

Impactos das Tecnologias nas Engenharias 6

**Franciele Bonatto
João Dallamuta
Julio Cesar de Souza Francisco
(Organizadores)**

Franciele Bonatto
João Dallamuta
Julio Cesar de Souza Francisco
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias nas Engenharias

6

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

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

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

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 6 [recurso eletrônico] /
Organizadores Franciele Bonatto, João Dallamuta, Julio Cesar de
Souza Francisco. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. –
(Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 6)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-7247-159-6
DOI 10.22533/at.ed.596191303

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.
I. Bonatto, Franciele. II. Dallamuta, João. III. Francisco, Julio Cesar de
Souza.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em engenharia e tecnologia com contribuições para a melhoria da sustentabilidade. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e processos que visam a melhoria de dados causados ao ambiente.

Outra característica dos capítulos que compõe este livro é o fato de estarem relacionadas com atividades de pesquisa de diferentes naturezas em várias áreas da engenharia e tecnológica, uma visão multidisciplinar com contribuições relevantes por meio de resultados e discussões, muitas de cunho prático e com grande aplicabilidade.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Franciele Bonatto
João Dallamuta
Julio Cesar de Souza Francisco

Gestão, Tecnologia e Engenharia: Sustentabilidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL: MONTAGEM E MANUTENÇÃO DE COMPUTADORES A PARTIR DO REUSO DO LIXO ELETRÔNICO

Jocimar Fernandes
André Rubim Mattos
Ana Lucia Louzada Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.5961913031

CAPÍTULO 2 8

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O SISTEMA LEED E A CERTIFICAÇÃO DA ARENA CASTELÃO

Antonio Auriseu Nogueira Pinheiro
Antonio Leandro Cordeiro de Medeiros
Letícia Oliveira Cunha
Mérsia Nogueira Maia
Moisés Rocha Farias
Narcélio Mesquita Aires Filho
Thaís Mota Marques

DOI 10.22533/at.ed.5961913032

CAPÍTULO 3 20

EVOLUÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DA GASOLINA AUTOMOTIVA NO BRASIL A PARTIR DE 2001

Vanjoaldo R. Lopes Neto
Leonardo S. G. Teixeira
Tailee M. A. Cruz
Ioneide P. Martins

DOI 10.22533/at.ed.5961913033

CAPÍTULO 4 41

TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA GRID EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Thiago da Silva André
Francisco de Assis Oliveira Fontes
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
Isaac Pércles Maia de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.5961913034

CAPÍTULO 5 51

TAXA DE EVAPORAÇÃO DO DIESEL S10 EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Thiago da Silva André
Francisco de Assis Oliveira Fontes
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
Isaac Pércles Maia de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.5961913035

CAPÍTULO 6 61

ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO DE SOLO POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

João Evangelista Neto
Edry Antonio Garcia Cisneros
José Costa de Macêdo Neto
Eduardo Rafael Barreda del Campo
Weberson Santos Ferreira
Ricardo Wilson Aguiar da Cruz

DOI 10.22533/at.ed.5961913036

CAPÍTULO 7 72

ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA GASOLINA E ÓLEO DIESEL COMERCIALIZADOS EM AREIA BRANCA/RN, CONFORME ESPECIFICAÇÕES DA ANP

Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado
João Luiz Porfirio da Silva
Ana Catarina Fernandes Coriolano
Jardel Dantas da Cunha
Antonio Souza de Araujo

DOI 10.22533/at.ed.5961913037

CAPÍTULO 8 81

PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM ULTRASSOM A PARTIR DE GORDURA ANIMAL PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Matheus Cavali
Valéria Pelizzer Casara
Guilherme Martinez Mibielli
João Paulo Bender
Wagner Luiz Priamo

DOI 10.22533/at.ed.5961913038

CAPÍTULO 9 92

CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE COCO A SER UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL VIA ROTA ETÍLICA

Silvanito Alves Barbosa
João Vicente Santiago do Nascimento
Fernanda de Souza Stingelin
Glauber Vinícius Pinto de Barros
Lucas Alves Batista Santos
Iasmin Souza Cruz

DOI 10.22533/at.ed.5961913039

CAPÍTULO 10 101

TRATAMENTO DE ÁGUA DE PRODUÇÃO OFFSHORE

Wellington Crispim Cardoso
Guillermo Ruperto Martín-Cortés

DOI 10.22533/at.ed.59619130310

CAPÍTULO 11 112

GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA PERFURAÇÃO OFFSHORE

Bianca de Couto Dantas Romualdo
Lúcia Maria de Araújo Lima Gaudêncio

DOI 10.22533/at.ed.59619130311

CAPÍTULO 12 128

SIMULAÇÃO DE UM VAZAMENTO DE ÓLEO DURANTE UMA OPERAÇÃO OFFLOADING

Lígia Maria dos Santos Barros Rodrigues
Anaximandro Anderson Pereira Melo de Souza
Paulo Emanuel Medeiros Paula
Davith da Silva Campos
Luís Jorge Mesquita de Jesus

DOI 10.22533/at.ed.59619130312

CAPÍTULO 13 134

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE PREPARO DE AMOSTRA DE PETRÓLEO PARA DETERMINAÇÃO DE ENXOFRE POR ICP-OES

Izabel Kaline da Silva Oliveira
Álvaro Gustavo P. Galvão
Larissa Sobral Hilário
Tatiane de A. Maranhão
Djalma Ribeiro da Silva

DOI 10.22533/at.ed.59619130313

CAPÍTULO 14 140

POTENCIAL USO DA AGUA PRODUZIDA REAL E SINTÉTICA COMO DISPERSANTE EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO AQUOSOS: INFLUÊNCIA NOS PARÂMETROS REOLÓGICOS, DE FILTRAÇÃO E CORROSIVIDADE

Jardel Dantas da Cunha
Keila Regina Santana Fagundes
Ana Karoline de Sousa Oliveira
Gecilio Pereira da Silva
Rodrigo Cesar Santiago
Juddson Diniz Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.59619130314

CAPÍTULO 15 151

UTILIZAÇÃO DE BIOSORVENTES PARA REMOÇÃO DE BENZENO EM SOLUÇÕES AQUOSAS

Yasmin Maria da Silva Menezes
Evelyne Nunes de Oliveira Galvão
Aécia Seleide Dantas dos Anjos
Raoni Batista dos Anjos
Djalma Ribeiro da Silva

DOI 10.22533/at.ed.59619130315

CAPÍTULO 16 163

REMOÇÃO DE FENOL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS ATRAVÉS DE BIOFILME SUPORTADO EM CARVÃO ATIVADO ESTUDO EM BATELADA

Josiane Bampi
Heraldo Baialardi Ribeiro
Tainá Cristini Da Silva
Adriana Dervanoski
Gean Delise Leal Pasquali Vargas

DOI 10.22533/at.ed.59619130316

CAPÍTULO 17	172
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE VERMICULITA ATIVADA POR LIXIVIAÇÃO ÁCIDA PARA REMOÇÃO DE BTX EM ÁGUA	
<i>Débora Karina da Silva Guimarães</i>	
<i>Nayonara Karolynne Costa de Araújo</i>	
<i>Amanda Duarte Gondim</i>	
<i>Djalma Ribeiro da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.59619130317	
CAPÍTULO 18	181
ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE BTX PRESENTE EM ÁGUA CONTAMINADA COM GASOLINA UTILIZANDO FE/AL₂O₃ COMO ADSORVENTES	
<i>Nayonara Karolynne Costa de Araújo</i>	
<i>Débora Karina da Silva Guimarães</i>	
<i>Amanda Duarte Gondim</i>	
<i>Djalma Ribeiro da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.59619130318	
CAPÍTULO 19	189
ESTUDO DA REMOÇÃO DE SURFACTANTES DA ÁGUA PRODUZIDA POR MEIO DE CARVÃO ATIVADO OBTIDO A PARTIR DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS	
<i>Letícia Gracyelle Alexandre Costa</i>	
<i>Álvaro Gustavo Paulo Galvão</i>	
<i>Ana Gabriela Soares da Silva</i>	
<i>Henrique Borges de Moraes Juviano</i>	
<i>Djalma Ribeiro da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.59619130319	
CAPÍTULO 20	198
ESTUDO DA CONVERSÃO DE ENERGIA USANDO DISPOSITIVOS BASEADOS EM MATERIAIS PIEZO-ELÉTRICO APOIADOS EM PLATAFORMAS APORTICADAS	
<i>Aline de Oliveira Schonarth</i>	
<i>Jorge Luis Palacios Felix</i>	
DOI 10.22533/at.ed.59619130320	
SOBRE OS ORGANIADORES.....	203

PRODUÇÃO DE BODIESEL EM ULTRASSOM A PARTIR DE GORDURA ANIMAL PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Matheus Cavali

Universidade Federal da Fronteira Sul.
Chapecó - Santa Catarina

Valéria Pelizzer Casara

Universidade Federal Da Fronteira Sul.
Chapecó - Santa Catarina.

Guilherme Martinez Mibielli

Universidade Federal Da Fronteira Sul.
Chapecó - Santa Catarina.

João Paulo Bender

Universidade Federal Da Fronteira Sul.
Chapecó - Santa Catarina.

Wagner Luiz Priamo

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Sul.
Erechim - Rio Grande do Sul.

RESUMO: Biodiesel são alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais. Esse biocombustível ainda não é economicamente competitivo com o diesel e, portanto, matérias-primas (MPs) baratas, com boa produtividade e ambientalmente seguras são interessantes. Óleos e gorduras animais, por exemplo, têm recebido bastante atenção, principalmente quando são subprodutos de outros processos, como é o caso dos resíduos graxos produzidos em agroindústrias de processamento de carnes. No Brasil, o abate de frangos e suínos gera

uma quantidade significativa desses resíduos, os quais podem ser utilizados na produção de biodiesel por meio da transesterificação. Nesta reação óleos ou gorduras (triglicerídeos), na presença de um catalisador, reagem com um álcool de cadeia curta para produzir alquil ésteres de ácidos graxos. Entretanto, devido à imiscibilidade do álcool com os triglicerídeos, essa reação pode ser limitada pela transferência de massa. Portanto, para melhorar a homogeneidade do meio e incrementar os rendimentos, ondas ultrassônicas podem ser utilizadas. Desse modo, o objetivo deste estudo foi produzir ésteres etílicos a partir de óleo residual de frango (ORF) e gordura residual suína (GRS) por meio da transesterificação com catálise alcalina (NaOH) com irradiação ultrassônica indireta e agitação mecânica. Rendimentos acima de 70% foram obtidos para o ORF e a GRS, utilizando uma razão molar MP/etanol de 1/12 e 1,0% de catalisador com agitação mecânica; a agitação ultrassônica, porém, apresentou rendimentos inferiores. No entanto, ambos os resíduos graxos empregados mostraram-se convenientes MPs para a produção de biodiesel.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo de frango; gordura suína; transesterificação; catálise química; bioenergia.

ABSTRACT: Biodiesel are alkyl esters of

long chain fatty acids derived from vegetable oils or from animal fats. This biofuel is not yet economically competitive with diesel, and therefore cheap, high productivity and environmentally safe raw materials (RMs) are interesting. Animal oils and fats, for example, have received attention, especially when they are by-products of other processes, such as fatty residues produced in meat processing industries. In Brazil, the slaughter of chickens and pork generates a significant amount of these residues, which can be used in biodiesel production by transesterification. In this reaction oils or fats (triglycerides), in the presence of a catalyst, react with a short alcohol to produce fatty acids alkyl esters. However, due to immiscibility of alcohol with triglycerides, this reaction can be limited by mass transfer. Therefore, to improve the homogeneity of the medium and increase the yields, ultrasonic waves can be used. Thus, the aim of this study was to produce ethyl esters from residual chicken oil (RCO) and residual pork fat (RPF) by transesterification with alkaline catalysis (NaOH) with indirect ultrasonic irradiation and mechanical agitation. Yields above 70% were obtained for the RCO and RPF using a RM/ethanol molar ratio of 1/12 and 1.0% catalyst with mechanical agitation; the ultrasonic agitation, however, presented lower yields. However, both fatty residues used proved to be convenient RMs for biodiesel production.

KEYWORDS: Residual chicken oil; residual pork fat; transesterification; chemical catalysis; bioenergy.

1 | INTRODUÇÃO

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da Resolução número 30 de junho de 2016, define biodiesel como um combustível “composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de materiais graxos”. Entretanto, o biodiesel não é economicamente competitivo com o diesel, pois o valor do óleo de soja, a principal matéria-prima (MP) utilizada, é mais oneroso que o valor de venda do próprio diesel. Portanto, dado que a MP é o fator determinante para o elevado custo da produção de biodiesel, fontes alternativas de materiais graxos, de baixo custo, tornam-se atrativas para a produção de deste biocombustível (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, 2015).

Diante disso, buscam-se insumos baratos, com boa produtividade e ambientalmente seguros. Os óleos e as gorduras animais, por exemplo, vêm recebendo bastante atenção. Fayyazi et al. (2015) e Gomes et al. (2008) empregaram gordura de frango como insumo para produzir biodiesel. Bhatti et al. (2008), além da gordura de frango, testaram o sebo de carneiro. Janchiv et al. (2012) trabalharam com gordura suína. Cunha et al. (2009) mostraram a eficácia do sebo bovino, o qual já vem sendo utilizado na indústria. O óleo de peixe (*Oreochromis niloticus* – Nile tilapia) também foi avaliado por Santos et al. (2010).

No que diz respeito à geração de resíduos graxos com potencial de processamento

em graxarias, o Brasil produziu 2.285.561,5 toneladas no ano de 2012, conforme dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Na Figura 1 é mostrado como essa quantidade é distribuída por cada região do país em percentual. O sul do Brasil se destaca devido à intensa atividade das agroindústrias nesta região e, portanto, pode ser um polo fornecedor de MP para transesterificação.

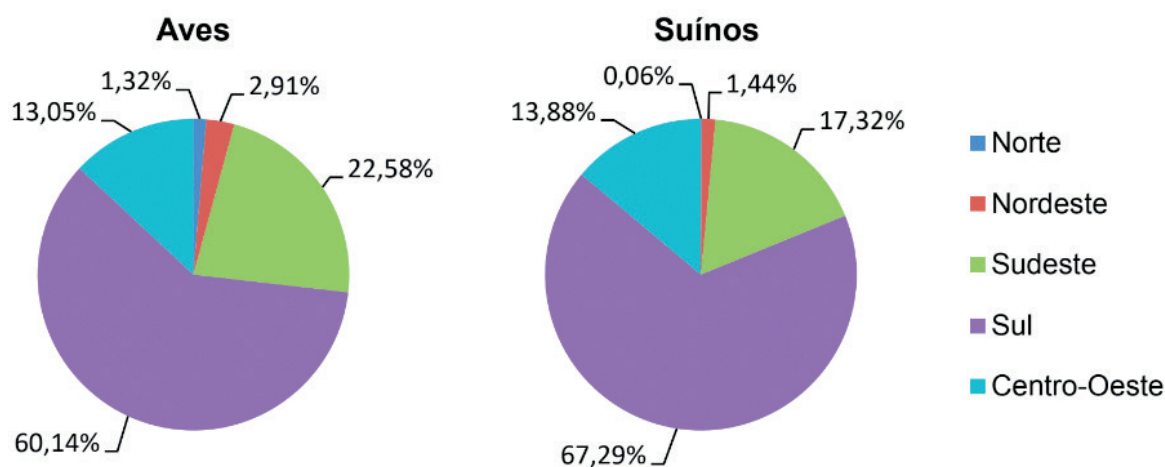


FIGURA 1 – PRODUÇÃO PERCENTUAL DE RESÍDUOS GRAXOS NO ANO DE 2012 POR AGROINDÚSTRIAS DE ABATE DE FRANGO E SUÍNOS.

FONTE: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012).

A transesterificação é a reação química de transformação de óleos ou gorduras (triglicerídeos) de origem vegetal ou animal na presença de álcoois de cadeia curta em alquil ésteres de ácidos graxos (biodiesel). Isso ocorre porque quando um triglicerídeo reage com um álcool as cadeias de ácidos graxos são liberadas do glicerol e recombinadas com o álcool para gerar o biodiesel (MENEGETTI; MENEGETTI; BRITO, 2013; STARAVACHE et al. 2006).

Entretanto, a reação de transesterificação, conforme Thanh et al. (2009), possui reações intermediárias e reversíveis que formam diglicerídeos (DGs) e monoglicerídeos (MGs). Segundo Brito (2011), devido à possibilidade desta reação ocorrer no sentido inverso, recomenda-se um excesso de álcool; porém, uma elevada quantidade de álcool pode dificultar na separação das fases (ésteres e glicerol), uma vez que estas se tornam mais miscíveis.

Na produção de biodiesel a transesterificação pode ser catalisada por ácidos e bases fortes, mas há algumas desvantagens da transesterificação ácida quando comparada com a alcalina. Conforme Veljković et al. (2011), a reação de catálise ácida é mais demorada que a alcalina, além da temperatura do processo ser maior no primeiro método. Há também outro inconveniente que é a corrosão dos equipamentos provocada pelo uso de ácidos.

A catálise ácida é recomendada para os casos em que a MP contenha uma alta quantidade de ácidos graxos livres (AGLs), pois deste modo não ocorrerá a indesejável formação de sais de ácido carboxílico (saponificação). Apesar disso, na produção de

biodiesel, a transesterificação alcalina com hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH) é a mais utilizada (RAMOS et al., 2003; THANH et al., 2010; KNOTHE et al., 2006). Esses catalisadores, porém, demandam MPs com baixo conteúdo de AGLs, uma vez que a saponificação promove a formação de emulsões que dificultam a purificação do biodiesel ao final da reação (MENEGETTI; MENEGETTI; BRITO, 2013).

Outro fator importante na transesterificação é transferência de massa entre as fases dada pelo método de agitação. Nesse sentido, o uso de ondas ultrassônicas em processos químicos, principalmente naqueles relacionados ao incremento na transferência de massa, é conveniente. Essas ondas promovem no meio reacional um fenômeno denominado cavitação, o qual é o mais importante mecanismo para o incremento da transferência de massa (KUMAR et al., 2010). A cavitação, segundo Fayyazi (2015), é a formação, crescimento e implosão das bolhas (cavidades) irradiadas pelo ultrassom; quando o ultrassom passa pelo líquido ocorrem ondas de expansão (pressão negativa) e ondas de compressão (pressão positiva).

Como qualquer onda sonora, o ultrassom é propagado através de uma série de ondas de compressão e expansão induzidas nas moléculas do meio por onde elas passam. Numa alta potência a expansão pode exceder as forças de atração das moléculas de líquidos e formar as bolhas de cavitação. Tais bolhas crescem por um processo conhecido como difusão retificada, ou seja, pequenas quantidades de vapor (ou gás) do meio entram na bolha durante a sua fase de expansão e este não é totalmente expelido durante a compressão. As bolhas, distribuídas por todo o líquido, crescem ao longo de poucos períodos para um tamanho de equilíbrio de acordo com a frequência aplicada. Se as bolhas fossem apenas sujeitas a essa frequência particular elas permaneceriam como bolhas de oscilação; no entanto, o campo acústico que influencia uma bolha individual entre as demais geradas no fluido cavitante não é uniforme. Cada bolha vai afetar ligeiramente o campo da bolha vizinha. Sob tais circunstâncias, o campo irregular fará com que a bolha de cavitação se torne instável e colapse. É este o colapso que gera energia para efeitos químicos e mecânicos. Por exemplo, em sistemas aquosos, a uma frequência ultrassônica de 20 kHz, cada colapso atua como um «*hotspot*» localizado (pequena região com uma temperatura mais quente em comparação com os arredores) gerando temperaturas de cerca de 4000 K e pressões em excesso de 1000 atm. Este colapso das bolhas, distribuído através do meio, tem uma variedade de efeitos no sistema, dependendo do tipo de material envolvido (MASON et al., 2005, p. 325).

Uma vez que o álcool e os triglicerídeos são imiscíveis, a reação de transesterificação é limitada inicialmente pela transferência de massa e, comumente, são utilizados agitadores mecânicos em altas velocidades e com elevado consumo energético para melhorar o contato entre as duas fases (Mahamuni e Adewuyi, 2009). Assim, o emprego das ondas ultrassônicas na produção de biodiesel pode ser uma ferramenta vantajosa, conforme muitas pesquisas já demonstraram para diversas MPs.

Fayyazi et al. (2015), utilizando óleo de frango para a produção de biodiesel, encontraram rendimento em torno de 94.8%. Bhatti et al. (2008), ao avaliarem o óleo

de frango e a gordura de carneiro sob condições otimizadas, obtiveram rendimento de 99,01 e 93,21%, respectivamente. A produtividade também foi satisfatória (maior que 99%) quando Thanh et al. (2010) estudaram a capacidade do óleo de canola para a produção de biodiesel. A transesterificação do óleo da semente de uva promovida por ultrassom atingiu um rendimento superior a 97% em 30 minutos, conforme reportado por Rockembach et al. (2014). Já Stavarache et al. (2007), ao testarem alguns óleos vegetais, conseguiram rendimentos acima de 99% para óleos comestíveis comuns (milho e palma). O processo com óleo de soja, avaliado por Mahamuni e Adewuyi (2009), também apresentou rendimentos maiores que 90%.

Frente a isso, o objetivo deste estudo foi produzir ésteres etílicos a partir de resíduos graxos provenientes das agroindústrias de abate de frangos (óleo residual de frango – ORF) e suínos (gordura residual suína – GRS) por meio da transesterificação alcalina com irradiação ultrassônica indireta e agitação mecânica. Avaliou-se a influência das variáveis do processo (temperatura, tempo, potência do ultrassom, razão molar matéria-prima/etanol, concentração de catalisador e agitação) sobre o rendimento de modo a otimizá-las.

2 | METODOLOGIA

Os resíduos graxos foram fornecidos por agroindústrias de processamento de carne localizadas na cidade de Chapecó – Santa Catarina. Determinou-se o Índice de Acidez (IA) do ORF e da GRS de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 11.115 de 2014 (Substâncias Graxas – Determinação do índice de acidez).

Para verificar o efeito das variáveis e encontrar as condições que maximizassem a síntese de ésteres etílicos por irradiação ultrassônica indireta, elaborou-se um planejamento experimental fatorial 2³. Na Tabela 1 estão expressas as variáveis e seus respectivos níveis testados.

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Razão Molar (MP/etanol)	1/3	1/6	1/9
Catalisador (%)	0,5	1,0	1,5
Potência do ultrassom (%)	65	75	85

TABELA 1 – VARIÁVEIS E SEUS NÍVEIS PARA A TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRANGO (ORF) E DA GORDURA RESIDUAL SUÍNA (GRS) POR AGITAÇÃO ULTRASSÔNICA.

FONTE: Os autores (2016).

O processo empregado é apresentado simplificadaamente na Figura 2. Primeiramente os sólidos indesejáveis presentes nas MPs foram removidos por centrifugação (8000 rpm, 4 min., 20°C) e 20 g do sobrenadante do ORF e da GRS

foram adicionadas em dois balões volumétricos de 250 ml e misturadas com uma solução previamente preparada com a devida quantidade de catalisador (hidróxido de sódio – NaOH) e álcool etílico (etanol – C₂H₆O) P.A. 99,9%. Em seguida os balões foram expostos à irradiação ultrassônica indireta (banho-maria – ECO-SONICS – Q5.9/40) com frequência de 40 kHz, ajustando-se a potência conforme estabelecido no planejamento experimental. Acoplou-se um condensador em cada balão para evitar perdas de etanol durante a reação. Estes condensadores eram alimentados com água a uma temperatura em torno de 18°C. O tempo de reação e a temperatura do banho de ultrassom foram definidos em 1 hora e 65°C, respectivamente.

Ao término da reação transferiram-se as amostras para funis de separação de 500 ml para uma purificação mediante lavagens. Cada amostra foi submetida a três lavagens. A primeira era realizada assim que a amostra entrava no funil com 30 ml água destilada em temperatura em torno de 70°C juntamente com 10 ml de solução de ácido fosfórico (H₃PO₄) 4,0%. Após a separação em duas fases, descartou-se a inferior e lavou-se a superior com 40 ml água destilada a 70°C e este processo era repetido. A nova fase superior era centrifugada (8000 rpm, 4 min., 20°C) e o sobrenadante deixado em estufa a 70°C, na qual permanecia até peso constante para determinação do rendimento mássico. Os ésteres etílicos obtidos foram quantificados por cromatografia gasosa (Shimadzu – GD 17A), conforme a norma internacional EN 14103.

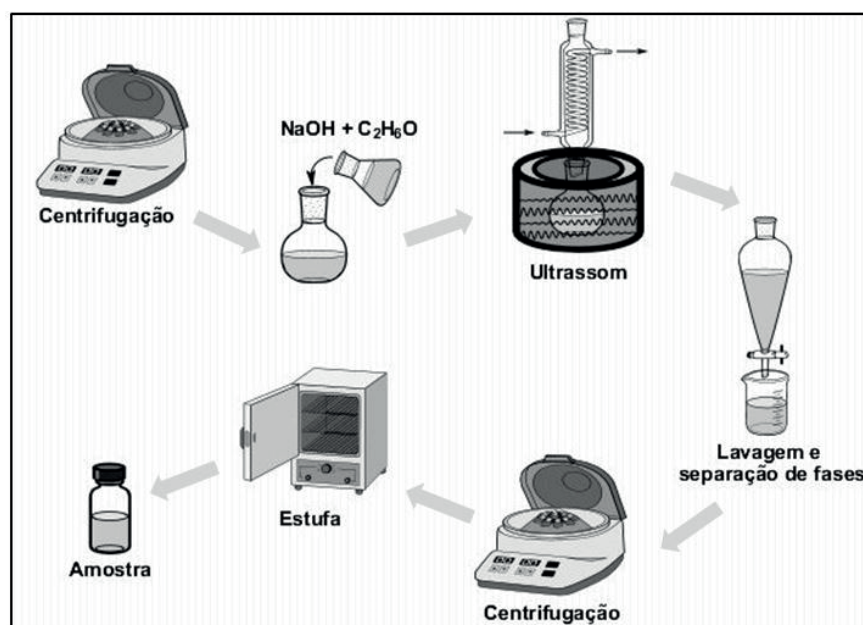


FIGURA 2 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA PRODUÇÃO DE ÉSTERES ETÍLICOS.

FONTE: Os autores (2016).

Com base nos resultados obtidos, desenvolveu-se outro planejamento experimental (2²) com aquelas variáveis que significativamente influenciaram no processo para melhorar o rendimento da reação. A Tabela 2 apresenta as variáveis mantidas e os níveis avaliados. A título de comparação com a agitação ultrassônica, esse segundo planejamento também foi realizado com agitação mecânica (barra

magnética).

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Razão Molar (MP/etanol)	1/9	1/12	1/15
Catalisador (%)	0,5	1,0	1,5

TABELA 2 – VARIÁVEIS E SEUS NÍVEIS PARA A TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRANGO (ORF) E DA GORDURA RESIDUAL SUÍNA (GRS) POR AGITAÇÃO ULTRASSÔNICA E MECÂNICA.

FONTE: Os autores (2016).

O tempo de reação e a temperatura permaneceram os mesmos. Na etapa de lavagem, porém, a concentração de H_3PO_4 utilizada foi 8,0% e 2,0 ml de glicerina foram adicionados ao final da reação com objetivo de facilitar a separação das fases. Quantificaram-se os teores de ésteres etílicos analogamente àqueles do primeiro planejamento experimental.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo a conhecer o teor de AGLs presentes no ORF e na GRS determinou-se o IA. O resultado é apresentado na Tabela 3.

Matéria-prima	IA (%)
GRS	0,84 ± 0,04
ORF	2,52 ± 0,01

TABELA 3 – ÍNDICE DE ACIDEZ (IA) DO ÓLEO RESIDUAL DE FRANGO (ORF) E DA GORDURA RESIDUAL SUÍNA (GRS).

FONTE: Os autores (2016).

Apesar da larga aplicação da transesterificação alcalina, a utilização desse catalisador requer o emprego de MPs com conteúdo de água e acidez baixo, pois se o óleo ou gordura possuir um elevado conteúdo de AGL eles reagirão com o catalisador, levando à saponificação e formando emulsões que prejudicam a purificação do biodiesel (MENEGETTI; MENEGETTI; BRITO, 2013). Diante disso, conforme os limites permitidos pela Resolução número 45 de 25 de agosto de 2014 da ANP que institui um IA menor que $0,50 \text{ mg KOH}\cdot\text{g}^{-1}$ para o biodiesel puro, as gorduras podem demandar um tratamento preliminar para corrigir sua acidez e, assim, tornarem-se aptas ao processo.

Os testes correspondentes ao primeiro planejamento experimental para ambas MPs e os rendimentos em massa e em ésteres são expressos na Tabela 4.

Para alguns ensaios, porém, o conteúdo de ésteres não foi quantificado devido à solidificação da amostra após a etapa de lavagem e separação das fases, o que indica uma transesterificação incompleta e a formação de produtos indesejados como, por exemplo, sais de ácidos carboxílicos.

Ensaio	C ^a	RM ^b Massa	P ^c Éster	ORF		GRS	Rendimen- to (%)
				Rendimento (%)			
				Massa	Éster		
1	0,5	1/3	65	86,32	6,12	81,40	-
2	1,5	1/3	65	1,29	-	82,17	-
3	0,5	1/9	65	89,01	19,46	82,15	91,41
4	1,5	1/9	65	65,81	22,84	10,81	6,45
5	0,5	1/3	85	73,62	6,67	47,72	-
6	1,5	1/3	85	3,92	-	60,10	2,21
7	0,5	1/9	85	83,39	19,37	80,16	-
8	1,5	1/9	85	46,36	34,53	74,03	-
9 ^d	1,0	1/6	75	69,37	12,78	67,98	-

^aCatalisador (%); ^bRazão Molar (MP/etanol); ^cPotência ultrassônica (%); ^dponto central.

TABELA 4 – CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E OS RESPECTIVOS RENDIMENTOS EM MASSA E EM ÉSTERES PARA O ÓLEO RESIDUAL DE FRANGO (ORF) E PARA A GORDURA RESIDUAL SUÍNA (GRS) COM AGITAÇÃO ULTRASSÔNICA.

FONTE: Os autores (2016).

Por meio de uma análise estatística (não reportada), a variável com maior efeito sobre o processo foi a razão molar, seguida pela potência ultrassônica e o percentual de catalisador. Desse modo, outro planejamento experimental (Tabela 2) foi delineado e a potência ultrassônica foi fixada em 100% (132 W), uma vez que para o ORF o melhor rendimento em éster foi para o ensaio 8. Para a GRS não foi possível identificar um comportamento dos rendimentos em ésteres em relação à potência ultrassônica devido à falta de dados. Assim, também se estabeleceu a máxima potência para os ensaios com a GRS. A razão molar MP/etanol foi aumentada devido à sua influência sobre o processo, mas os percentuais de catalisador não foram alterados, de modo que pudessem ser avaliados frente às novas quantidades de etanol presente na reação.

Os rendimentos mássicos e em ésteres para o segundo planejamento experimental são mostrados na Tabela 5. Nestes ensaios, o teor de ésteres foi quantificado somente para as condições com maior rendimento em massa.

Ensaio	C ^a	RM ^b	ORF				GRS			
			Rendimento (%)				Rendimento (%)			
			Ag. Mec.		Ag. Ultr.		Ag. Mec.		Ag. Ultr.	
			Massa	Éster	Massa	Éster	Massa	Éster	Massa	Éster

1	0,5	1/9	29,79	-	69,74	28,58	51,52	-	15,78	-
2	1,5	1/9	34,73	-	32,35	-	31,78	-	0,0	0,0
3	0,5	1/15	36,21	-	2,64	-	53,38	60,47	0,0	0,0
4	1,5	1/15	51,43	72,27	21,19	-	30,92	-	0,0	0,0
5 ^c	1,0	1/12	51,40	73,81	55,38	22,44	64,57	77,81	50,81	34,15

^aCatalisador (%); ^bRazão Molar (MP/etanol); ^cponto central.

TABELA 5 – CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E OS RESPECTIVOS RENDIMENTOS EM MASSA E EM ÉSTERES PARA O ÓLEO RESIDUAL DE FRANGO (ORF) E PARA A GORDURA RESIDUAL SUÍNA (GRS) COM AGITAÇÃO MECÂNICA E ULTRASSÔNICA.

FONTE: Os autores (2016).

Com base nos resultados obtidos, a agitação mecânica se sobressaiu em relação à ultrassônica. Uma hipótese para esse comportamento é a baixa potência em que as reações foram realizadas, já que a máxima potência fornecida pelo equipamento utilizado foi apenas 132 W. Veljković, Avramović e Stamenković (2012), os quais fizeram uma revisão sobre o emprego de ultrassom na produção de biodiesel, relataram que nos processos em que a irradiação ultrassônica indireta foi utilizada para auxiliar na transesterificação alcalina a potência dos aparelhos era acima de 200 W; dessa forma, todos os rendimentos alcançados ficaram maiores que 90%.

4 | CONCLUSÃO

O maior rendimento em ésteres para o ORF (73,81%) foi obtido com agitação mecânica, 1,0% de catalisador e razão molar MP/etanol de 1/12. Em relação à GRS, a agitação mecânica, juntamente com o mesmo percentual de catalisador e razão molar MP/etanol aplicados à transesterificação do ORF, também promoveu o maior rendimento em ésteres (77,81%). As reações conduzidas com irradiação ultrassônica indireta, para ambas as gorduras, apresentaram conversões inferiores àquelas realizadas com agitação mecânica. Isso possivelmente ocorreu devido à baixa potência ultrassônica empregada, a qual não foi suficiente para promover a completa homogeneidade do meio. No entanto, os resultados apresentados aqui corroboram com a possibilidade de produção de biodiesel a partir dessas MPs como forma de agregar valor a esses resíduos graxos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL (ANP). **Resolução nº 30, de 23 de junho de 2016**. Disponível em: < <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL (ANP).

Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014. Disponível em: < <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11115:** Insumos - Substâncias Graxas – Determinação do índice de acidez. Brasil, 2014. 6 p.

BHATTI, H; HANIF, M; QASIM, M. **Biodiesel production from waste tallow.** *Fuel*, [s.l.], v. 87, n. 13-14, p.2961-2966, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.016>.

BRITO, J. Q. A.. **Obtenção de Biodiesel via Rota Etilica Auxiliado por Ondas Ultrassônicas.** 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. Disponível em: <[https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/10822/1/DISSERTACAO jeane quelle brito.pdf](https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/10822/1/DISSERTACAO%20jeane%20quelle%20brito.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2016.

CUNHA, M. E. da et al. **Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale.** *Fuel Processing Technology*, [s.l.], v. 90, n. 4, p.570-575, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.01.001>.

FAYYAZI, E. et al. **An ultrasound-assisted system for the optimization of biodiesel production from chicken fat oil using a genetic algorithm and response surface methodology.** *Ultrasonics Sonochemistry*, [s.l.], v. 26, p.312-320, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.03.007>.

GOMES, L. F. S.; SOUZA, S. N. M. de; BARICCATTI, R. A.. **Biodiesel produzido com óleo de frango.** *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 57-62. 2008

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas: Relatório de Pesquisa.** Brasília, 2012. 134 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2016.

JANCHIV, A.; OH, Y.; CHOI, S.. **High quality biodiesel production from pork lard by high solvent additive.** *Scienceasia*, [s.l.], v. 38, n. 1, p.95-101, 2012. Science Society of Thailand - Mahidol University. <http://dx.doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.095>.

KNOTHE, G. et al. **Manual de biodiesel.** São Paulo: Editora Blucher, 2006. 340 p.

KUMAR, D. et al. **Fast, easy ethanolsis of coconut oil for biodiesel production assisted by ultrasonication.** *Ultrasonics Sonochemistry*, [s.l.], v. 17, n. 3, p.555-559, mar. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.10.018>.

MAHAMUNI, N. N.; ADEWUYI, Y. G.. **Optimization of the Synthesis of Biodiesel via Ultrasound-Enhanced Base-Catalyzed Transesterification of Soybean Oil Using a Multifrequency Ultrasonic Reactor.** *Energy & Fuels*, [s.l.], v. 23, n. 5, p.2757-2766, 21 maio 2009. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ef900047j>.

MASON, T. J. et al. Application of Ultrasound. In: SUN, D. et al. **Emerging Technologies for Food Processing.** [s.l.]: Elsevier, 2005. Cap. 13. p. 323-345.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C.. Transesterification, Some Applications and Biodiesel Production. *Revista Virtual de Química*, [s.l.], v. 5, n. 1, p.63-73, 2013. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20130007>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim mensal dos combustíveis renováveis.** Edição nº 90. Julho/2015. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732805/Boletim+DCR+n%C2%BA+0+-+julho+de+2015.pdf/ad10d95e-033d-44ba-b062-0b3d47b30db9?version=1.0>>. Acesso em: 11 set. 2015.

RAMOS, L. P. et al. **Biodiesel Production Technologies**. *Revista Virtual de Química*, [s.l.], v. 3, n. 5, p.317-369, 2011. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20110043>.

ROCKEMBACH, C. T. et al. **Synthesis of Biodiesel from Grape Seed Oil Using Ultrasound Irradiation**. *Revista Virtual de Química*, [s.l.], v. 6, n. 4, p.884-897, 2014. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140054>.

SANTOS, F. F. P. et al. **Production of biodiesel by ultrasound assisted esterification of Oreochromis niloticus oil**. *Fuel*, [s.l.], v. 89, n. 2, p.275-279, fev. 2010. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.05.030.

STAVARACHE, C.; VINATORU, M.; MAEDA, Y.. **Aspects of ultrasonically assisted transesterification of various vegetable oils with methanol**. *Ultrasonics Sonochemistry*, [s.l.], v. 14, n. 3, p.380-386, mar. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.08.004>.

THANH, L. T. et al. **Ultrasound-assisted production of biodiesel fuel from vegetable oils in a small scale circulation process**. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 101, n. 2, p.639-645, jan. 2010. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.08.050.

VELJKOVIĆ, V. B.; AVRAMOVIĆ, Jelena M.; STAMENKOVIĆ, Olivera S.. **Biodiesel production by ultrasound-assisted transesterification: State of the art and the perspectives**. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 16, n. 2, p.1193-1209, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.022>.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-159-6

