	11	24	24	11	20	20
C (Mg.ha ⁻¹)	10.23	13.54	15.68	23.36	26.12	31.31	18.98	26.70	32.8
CV (%)	75,73	64,24	59,71	31,77	26,55	24,03	66,60	53,06	46,50

TABELA 2 – Estoque de carbono médio e coeficiente de variação dos fragmentos avaliados em seus respectivos intervalos de tempo. Em que: N é o número de parcelas amostradas; C é o carbono médio; CV é o coeficiente de variação.

Ao quantificar o incremento periódico anual por hectare, observou-se que este variou entre 0,3054 a 2,5740 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Considerando todos os fragmentos analisados, o primeiro apresentou menor IPA nos dois intervalos de dinâmica (2003-2010: 0,4723 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 2010-2014: 0,3054 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹). Ao avaliar o fragmento II, observou-se que este exibiu um incremento próximo nos dois intervalos (2003-

2005: $1,3799 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 2005-2010: $1,0393 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). Quanto ao fragmento III, constatou-se um maior incremento no primeiro intervalo ($2,5740 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). No entanto, no decorrer do tempo houve um decréscimo acentuado do IPA ($0,7624 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), o que pode ser atribuído a uma estabilização do estoque de carbono, pois essa área possui pouca influência antrópica, o que resulta em um bom estado de conservação do fragmento (RAVINDRANATH; CHATURVEDI; MURTHY, 2008) .

No que diz respeito à análise espacial, para todos os fragmentos e intervalos avaliados, mediante o diagnóstico dos semivariogramas e parâmetros estimados, selecionou-se o modelo exponencial como sendo o de melhor ajuste. Ressalta-se que o modelo exponencial geralmente apresenta um bom desempenho para trabalhos com o mesmo direcionamento deste estudo (MORAIS et al., 2017; SCOLFORO et al., 2016). Para os fragmentos e intervalos que apresentaram dependência espacial, observou-se que o erro absoluto variou entre $4,37$ a $6,41 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Assim também, os modelos apresentaram baixos valores de erro reduzido e desvio padrão dos erros reduzidos.

Ao analisar os semivariogramas obtidos (FIGURA 1), foi possível depreender que o fragmento I apresentou dependência espacial em todos os períodos de mensuração, diferindo do fragmento II que apresentou dependência somente nos anos de 2005 e 2010. Cabe ressaltar que, o fragmento III, por sua vez, não apresentou dependência em nenhum dos anos avaliados.

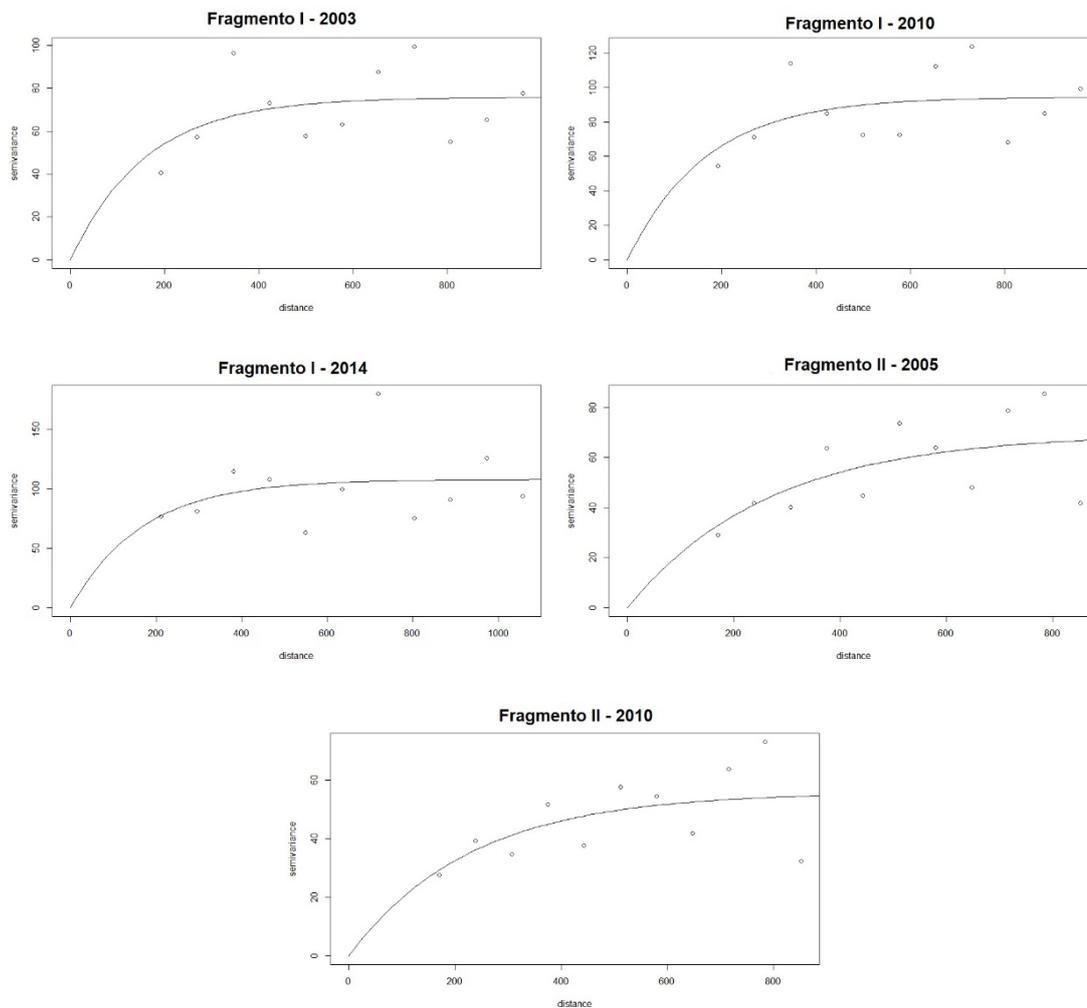


Figura 1 – Semivariograma do modelo exponencial para os três fragmentos e respectivos intervalos de mensuração.

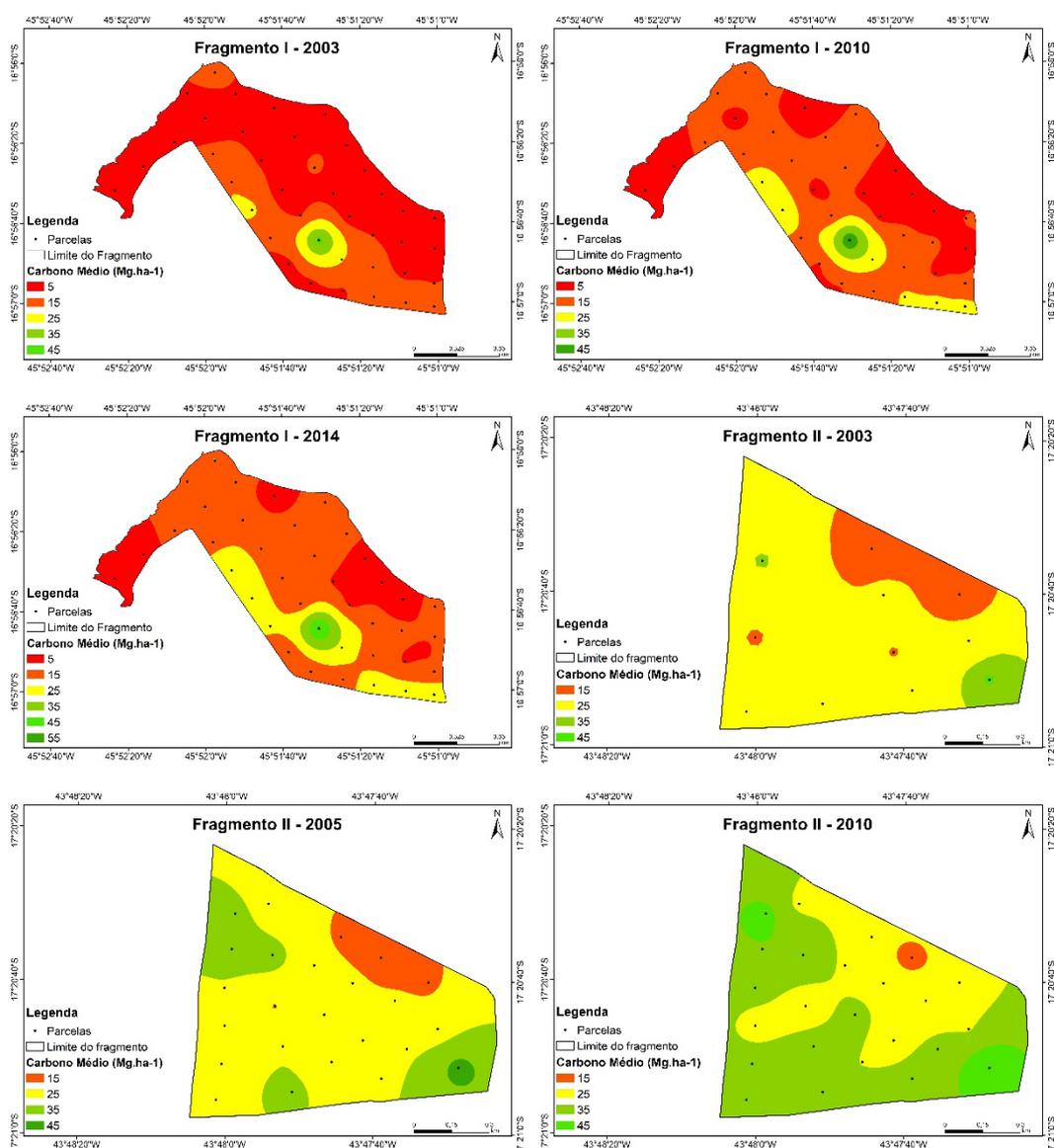
Tendo em vista os resultados apresentados quanto a dependência espacial, foram gerados os mapas temáticos seguindo o critério adequado para cada situação, krigagem ou inverso quadrado da distância (IDW), com o objetivo de visualizar o comportamento da variável carbono nos fragmentos ao longo do tempo.

Considerando que todos os fragmentos tiveram os dados de carbono distribuídos em seis classes, a variação do estoque de carbono pôde ser melhor visualizada entre os períodos. Para o fragmento I, com vegetação predominante de campo cerrado, notou-se uma alta concentração do estoque de carbono na primeira classe ($5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para o primeiro ano de mensuração. No entanto, com o decorrer do tempo, houve uma diminuição de área para a classe de $5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, deslocando para as classes de 15 e $25 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que passam a ter uma maior representatividade. A variação do estoque de carbono entre os anos de medição está atrelada ao crescimento da vegetação, em que no primeiro ano havia uma maior quantidade de indivíduos com menores diâmetros, resultando em menor estoque de carbono (LOPES; MIOLA, 2010)

O fragmento II, que inicialmente possuía 11 parcelas e nas medições posteriores houve o acréscimo de 13 parcelas, apresentou um comportamento similar em que constata-se uma transição do estoque de carbono para as maiores classes.

Evidencia-se aqui que o primeiro período de mensuração nesta área não apresentou dependência espacial, portanto o mapa de cores foi gerado pelo método IDW, que leva em consideração somente a distância entre os pontos. Para os anos de 2005 e 2010, procedeu-se com a krigagem, metodologia que aborda a distância e covariância.

Em relação ao fragmento III, que segue o mesmo padrão do fragmento anterior quanto ao acréscimo de parcelas, é notável o crescimento quanto ao estoque de carbono. Pode-se inferir que da primeira mensuração em 2002 para a última em 2013, houve um decréscimo significativo na representatividade da primeira classe e um aumento na última classe ($45 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). O procedimento aplicado foi o de IDW, em todos os períodos, pois não houve a ocorrência de dependência espacial. Cabe destacar que, de forma geral, as parcelas já existentes na primeira mensuração tenderam a permanecer na mesma classe na segunda medição, o que pode estar associado com o curto intervalo (2002-2005) existente entre os dois inventários. Em contrapartida, a terceira medição apresentou uma maior área nas últimas classes de carbono, o que pode ser explicado pelo fato do maior intervalo de medição (2005-2013) que resultou em um maior crescimento dos indivíduos (FIGURA 2).



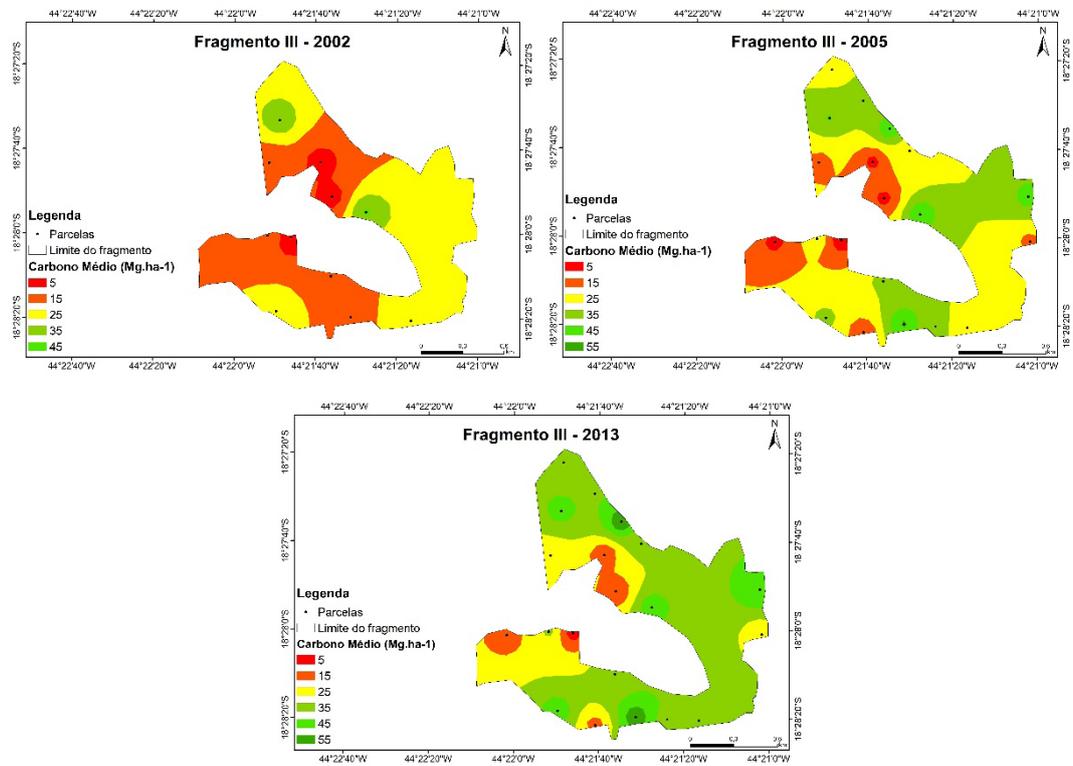


Figura 2 – Mapas de interpolação para seis classes de carbono médio em cada intervalo de tempo dos fragmentos avaliados.

A constante transição do estoque de carbono entre as classes permite depreender quanto ao comportamento da formação vegetal, que ao passar dos anos aumentou seu potencial de estocagem, atuando assim como sumidouro de carbono (CORDEIRO et al., 2018; 2014; RIBEIRO et al., 2011). Tais resultados possuem importância significativa, ainda que na fitofisionomia do Cerrado a maior estocagem de carbono ocorra abaixo do solo (LOPES; MIOLA, 2010)

O crescimento em carbono detectado nas áreas de estudo se justifica por estas serem consideradas como reservas legais ou áreas de preservação permanente, portanto entende-se que há pouca influência antrópica. Este serviço ecossistêmico prestado pelos ambientes naturais é diretamente afetado por distúrbios como desmatamento e degradação (BELLO et al., 2015; PYLES et al., 2018). Além disso, considerando que os estoques presentes, seja carbono, biomassa ou volume, em uma determinada formação vegetal são diretamente afetados pela perda da cobertura vegetal (SANQUETTA et al., 2018) pode-se inferir que o estoque de carbono nos fragmentos tiveram um crescimento em decorrência da conservação da área.

Em relação à área de abrangência do estoque de carbono, mediante os gráficos foi possível inferir que todos os fragmentos apresentaram um comportamento semelhante, isto é, ao longo do tempo houve um incremento do estoque de carbono ocasionando assim, em uma transição das áreas para a classe subsequente (FIGURA 3).

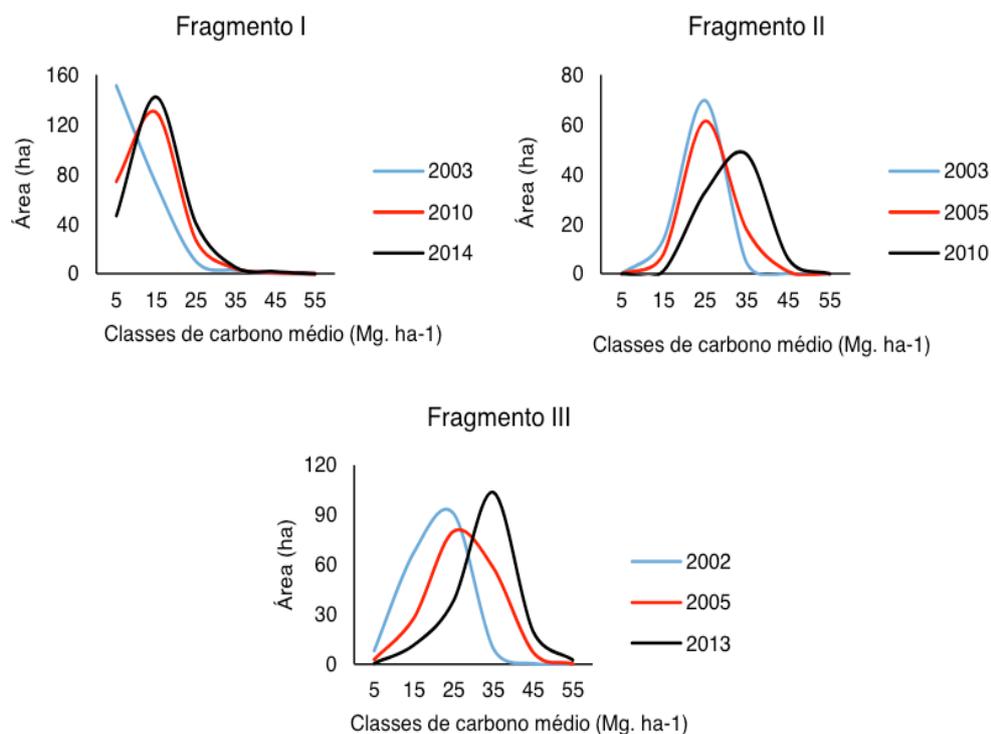


Figura 3 – Gráficos representativos da abrangência de área por cada classe de carbono médio por hectare para todos os fragmentos e períodos avaliados.

Considerando os resultados obtidos neste estudo, quanto ao crescimento do estoque de carbono nos fragmentos e melhor visualização da variação da característica de interesse ao longo dos anos, por meio dos mapas temáticos, torna-se relevante exaltar a utilização de ferramentas como a geoestatística. Esta metodologia, oriunda da estatística espacial, vem fornecendo subsídios para avaliação do desenvolvimento das formações vegetais em capacidade de estocagem, assim como informações em relação aos prováveis impactos ocorrentes nas áreas (ROQUETTE, 2018).

4 | CONCLUSÃO

O estoque de carbono teve um aumento progressivo em todos os fragmentos e anos de mensuração analisados, comprovando assim a capacidade da formação em atuar como sumidouro de carbono. Ressalta-se que, a utilização da técnica de geoestatística propiciou uma melhor visualização das alterações ocorrentes nos fragmentos em seus respectivos anos de mensuração, permitindo assim inferir quanto ao desenvolvimento. Os fragmentos apresentaram uma maior área de abrangência, quanto as classes de maior estoque de carbono no decorrer do tempo e isso implica ainda mais no incremento no estoque presente. Por fim, no segundo intervalo de cada fragmento, houve um decréscimo no incremento periódico anual, que possivelmente está associado com uma estabilização do estoque de carbono.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. R. et al. Crescimento inicial de *Parkia platycephala* (Benth.) e *Enterolobium timbouva* (Mart.) sob condições de campo numa área de Cerrado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 2, p. 154–164, 2016.
- ARNOLD, M. et al. EDITORIAL: Forests, biodiversity and food security. **International Forestry Review**, v. 13, n. 3, p. 259–264, 2011.
- AZEVEDO, A. D. de et al. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 2, p. 183–194, 2018.
- BELLO, C. et al. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, Washington, v. 01, n. 11, p. 1-10, 2015.
- CARVALHO, F. M. V.; MARCO JÚNIOR, P. DE; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, n. 7, p. 1392–1403, 2009.
- CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, Illinois, v. 20, n. 10, p. 3177-3190, 2014.
- CORDEIRO, N. G. et al. Variação temporal do estoque de carbono e volume de madeira em um fragmento de cerrado *sensu stricto*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 24, p. 152–166, 2018.
- FERREIRA, J. et al. Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. **Nature Climate Change**, Londres, v. 8, n. 8, p. 744–749, 2018.
- FERREIRA, R. Q. S. et al. Uso potencial e síndromes de dispersão das espécies de três áreas de cerrado *sensu stricto*, Tocantins. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 9, n. 3, p. 73–86, 2016.
- FRANÇOSO, R. D. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza e Conservação**, Goiás, v. 13, n. 1, p. 35–40, 2015.
- GARDNER, T. A. et al. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Ecology Letters**, Oxford, v. 12, n. 06, p. 561–582, 2009.
- LOPES, R. B.; MIOLA, D. T. B. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado. **SynThesis Revista Digital FAPAM**, Pará de Minas, v. 2, n. 2, p. 127–143, 2010.
- MORAIS, V. A. et al. Spatial and vertical distribution of litter and bellowground carbon in a Brazilian Cerrado vegetation. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 43–52, 2017.
- PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. Espécies arbóreas de uso múltiplo e sua importância na conservação da biodiversidade nas áreas verdes urbanas de Palmas, Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 49, n. Dezembro, p. 264–282, 2018.
- PYLES, M. V. et al. Loss of biodiversity and shifts in aboveground biomass drivers in tropical rainforests with different disturbance histories. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 27, n. 12, p. 3215–3231, 2018.
- QURESHI, A. et al. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. **Environmental Science and Policy**, v. 16, n. February, p. 81–89, 2012.

- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- RAVINDRANATH, N. H.; CHATURVEDI, R. K.; MURTHY, I. K. Forest conservation, afforestation and reforestation in India: Implications for forest carbon stocks. **Current Science**, Bengaluru, v. 95, n. 2, p. 216–222, 2008.
- RÉJOU-MÉCHAIN, M. et al. BIOMASS : an R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. **Methods in Ecology and Evolution**, Londres, v. 8, n. 9, p. 1163–1167, 2017.
- RIBEIRO, S. C. et al. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011.
- RIBEIRO, S. C. et al. Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a Brazilian Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 5, p. 1–11, 2017.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. **geoR: Analysis of Geostatistical Data**. R package version 1.7-5.2. 2016. Disponível: <https://CRAN.R-project.org/package=geoR>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- ROQUETTE, J. G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 1350–1363, 2018.
- SANQUETTA, C. R. et al. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas Florestas Nativas Brasileiras: 1990-2015. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 193–198, 2018.
- SCOLFORO, H. F. et al. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian Biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-arid woodland. **Plos ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–20, 2015.
- SCOLFORO, H. F. et al. Spatial interpolators for improving the mapping of carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Atlantic forest and Savanna. **Forest Ecology and Management**, v. 376, n. September, p. 24–35, 2016.
- SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. DE; OLIVEIRA, A. D. DE. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado: Florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendência de crescimento e áreas aptas para o manejo florestal**. Lavras: Editora UFLA. 2008, 816 p.
- SILVA NETO, V. L. et al. Fitossociologia e distribuição diamétrica de uma área de Cerrado sensu stricto, Dueré - TO. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 10, n. 1, p. 91–106, 2016.
- SILVEIRA, E. M. de O. et al. Reducing the effects of vegetation phenology on change detection in tropical seasonal biomes. **GIScience & Remote Sensing**, v. 56, n. 5, p. 1–19, 2018.
- STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, Londres, v. 1, n. 0099, p. 1–3, 2017.
- SULLIVAN, M. J. P. et al. Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. **Scientific Reports**, Londres, v. 7, n. 39102, p. 1–12, 2017.
- THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: A synthesis. **Forests**, Basel, v. 3, n. 2, p. 332–352, 2012.

VANDERWEL, M. C.; LYUTSAREV, V. S.; PURVES, D. W. Climate-related variation in mortality and recruitment determine regional forest-type distributions. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 11, p. 1192–1203, 2013.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de texto, 2013. 215 p.

BIODIGESTOR CONTROLADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Marcos Baroncini Proença

UNINTER, Escola Superior Politécnica
Curitiba – PR

Simone Ribeiro Morrone

UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia
Florestal
Curitiba – PR

Dimas Agostinho da Silva

UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia
Florestal
Curitiba – PR

Herdney Souza dos Santos

UNINTER, Escola Superior Politécnica
Curitiba – PR

Leila Fabiola Ferreira

UNINTER, Escola Superior Politécnica
Curitiba – PR

Luiz Roberto Baracho Rocha

UNIOPET
Curitiba – PR

Cristoffer Lincon

UNIOPET
Curitiba – PR

Abel José Vilseke

UNIOPET
Curitiba – PR

Cooperativa formada por grupos de pesquisa da UNINTER, UFPR e UNIOPET: desenvolvimento de biodigestor para produção de biogás, a partir da biomassa de resíduos florestais e agrícolas, controlado por inteligência artificial. A primeira fase contempla o projeto, construção e automatização de biodigestor em escala piloto.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, biomassa, biodigestor, automação, rede cooperativa.

BIODIGESTOR CONTROLLED BY A.I.

ABSTRACT: This paper presents the results of the first phase of the Cooperative Network project formed by research groups from UNINTER, UFPR and UNIOPET: development of biodigestor controlled by artificial intelligence for the biogas production from biomass of forest and agricultural residues. The first phase contemplates the design, construction and automation of biodigestor in pilot scale.

KEYWORDS: Biogas, biomass, biodigestor, automation, cooperative network.

1 | INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas enfrentados no processo de digestão aeróbica e anaeróbica em biodigestores é o controle contínuo do processo. Parâmetros como pH, temperatura e agitação devem ser monitorados em limites

RESUMO: Neste trabalho é apresentado o resultado da primeira fase do projeto de Rede

restritos durante um tempo de, no mínimo, 35 dias. A produção do biogás com maiores frações volumétricas de metano está diretamente ligada a variações destas grandezas (CORTEZ et al, 2008).

Muitas vezes, a característica da biomassa leva a oscilações bruscas das variáveis de processo e a reação do operador para agir no controle destas pode não ser rápida o suficiente, gerando danos à produção do biogás (BONGARDS et al, 2014). Desta maneira, o uso de ferramentas de controle, por meio de inteligência artificial, mais eficientes e independentes de operadores, torna-se necessário (SATISH et al, 2016).

Através de uma Rede Cooperativa de Pesquisa envolvendo Grupos de Pesquisa da UNINTER e da UNIOPET, mais o Laboratório de Energia de Biomassa Florestal e Bioenergia da UFPR, foi desenvolvido o projeto de um biodigestor automatizado, controlado por inteligência artificial em escala piloto, para uso no estudo e aprimoramento de processos de biodigestão de resíduos florestais e agroindustriais, visando aumentar a eficiência na produção do biogás.

2 | METODOLOGIA

a. Locais do trabalho:

Laboratório de Sistemas Embarcados da UNINTER, Laboratórios de Engenharia da UNIOPET, Laboratório de Energia de Biomassa Florestal e Bioenergia da UFPR, todos em Curitiba-Pr.

b. Procedimento:

O projeto está dividido em três fases:

- Projeto e construção do biodigestor;
- Automação usando Arduino para controle a distância;
- Desenvolvimento da I.A. para tomadas de decisão de controle.
- Produção de biogás a partir de biomassa de palmito pupunha.

3 | RESULTADOS OBTIDOS

As figuras 1a e 1b mostram o biodigestor construído com os seguintes parâmetros:

- Capacidade 50L;
- Diâmetro 36 cm;
- Altura 50 cm;
- Alimentador com diâmetro de 10 cm e altura 65 cm;
- Motor de 2 rps para a bomba de agitação (14 kgf/cm²).

- Sistema microcontrolado usando Arduino.
- Algoritmo de Inteligência Artificial usando o princípio Machine Learning.



A



B

Figura 1. Biodigestor. Fonte: os autores.

Na figura 2 é possível ver a tela de controle, por celular, das variáveis de processo: temperatura, alimentação, quantidade de ar, agitação, pH. O protocolo de controle na nuvem foi criado usando o aplicativo ThingSpeak e o controle, via celular, pelo aplicativo Blink, ambos com sucesso.

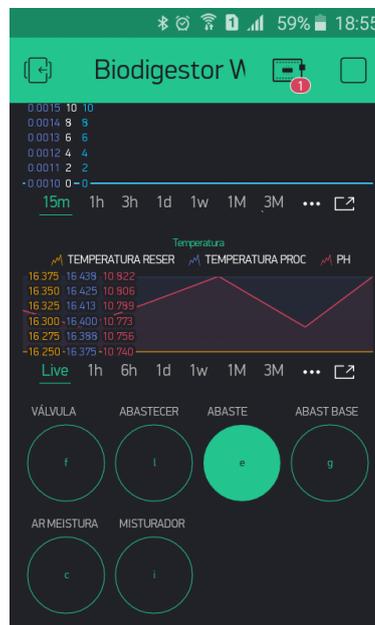


Fig.2. Controle por aparelho celular usando o aplicativo Blink.

Fonte: os autores.

Os algoritmos responsáveis pelas tomadas de decisão pela Inteligência Artificial já foram desenvolvidos e partirão agora para a etapa de aprendizagem e otimização.

Isto será feito no processo de biodigestão da pupunha, no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal e Bioenergia da UFPR.

REFERÊNCIAS

- BONGARDS, M.; GAIDA, D.; TRAUER, O.; WOLF, C., **Intelligent automation and IT for the optimization of renewable energy and wastewater treatment.** *Ener.Sust.Soc* 4:19, 2014.
- CORTEZ, L.A.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ.E.O., **Biomassa para energia**, Campinas: Unicamp, 2008.
- SATHISH, S.; VIVEKANANDAN, S. **Parametric optimization for floating drum anaerobic bio-digester using response surface methodology and artificial neural network.** *Alex.Eng.J.* 55, 3297-3307, 2016.

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ADSORBENT OBTAINED FROM AGROINDUSTRIAL WASTE BIOMASS

Arthur Hoffmann dos Santos

Mining, Metallurgical and Materials Engineering
Graduate Program, School of Engineering,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Brazil

Diana Fernanda Caicedo

Mining, Metallurgical and Materials Engineering
Graduate Program, School of Engineering,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Brazil

Joana de Souza Mücke

Mining, Metallurgical and Materials Engineering
Graduate Program, School of Engineering,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Brazil

Aline Krum Ferreira

Mineral Processing Laboratory, Metallurgy
Department, School of Engineering, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Brazil

Luiz Antonio Mazzini Fontoura

Product Development and Research Center,
School of Industrial Chemistry, ULBRA, Brazil

Samuel José Santos

Product Development and Research Center,
School of Industrial Chemistry, ULBRA, Brazil

Irineu Antonio Schadach de Brum

Metallurgy Department, School of Engineering,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Brazil

alternatives with low costs in the treatment of effluents, together with the adequate waste disposal, makes the use of vegetal biomass a viable and environmentally correct alternative. In Brazil there is a great production of peanuts, and the peeling of the peanut is considered an agroindustrial residue that can be used as an adsorbent. Using this information, this work focused on the use of agroindustrial peanut shells to prepare an inorganic adsorbent, and the characterization of the prepared adsorbent. The methods used for this study were based on physical-chemical analysis and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The results show that the use of a biomass of agroindustrial waste as adsorbent can be applied due to its property, so from the analyzes showed the properties that are good for adsorption applications.

KEYWORDS: Biomass; Biosorbent; Water and wastewater treatment; Waste management.

1 | INTRODUCTION

The increasing demand for low-cost alternatives to effluent treatment, coupled with adequate waste disposal makes the use of plant biomass from agro-industrial waste a viable solution, economically feasible and environmentally friendly processes. A large variety of low-cost adsorbents have been

ABSTRACT: The increasing demand for

examined for their ability to remove various types of pollutants from water and wastewater, and, in general, an adsorbent can be assumed as “low cost” if it requires little processing, is abundant in nature, or is a by-product or waste material from the industry. Agricultural waste materials are economic and eco-friendly due to their chemical composition, as well their availability in abundance, renewable nature and low cost make them viable option for aquatic pollutants remediation. Agricultural by-products usually are composed of lignin and cellulose as major constituents and may also include other polar functional groups of lignin, which include alcohols, aldehydes, ketones, carboxylic, phenolic, and ether groups. These groups have ability to bind aquatic pollutants through different binding mechanisms. Being a renewable resource and an agro-industrial waste, these wastes are, therefore, a promising resource for environmental technology if applied in the treatment of water and wastewaters (BHATNAGAR et al., 2015).

Peanut shells are an agroindustrial residue that can be used as an adsorbent (BOUMCHITA et al., 2016). In Brazil, peanut (*Arachis hypogaea L.*) has a large production, producing 466.2 thousand tons in 2016/2017 harvest (CONAB, 2018), being promising the use as biosorbent through peanut shell waste due to large production, and also to provide environmentally appropriate for waste of this production.

In this context, this work focused in the use of agro-industrial waste of peanut shell for preparation of an adsorbent in natura, and the characterization of prepared adsorbent.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 Agroindustrial waste biomass

The agroindustrial waste of peanut shells used in this study was collected from a peanut and glucose processing company, located in the municipality of Santo Antônio da Patrulha, Brazil.

2.2 Adsorbent preparation

The agroindustrial waste was first washed several times with water to remove dirt and dried in the oven at 50°C for 24 hours. The peanut shells (PS) biomass was selected after drying, separating twigs and straw from the shells, in order to work only with the peanut shells. After that the PS were grounded and sieved to obtain particle size in the bands: between 42 mesh and 60 mesh.

2.3 Adsorbent Characterization

The adsorbent was subjected to the characterization and the physical-chemical parameters were determined to know moisture, volatile material, ashes and fixed carbon,

and also were realized characterization in Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

2.3.1 Pshysical-chemical parameters

The physical-chemical parameters are useful to obtain information about the studied biomass, contributing to a better responses understanding of adsorption process.

For the analysis of physico-chemical parameters, it was performed based on Brazilian standards NBR-8293, NBR-8289 and NBR-8290.

2.3.2 FTIR

The FTIR spectra was recorded in mid IR region in the range of 4000 to 400 cm^{-1} in order to identify the major functional groups present in peanut shell.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Pshysical-chemical parameters

The PS physical-chemical compositions obtained with the analysis are shown in Table 1, which shows results that are typical of organic materials, as in the case of the biomass residue used in this study.

Parameter	Composition %
Moisture	8,96%
Volatile Material	76,54%
Ashes	3,04%
Fixed Carbon	20,41%

Table 1. PS physical-chemical composition used in this study.

3.2 FTIR

The FTIR spectra is shown in Figure 1. The broad and intense peak around 3310 cm^{-1} corresponds to O-H stretching vibrations wich are characteristic functional groups of cellulose and lignin, components present in PS.

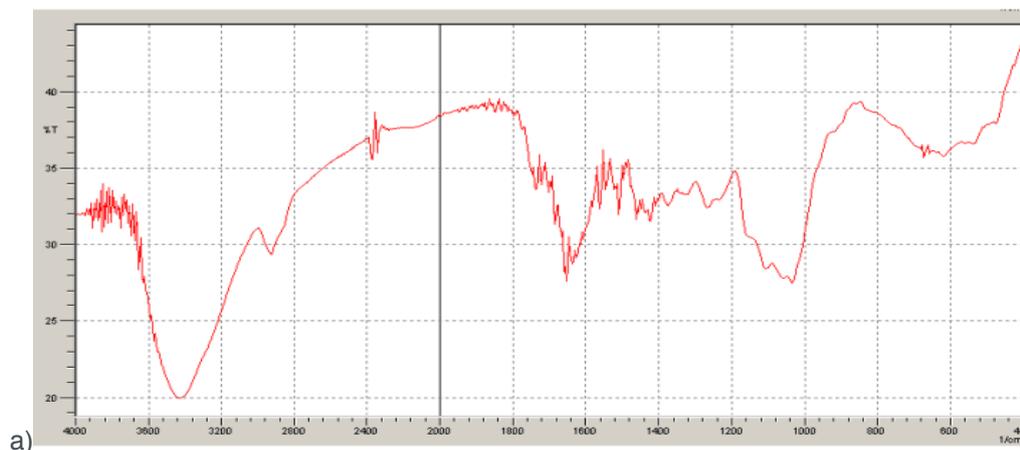


Figure 1. FTIR spectra of PS.

4 | CONCLUSION

This study presented that the use of an agroindustrial waste biomass as adsorbent may be applied due its property. In the case of this study, was evaluated the physical-chemical parameters and functional groups, showing properties that is good for adsorption applications.

5 | ACKNOWLEDGES

Laboratório Multitecnicas do Instituto de Química da UFRGS.

REFERENCES

- BHATNAGAR, A., SILLAMPÄÄ, M.; WITEK-KROWIAK, A.** Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – A review. *Chemical Engineering Journal*. 270, 2015, Vols. 244–271.
- BOUMCHITA, S., LAHRICHI, A., BENJELLOUN, Y., LAIRINI, S., NENOV, V., ZERROUQ, F.** Application of Peanut shell as a low-cost adsorbent for the removal of anionic dye from aqueous solutions. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. V. 8, Issue , Page 2353-2364, 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB).** Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. V.5 – Safra 2017/18 – N.7 – Sétimo levantamento. Abril, 2018.

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL WITH CHARCOAL PYROLIGNEOUS LIQUOR

Marcos Baroncini Proença

UNINTER, Escola Superior Politécnica
Curitiba – PR

Simone Ribeiro Morrone

UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia
Florestal
Curitiba – PR

Dimas Agostinho da Silva

UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia
Florestal
Curitiba – PR

ABSTRACT: In this article, biodiesel production from waste cooking oil with charcoal pyroligneous liquor was studied with the objective to analyze the viability of this environmental pollutant for biofuel production. A acid catalysis with H₂SO₄ followed by a alkali catalysis with KOH was performed in order to enhance the yield of the transesterification. The amount of liquor added varied from 20% to 40% (in relation to the volume of acid). It was also analyzed if the biofuel produced met the Brazilian Fuel, Gas and Petroleum Agency Standards (regulation values), in order to be used in Diesel engines and ASTM 6751. The obtained results showed that the biodiesel produced using these residues met the Standards in relation to density, kinematic viscosity and acidity (free fatty acids). However, water content and flash point were not

granted.

KEYWORDS: Biodiesel, pyroligneous liquor, waste coking oil, transesterification.

1 | INTRODUCTION

Due to abrupt retraction on the demand of wood charcoal and the increase in production costs, there was the need for wood charcoal enterprises to adjust themselves to the new scenario, mainly on harvest mechanization. For these enterprises, labour, fertilizers and diesel oil represent 75% of effective operational cost (EOC) in Brazil. Therefore, any measure that implies on reducing these costs will affect positively the EOC (REUMERMAN et al, 20020). The incorporation of biodiesel on diesel oil, used on harvest mechanization, is one of the alternatives. In addition, electric generators can operate totally with biodiesel and reduce energy costs, turning into an income source.

The objective of this study is the proposition of applying two environmental pollutants: pyroligneous liquor, liquid phase, and waste cooking oil, for biodiesel production without any modifications either in process or in final product. Pyroligneous liquor has in its composition acetic acid, acetone and methanol, which are substances that are commonly used

for biodiesel transesterification. The produced biodiesel will be analysed in order to meet international and national standards. (PHAN et al, 2008) (MEHER at all, 2006).

2 | METHODS AND MATERIALS

Apparatus

The apparatus consists of a glass reactor (500 mL) equipped with around bottomed flask coupled with a reflux condenser, a digital thermometer (temperature range -50°C to 300°C; accuracy +/- 1°C), surrounded by a heating mantle thermostatically controlled device.

Waste cooking oil was provided by the student's canteen of UFPR campus Botânico and it was stored in a 50 L plastic bottle. The physicochemical properties of the waste cooking oil are in table 1.

Table 1
Physicochemical properties of waste cooking oil

property	value	standard
acidity (mg KOH.g ⁻¹)	0.02	ASTM D664 -11
water content (%)	11.501	ASTM D6304 -11
density (kg.m ⁻³)	918.8	ASTM D4052 -11

Pyroligneous liquor was produced from *Eucalyptus saligna* by slow pyrolysis [4] (heating rate 2°C per minute, maximum temperature of 450°C, residence time of 30 minutes), yielding 33.16% vegetal charcoal, 50.4% of liquor and 16.44% of non-condensing gases (in mass). Table 2 presents the physicochemical properties of the liquor.

Table 2
Physicochemical properties of pyroligneous liquor

property	value	standard
flash point (°C)	35	ASTM D93 -15
water content (%)	82	ASTM D6304 -11
density (20°C, kg.m ⁻³)	1051.3	ASTM D4052 -11
pH	2.0	ABNT 7353
methanol (% mass)	0.03%	EM 14110-03

Figure 1 illustrates the apparatus and the liquor.



Figure 1 – Experimental apparatus and pyrolygneous liquor

- Acid transesterification:

400 ml of waste cooking oil was mixed with 400ml of liquor, stirred and heated to 115°C for 15 minutes. The mixture was cooled to 60°C, the catalyst (2.0 ml of H₂SO₄ Alphatec 98.08 % purity) and methanol (112 ml Farmanilquima 99.85 % purity) were added. The temperature were held constant during the reaction time (3 hours). This process was repeated for three different quantities of liquor (20%, 30% and 40%) and the measurements were performed three times for each one. The excessive methanol was not washed.

- Alkaline transesterification:

400 ml of food fried oil was mixed with 400ml of liquor, stirred and heated to 115°C for 15 minutes. The mixture was cooled to 60°C, the catalyst (6.2 g of KOH) and methanol (70 ml Farmanilquima 99.85 % purity) were added. The temperature were held constant during the reaction time (1 hour). This process was repeated for three different quantities of liquor (20%, 30% and 40%) and the measurements were performed three times for each one.

Table 3 presents the reactants and their quantities.

Table 3
Reactants

reactant	quantities	acid route (ml)	alkaline route
fried food oil		400	400 ml
H ₂ SO ₄	1.0% (mass)	2.0	---
liquor	20/30/40 (%)	0.4/0.6/0.8	0.4/0.6/0.8 ml
methanol		112	70 ml
KOH		---	6.2 g

The reaction oil obtained by the mixed catalysis (acid and alkaline transesterifications) (HO et al, 2014) (BUCZECK,2014) was transferred to a separated funnel: the dense phase is glycerine and the light phase is methyl ester, which was washed with water four times, heated to 40°C, washed with water three times and finally, washed with salty water.

The yield was evaluated by the biodiesel volume in relation to the initial food fried oil volume. The physical properties of the produced biodiesel were analysed at Automotive Fuels Analysis Laboratory (LACAUT - UFPR).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Table 4 presents physicochemical properties and compares the values to regulations for the samples containing 20% of liquor.

Table 4
Physicochemical properties biodiesel 20% liquor

property	measurements			regulations values
	1	2	3	
density (kg.m ⁻³) ^a	880.6	880.4	881.7	850-900
kinematic viscosity (40°C,mm ² .s ⁻¹) ^b	4.2	4.2	4.2	3.0-6.0
acidity (mg of KOH.g ⁻¹) ^c	0.15	0.07	0.12	< 0.5
water content (mg.kg ⁻¹) ^d	1363.8	1531.2	8893	< 200
flash point (°C) ^e	148.5	96.5	68.5	> 100
ester quantity (%) ^f	98	99	89.7	> 96.5

^a ASTM D4052-11; ^bASTM D445-15; ^c ASTM D664-11; ^d ASTM D6304-07; ^e ASTM D 93-15; ^f EN14103-11

Table 5 presents physicochemical properties and compares the values to regulations for the samples containing 30% of liquor.

Table 5
Physicochemical properties biodiesel 30% liquor

property	measurements			regulations values
	1	2	3	
density (kg.m ⁻³) ^a	881.4	881.2	881.1	850-900
kinematic viscosity (40°C,mm ² .s ⁻¹) ^b	4.2	4.2	4.2	3.0-6.0
acidity (mg of KOH.g ⁻¹) ^c	0.12	0.13	0.11	< 0.5
water quantity (mg.kg ⁻¹) ^d	---	---	---	< 200
flash point (°C) ^e	64.5	63.5	94.5	> 100
ester quantity (%) ^f	55.6	61.3	40.5	> 96.5

^a ASTM D4052-11; ^bASTM D445-15; ^c ASTM D664-11; ^d ASTM D6304-07; ^e ASTM D 93-15; ^f EN14103-11

Table 6 presents physicochemical properties and compares the values to regulations for the samples containing 40% of liquor.

Table 6
Physicochemical properties biodiesel 40% liquor

property	measurements			regulations values
	1	2	3	
density (kg.m ⁻³) ^a	881.7	881.9	880.9	850-900
kinematic viscosity (40°C,mm ² .s ⁻¹) ^b	4.2	4.1	4.2	3.0-6.0
acidity (mg of KOH.g ⁻¹) ^c	0.12	0.15	0.17	< 0.5
water quantity (mg.kg ⁻¹) ^d	---	---	---	< 200
flash point (°C) ^e	89.5	72.5	52.5	> 100
ester quantity (%) ^f	93.4	93.8	97.0	> 96.5

^aASTM D4052-11; ^bASTM D445-15; ^c ASTM D664-11; ^d ASTM D6304-07; ^e ASTM D 93-15; ^f EN14103-11

The first three properties (density, kinematic viscosity and acidity) for all pyrolygneous amounts were within the regulations values.

Several articles recommend acidity and water content under 0.5% and 0.06% (KATES et al, 2003), (GERPEN et al, 2004), (FREDMAN et al, 1984), (CANAKCI et al, 1999).

The water content, for the biodiesel, was determined only for 20% of liquor and presented extremely high values in comparison to the ones of the regulations. This behaviour is due to lack of purification processes (drying or filtration) after washing the biodiesel.

Only the first measurement of 20% liquor set was accordingly to the regulations. Excess quantities of methanol, which were not removed by washing, could reduce the flash point. This effect can be avoided by heating the biodiesel after separating the glycerine.

In relation to the ester quantity, the samples with 30% of liquor were below the expected due to a failure in the magnetic stirrer.

4 | CONCLUSIONS

The experimental methodology developed proved to produce biodiesel from known processes with pyrolygneous liquor additions of 20%, 30% and 40% and the final product met the standards for density, kinematic viscosity and acidity. However, water quantity, flash point and ester quantity did not replicate the regulations values. Further purification processes are needed in order to enhance the yield of biodiesel. Nevertheless, the proposal could be a solution for the pollutants used as prime materials.

REFERENCES

- P.J. REUMERMAN, B. FREDERIKS. **Charcoal Production With Reduced Emissions**. *12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Amsterdam, 2002. www.cleanfuels.nl

- A. N. PHAN, T. M. PHAN. **Biodiesel production from waste cooking oils.** *Fuel* 2008; 87; 3490-96.
- L.C. MEHER, D. VIDYA SAGAR, S.N. NAIK, **Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review.** *Ren. Sust. Ener. Rev.* 2006; 10; 248-68.
- M.E. DOUMER, G.G.C. ARIZAGA, D.A. DA SILVA, C.I. YAMAMOTO, A.C. MANGRICH. **Slow pyrolysis of different Brazilian waste biomasses as sources of soil conditioners and energy, and for environmental protection,** *J.Anal. Appl. Pyrol.*, 2015, 113, 434-443.
- K.C.HO, C.L.CHEN, P.X.HSIAO, M.S.WU, C.C.HUANG, J.S.CHANG. **Biodiesel production from waste cooking oil by two-step catalytic conversion** , *Energy Procedia* 2014, 61, 1302 – 1305.
- B. BUCZEK. **Diesel Fuel from Used Frying Oil.** *The Scientific World Journal* 2014, 2014, 1-3.
- U.SCHUCHARDTA , R. SERCHELIA , R. M. VARGAS. **Transesterification of vegetable oils: a review.** *J. Braz. Chem. Soc.*1998; 9; 199-210.
- M. KATES, Y. ZHANG, M.A. DUBÉ, D.D. MCLEAN.**Biodiesel production from waste cooking oil 2.** *Biores. Tech.* 2003, 90, 229-240.
- J.V. GERPEN, B. SHANKS, R. PRUSKZO, D. CLEMENTS, G. KNOTHE. **Biodiesel production technology**, *NREL*, USA, 2004, p.110.
- B. FREEDMAN, E.H. PRYDE, T.L. MOUNTS. **Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils.** *J. Am. Oil. Chem. Soc.*1984, 61, 1638-1642.
- M. CANAKCI, J.V.GERPEN. **Biodiesel production via acid catalysis.** *Trans.Am.Soc.Agric.Eng.* 1999, 42, 1203-1210.

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

