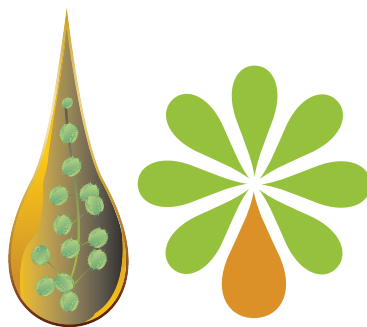


ISBN 978-85-65615-02-0



6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

BIODIESEL: 10 ANOS DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NO BRASIL



VOLUME 2

ANAIS - ARTIGOS CIENTÍFICOS
2016



6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

BIODIESEL:
10 ANOS DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NO BRASIL
Anais - Trabalhos Científicos

Editores:

Pedro Castro Neto

Antônio Carlos Fraga

Rafael Silva Menezes

Gustavo de Lima Ramos

Natal, 22 a 25 de Novembro de 2016
Rio Grande do Norte - Brasil

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
(6. : 2016 : Natal, RN).

Anais do 6. Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia
de Biodiesel, 9. Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas,
Óleos, Gorduras e Biodiesel, Natal, RN, 22 a 25 de novembro
de 2016 / Editores: Pedro Castro Neto ... [et al.]. – Lavras :
UFLA, 2016.

1432 p.

Bibliografias

ISBN 978-85-65615-02-0

1. Biodiesel. 2. Plantas oleaginosas. 3. óleos vegetais. I

Castro Neto, Pedro et al. II. Congresso Brasileiro de Plantas
Oleaginosas, óleos, Gorduras e Biodiesel.

CDD – 633.85

APRESENTAÇÃO

O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) possui papel fundamental no processo de aprimoramento tecnológico do biodiesel brasileiro. No âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o módulo de Desenvolvimento Tecnológico é coordenado pelo MCTIC e objetiva organizar e fomentar a base tecnológica existente no País e norteá-la a gerar resultados que atendam às demandas do PNPB.

Nesse sentido, foi implantada a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB), que articula os diversos atores envolvidos, permitindo a convergência de esforços e a otimização de investimentos públicos na busca por soluções para os desafios tecnológicos da cadeia produtiva, levando em consideração aspectos de sustentabilidade, geração de empregos e desenvolvimento regional.

Como ferramenta de avaliação e divulgação dos resultados dos projetos fomentados, o MCTIC promove, desde 2006, o Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e a Universidade Federal de Lavras promove, desde 2004, o Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Eventos que em suas edições anteriores foram um sucesso, tanto em termos de público, como na divulgação do conhecimento gerado por pesquisadores de inúmeras universidades e institutos de pesquisa de todo o país. A partir de 2010 esses dois eventos foram realizados simultaneamente constituindo o maior evento técnico científico em biodiesel do mundo. Este evento é referência para as áreas de produção de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel.

APRESENTAÇÃO

É estratégico para o setor de biodiesel possuir fóruns de discussão para se debater temas ligados à pesquisa, desenvolvimento e inovação em Biodiesel, como também promover encontros entre especialistas, estudantes, empresários e a sociedade civil para discutir meios para o desenvolvimento desse novo combustível.

Para o evento deste ano os organizadores receberam 884 trabalhos, dos quais 715 foram aprovados e serão expostos nas sessões de apresentação de pôster. Foram destacados trabalhos que também serão apresentados oralmente nas sessões temáticas. Busca-se atingir com a divulgação dos Anais do evento a difusão do conhecimento gerado, servindo como base para a continuidade das ações e como motivação para que a inovação tecnológica contribua de forma efetiva para os objetivos do PNPB.

Cordialmente,

Professor Pedro Castro Neto
Presidente do Congresso

Professor Antônio Carlos Fraga
Presidente da Comissão Técnico-Científica

Rafael Silva Menezes
**Coordenador de ações de
desenvolvimento
energético RBTB-MCTIC**

COMISSÃO ORGANIZADORA

Pedro Castro Neto
**Presidente do Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas,
Óleos, Gorduras e Biodiesel**

Rafael Silva Menezes
**Presidente do Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia
de Biodiesel**

Gustavo de Lima Ramos
Secretário-Geral

Antônio Carlos Fraga
Presidente da Comissão Técnico-Científica

Juliana Espada Lichston
Presidente da Comissão Local da UFRN

Rafael Peron Castro
Anderson Lopes Fontes
Secretários Comissão Local da UFRN

COMISSÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Antônio Carlos Fraga (UFLA) - Presidente

Pedro Castro Neto (UFLA) - Vice-Presidente

Lucas Ambrosano (UEM) - Secretário

Geovani Marques Laurindo (G-Óleo/UFLA) - Secretário

Douglas Pelegrini Vaz-Tostes (G-Óleo/UFLA) - Secretário

MEMBROS DAS ÁREAS TEMÁTICAS

Aristeu Gomes Tininis (IFSP)

Bill Jorge Costa (TECPAR)

Bruno Galvêas Laviola (EMBRAPA)

Cláudio José de Araujo Mota (UFRJ)

Danilo Luiz Flumignan (IFSP)

Donato Alexandre Gomes Aranda (UFRJ)

Eduardo Homem de Siqueira Cavalcanti (INT)

Fátima Menezes Bento (UFRGS)

Gustavo Lima Ramos (SETEC/MCTIC)

Iêda Maria Garcia dos Santos (UFPB)

Luiz Pereira Ramos (UFPR)

Maria Aparecida Ferreira César-Oliveira (UFPR)

Nelson Roberto Antoniosi Filho (UFG)

Paulo Anselmo Ziani Suarez (UnB)

Rafael Silva Menezes (SETEC/MCTIC)

Roberto Bianchini Derner (UFSC)

Rosenira Serpa da Cruz (UESC)

Sérgio Peres Ramos da Silva (UPE)

Simoni Margaretta Plentz Meneghetti (UFAL)

COMISSÃO EXECUTORA

Associação dos
Pesquisadores em Plantas Oleaginosas,
Óleos, Gorduras e Biodiesel



Rede Brasileira de
Tecnologia de Biodiesel

SECRETARIA DE
DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
E INOVAÇÃO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



REVISÃO E EDITORAÇÃO

Pedro Castro Neto (UFLA)
Antônio Carlos Fraga (UFLA)
Lucas Ambrosano (UEM)
Douglas Pelegrini Vaz-Tostes (G-Óleo/UFLA)
Geovani Marques Laurindo (G-Óleo/UFLA)

COMISSÃO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Pedro Castro Neto (UFLA) – Presidente
Antônio Carlos Fraga (UFLA)
Gilson Miranda Júnior (BCC/UFLA)
Jaime Daniel Corrêa Mendes (BCC/UFLA)
João Paulo de Araújo (BCC / G-Óleo/UFLA)
Ferguson Antônio Gomes Peres de Souza (G-Óleo/UFLA)
Henrique Fidencio (G-Óleo/UFLA)
Arnon de Castro Oliveira (G-Óleo/UFLA)
Saulo Kirchmaier Teixeira (G-Óleo/UFLA)

AGRADECIMENTOS

Apoiadores, Autores, Congressistas, Expositores e Palestrantes.

MEMBROS DA G-ÓLEO

Associação dos Pesquisadores em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

Pedro Castro Neto (Presidente)
Lucas Ambrosano (Vice-Presidente)
Douglas Pelegrini Vaz-Tostes (Tesoureiro)
Vinícius Reis Bastos Martins (Secretário)
Antônio Carlos Fraga
Arnon de Castro oliveira
Bárbara Lemes
Camilla Freitas Maia
Camilo José Rodrigues Dal Bó
Carlos Henrique Santos Fonseca
Carlúcio Queiroz Santos
Clara de Almeida Filippo
Daniel Augusto de Souza Borges
Danilo da Silva Souza
Diego Flausino Brasileiro
Erika Tokuda
Ferguson Antonio Gomes Peres de Souza
Gabriel Dlouhy Alcon
Gabriele de Faria Castro
Geovani Marques Laurindo
Gilson Miranda Júnior
Guilherme de Oliveira Martins
Gustavo de Almeida Adolpho
Hamilton Olinto Pimenta Lima Junior
Henrique Fidencio
Jaime Daniel Corrêa Mendes
Janice Alvarenga Santos Fraga
João Paulo de Araújo
Julia Andrade de Ávila
Juliana de Xisto Silva
Maraiza Assis Mattar Silva
Marcela Santos Moreira
Matheus Sterzo Nilsson
Paulo Rogério Ribeiro Pereira
Pedro Henrique Barcelos Mota
Pedro Rodolfo Bianchim de Oliveira
Rafael Peron Castro
Rodrigo Martins Santos
Sandra Regina Peron Castro
Sandro Freire de Araújo
Saulo Kirchmaier Teixeira
Stênio Carvalho
Thalita Caroline Azevedo Gonçalves
Thiago Matiulli
Vitor Favareto Silva

REALIZAÇÃO



O Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biocombustíveis (G-Óleo) idealizado pelos professores Antônio Carlos Fraga do Departamento de Agricultura e Pedro Castro Neto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, desde 2006 promove a

produção científica e realiza eventos acadêmicos voltados a estudantes, pesquisadores e empreendedores que atuam nas diversas etapas da cadeia produtiva do biodiesel, transferindo ao produtor rural por meio de eventos de extensão, onde inovações da pesquisa e indústria são levadas e apresentadas à comunidade.

A diversidade das áreas de atuação do grupo torna os projetos amplamente diversificados, englobando atividades em fitotecnia, química, projetos e manutenção de máquinas agrícolas e industriais, gerência e tecnologia de informação, administração, extração e purificação de óleos e gorduras, gestão de coprodutos e resíduos, todas associadas à produção científica visando inovação para a indústria e melhoria na produção rural.

REALIZAÇÃO

Com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento tecnológico e a inovação do biodiesel no Brasil, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) promove

diversas ações, principalmente por meio da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB), que envolve diversos atores da

cadeia produtiva. Isso permite a convergência de esforços e a otimização de investimentos públicos, buscando soluções para os desafios tecnológicos do setor. Desde 2006, a Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC/MCTIC) promove o Congresso da RBTB com objetivo de disseminar os conhecimentos tecnológicos gerados, a divulgação das potencialidades da Rede, as competências e os trabalhos em andamento. A realização do evento envolve a comunidade científica e empresarial e abrange sete diferentes áreas temáticas: Matéria Prima; Armazenamento, Estabilidade e Problemas Associados; Caracterização e Controle da Qualidade; Co-Produtos; Produção do Biocombustível; Uso de Biodiesel; e Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável.



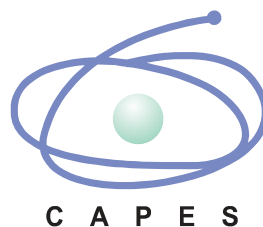
REALIZAÇÃO

SECRETARIA DE
**DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
E INOVAÇÃO**

MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



APOIO





6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

TRABALHOS CIENTÍFICOS APROVADOS

Produção de biodiesel empregando a tecnologia da destilação reativa

Guilherme Duenhas Machado (DEQ/UTFPR-LD, guilhermed@utfpr.edu.br) e Donato Alexandre Gomes Aranda (DEQ/UFRJ, donato@eq.ufrj.br).

Palavras Chave: biodiesel, hidroesterificação, destilação reativa, modelagem matemática.

1 - Introdução

O biodiesel é um potencial substituto viável para o diesel de petróleo. Seu método convencional de produção faz uso da reação de transesterificação de óleos refinados com o uso de catalisadores alcalinos. Tal método apresenta diversos inconvenientes essencialmente na etapa de purificação, encarecendo o processo e gerando resíduos indesejáveis (Ma and Hanna 1999).

Para suplantar tal fato, métodos alternativos têm sido estudados, como o processo combinado da hidroesterificação, que possibilita a utilização de óleos vegetais de baixo custo e traz muitas vantagens, entretanto, tal tecnologia disponível exige ainda duas etapas distintas, uma para a reação química e posterior separação dos produtos (Aranda et al. 2009).

Este trabalho reúne simulações computacionais de um processo de produção de biodiesel multi-etapas por hidroesterificação considerando óleo de soja como matéria graxa. A reação de hidrólise (etapa 1) utiliza um reator de leito empacotado PBR (Packed Bed Reactor) e a reação de esterificação (etapa 2) leva em conta o uso de uma Coluna de Destilação Reativa (CDR), que combina a reação química dos reagentes e separação dos produtos no mesmo equipamento.

2 - Material e Métodos

A metodologia matemática aplicada nas etapas de hidrólise e esterificação serão mostradas na sequência. Todas as considerações são as mesmas empregadas por Machado et al. (2016).

Na modelagem matemática do reator PBR na reação de hidrólise é considerado um processo isobárico e isotérmico no reator tubular, tendo um elemento de massa diferencial de catalisar ser descrito como na Figura 1, abaixo:

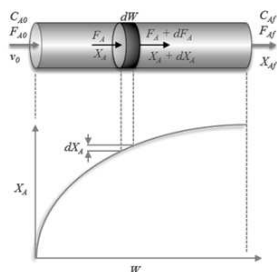


Figura 1. Elemento de massa diferencial em um reator PBR.

Após adequações pertinentes na equação de projeto de um reator PBR, conforme a referência supracitada, tem-se a equação de projeto para o sistema avaliado:

$$W = \frac{v_0}{F_{A0}} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k_{01} \exp\left(\frac{-E_{01}}{RT}\right) \left(1 - X_A\right) \left(\theta_0 - \frac{b}{a} X_A\right) - k_{02} \exp\left(\frac{-E_{02}}{RT}\right) \left(\theta_c - \frac{c}{a} X_A\right) \left(\theta_D - \frac{d}{a} X_A\right)} \quad (1)$$

A fim de se obter a massa de catalisador, a Eq. 1 pode ser integrada numericamente, resultando em um perfil de composição de cada componente ao longo do equipamento, especificando a conversão do componente A, X_A , e a corrente de alimentação na entrada no reator PBR, para as constantes cinéticas conhecidas em função da temperatura.

Para a reação de esterificação na coluna de destilação reativa (CDR), um modelo de estágio teórico pode ser definido:

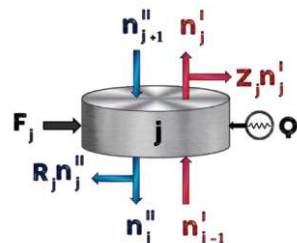


Figura 2. Configuração de um estágio teórico j de uma coluna de destilação reativa.

A partir de tal estágio teórico, equações de balanço (mássico, energético, equilíbrio de fases, taxa de reação e relação líquido/vapor) podem ser formuladas para prever o comportamento de cada estágio ao longo da coluna de destilação reativa. As equações de balanço formam um sistema de equações não linear, podendo ser resolvido numericamente.

Detalhes adicionais sobre o a modelagem matemática e o código computacional não comercial usado podem ser encontrados no estudo de Alfradique and Castier (2005) e Machado et al. (2016).

3 - Resultados e Discussão

Na etapa preliminar no reator PBR, a hidrólise de óleo de soja com água produz hidrolisado de soja e glicerol. Hidrolisado de soja é definido como uma mistura dos três ácidos graxos majoritários presentes no óleo de soja (oleico, 25,1%; linoleico, 58,2%; e palmítico, 16,7%).

Os dados cinéticos usados para a reação de hidrólise, bem como para a reação de esterificação, são de Rocha et al. (2010), que utilizaram o pentóxido de nióbio (Ni_2O_5) como catalisador.

Na Tabela 1, são mostradas as configurações do reator PBR.

Tabela 1. Especificações da reação de hidrólise no reator PBR para a etapa 1.

Variável	Especificação
Pressão	constante 56 bar
Temperatura	constante 260 °C
Alimentação	V_0 0,13 m ³ /min
	razão molar (água / óleo de soja) 5,7
	F_0 30,0 mol/min
Equação de Arrhenius	156,90
	Fator pre-exponencial (direta) / 2,42 (inversa)
Parâmetros	Energia de ativação -40.421,9 J/mol

A Figura 3, a seguir, exibe as frações molares na fase líquida simuladas ao longo do reator PBR.

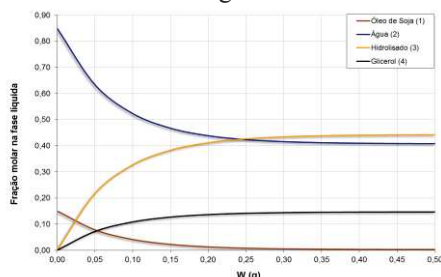


Figura 3. Fração molar dos componentes na fase líquida para a reação de hidrólise na saída do reator PBR

O hidrolisado de soja e o glicerol gerados na reação de hidrólise formam duas fases distintas a temperaturas moderadas, podendo ser separados fisicamente.

A estequiometria da reação de hidrólise analisados entre a água e o óleo de soja é de 3:1. Condições industriais de hidrólise (SGS – Ponta Grossa / PR) relataram que o valor usualmente utilizado é próximo a 16 mols de água para cada mol de óleo de soja.

No entanto, nas análises de sensibilidade efetuadas nas simulações, usou-se o dobro da estequiométrica, mais especificamente, 5,7. A partir desta razão molar, conversões acima de 99,6% foram obtidas, com menor custo de recirculação da água adicionada em excesso.

O hidrolisado de soja gerado na etapa 1 passa então à reação de esterificação. Hidrolisado de soja reage com etanol, formando biodiesel e água. Todas as especificações da coluna de destilação reativa são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações da coluna de destilação reativa e da reação de esterificação (etapa 2).

Variáveis	Especificações
Pressão	Todos os estágios 1,0132 bar
Estágios	20
Condensador	Total Estágio 20
Refrervador	Parcial Estágio 1
Razão de refluxo	Condensador 0,001
	Refrervador 0,17
Setor reativo	Pentóxido de nióbio (Nb ₂ O ₅) Estágio 6 – 17
Catalisador	500g por estágio
Alimentação	1,0132 bar
	1 13,19 (mol/min)
(Hidrolisado)	480,15 K
	2 (Etanol) 15,76 (mol/min)
Equação de Arrhenius	351,15 K
	Fator pre-exponencial 16,13 (direta) / 0,72 (inversa)
Parameters	Energia de ativação -24.117 J/mol

Para a figura 4, o perfil da fração molar na fase líquida para os componentes da etapa de esterificação pode ser visto.

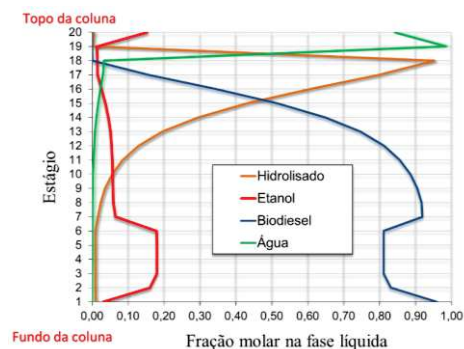


Figura 4. Fração molar na fase líquida ao longo da CDR.

O biodiesel é removido no fundo da coluna com uma pureza considerável (95,89%). Excluindo a quantidade de etanol na corrente de fundo (que podem ser separados por um processo de flash), a pureza do biodiesel produzido atinge 99%.

Análises de sensibilidade na temperatura de alimentação do hidrolisado de soja mostram que este parâmetro pode ser uma estratégia de otimização mais vantajosa do que o aumento do consumo de energia no refrervador.

Ambas as reações de hidrólise e esterificação foram combinados num processo global, como visto na Figura 5.

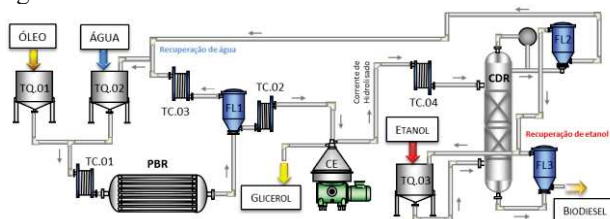


Figura 3. Fluxograma simplificado do processo combinado de hidroesterificação para produção de biodiesel (FL – Flash, TQ – Tanque, CE – Centrifuga, TC – Trocador de Calor).

4 – Conclusões

Neste trabalho, as etapas de hidrólise de óleo de soja em um reator tubular (PBR) e esterificação de ácidos graxos (hidrolisado de soja) em uma coluna de destilação reativa (CDR) foram simuladas. Tais etapas foram então combinadas em sequência para produzir biodiesel pelo processo de hidroesterificação.

A metodologia utilizada foi consistente e os resultados das análises de sensibilidade mostraram condições otimizadas para conversões superiores a 99%, superior às especificações técnicas internacionais de 96,5%.

5 – Agradecimentos

Os autores agradecem a RBTB-MCTIC e ao CNPq (502681/2014-4) pelo apoio recebido para o desenvolvimento deste trabalho.

6 - Bibliografia

- Ma, F.; Hanna, M. A.; *Bioresour. Technol.* **1999**, 70, 1.
Aranda, D. A.; et al.; *J. Phys. Org. Chem.* **2009**, 22, 709.
Alfradique, M. F.; Castier, M.; *Comp. & Chem. Eng.* **2005**, 29, 1875.
Machado, G. D.; et al.; *Chem. Eng. Process.* **2016**, 103, 37.
Rocha, L. L. L.; et al.; *Lett. Org. Chem.* 2010, 7, 571.