

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

SIMULAÇÃO DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM REATORES PFR

AUTORES:

CARNEIRO JUNIOR, J. A. M.^{1,2}; RODRIGUES, M. L.¹; ANDRADE, S. S. L.¹; COSTA, T. S. M.³; SACRAMENTO, V. J.¹; LIMA LOBATO, A. K. C.¹; SANTOS, L. C. L.¹

INSTITUIÇÃO:

¹Universidade Federal da Bahia, Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

³Universidade Salvador, Curso de Engenharia Química

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

SIMULAÇÃO DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM REATORES PFR

Abstract

The use of energy resources from non-renewable sources has led to environmental impacts, with unimaginable proportions. The acceleration of the greenhouse effect is undoubtedly one of the factors that most contribute to these events. In this context, biodiesel comes as an important renewable alternative source which can be obtained from various biomass sources such as animal fat, oil plants, algae and waste oils. Along with that, process simulation is an important tool for process engineering, which provides an evaluation of a particular process, without requiring its implementation. Therefore, the aim of this work is to simulate the biodiesel production from palm oil in a Plug-Flow Reactor evaluating the specification of the final products. The simulation presented here is based on the process of biodiesel production by homogeneous catalysis using methanol and sodium hydroxide as catalyst.

Introdução

A atual situação da matriz energética mundial faz com que, a busca pelas mais diversas fontes de geração de energias alternativas, seja o foco de desenvolvimentos de pesquisas relacionadas a fontes de energias renováveis (Marques et al, 2008). Isto se deve ao fato de que, a utilização de fontes não renováveis, tais como o petróleo e o carvão mineral, tem gerado expectativas negativas quanto à disposição desses recursos em longo prazo (Dennis et al, 2009). O aumento da demanda energética mundial tem preocupado as nações, principalmente as mais desenvolvidas, quanto à escassez dessas fontes energéticas (Pires, 2004; Suarez, et al, 2009). Este será um fator preponderante na contenção do desenvolvimento econômico das mesmas. A utilização de recursos energéticos oriundos de fontes não renováveis tem gerado impactos ambientais, com proporções inimagináveis.

O aumento acelerado do efeito estufa é sem dúvida, um dos fatores que mais contribuem para esses acontecimentos (Vieira et al, 2008). O efeito estufa é ocasionado pela grande emissão de gases poluentes na atmosfera, como por exemplo, compostos sulfurados, nitrogenados, CO₂ e CO (Prado et al, 2006). Isto decorre da utilização demasiada desses combustíveis fósseis, na busca por suprir as demandas energéticas atuais.

Dentro desse contexto surge à utilização de fontes de energias renováveis, que por serem fontes menos poluidoras, e poderem possibilitar a auto sustentabilidade, dessas nações, em geração de energia, estão sendo vistas de forma bastante aceitável (Quintella et al, 2009; Goes e Marra, 2009). A substituição parcial dos combustíveis fósseis, por meio de biocombustíveis é cada vez mais buscada, pelos países que tem um aumento crescente da sua demanda energética (Acioli, 1994 e Lovatelli, 2001). Nesse contexto o biodiesel surge como uma fonte bastante importante de energia alternativa e renovável, haja vista que o mesmo pode ser conseguido de várias fontes de biomassa, tais como gordura animal, plantas oleaginosas, algas e pelo reaproveitamento de óleos residuais (Vieira et al, 2008).

O biodiesel é formado através de uma reação de transesterificação (ou alcoólise) alcalina ou ácida, de ácidos graxos de cadeia longa. A rota alcalina é a mais empregada na produção de biodiesel e os álcalis mais utilizados nos processos, atualmente desenvolvidos, são os hidróxidos e metóxidos de sódio e potássio. A utilização de álcoois de cadeia curta, geralmente metanol ou etanol são predominantes nesse processo, com isso são gerados ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos, aos quais se dá o nome de biodiesel (Soarez e Meneghetti, 2007; Dabdoub e Bronzel, 2009). O biodiesel se aproxima fortemente do diesel fóssil, e devido a este fator não são necessárias modificações nos motores de combustão interna, para que haja a utilização do biodiesel, diferentemente de outras fontes

alternativas de energia, tais como o gás natural (Prado et al 2006; Oliveira e Costa, 2008). Como subproduto principal da transesterificação dos ácidos graxos tem-se o glicerol, este composto é indesejado na composição do biodiesel, pois implica em diversos fatores que prejudicam o funcionamento dos motores, como por exemplo, o entupimento das bombas injetoras, a deposição no fundo do tanque, o que promove o aumento da corrosão dos mesmos, etc (Ma e Hanna, 1999 e Sharma et al, 2008). O processo predominante na produção do biodiesel, atualmente no Brasil e no mundo, ocorre através da catálise homogênea utilizando o metanol como agente esterificante, o processo em batelada a partir da catálise homogênea ou em reatores contínuos tipo tanque agitado. Nesses processos a separação do glicerol presente no biodiesel é feita por decantação e em seguida o biodiesel é lavado com água ligeiramente ácida, buscando atingir as especificações dos órgãos regulamentadores desse produto (Dennis et al, 2009). A busca por novas formas de processos que possam levar a obtenção de biodiesel em larga escala e de forma contínua o que tornará o produto mais competitivo frente ao diesel fóssil, tem gerado os mais diversos estudos no campo da ciência e tecnologia (Dabdoub e Bronzel, 2009).

A simulação de processos é uma ferramenta importante para a engenharia de processos, pois a mesma disponibiliza a avaliação de um determinado processo, sem que seja necessário a implementação do mesmo (Perlingeiro, 2009). Isto é um fator muito importante, pois possibilita que erros graves sejam evitados e com isso gastos desnecessários sejam realizados. Sendo assim o presente trabalho busca avaliar a otimização da produção de biodiesel através da simulação de um processo contínuo, em reator PFR. A simulação aqui apresentada foi realizada com o software CHEMCAD e está baseada no processo de produção de biodiesel por catálise homogênea, utilizando o metanol como agente transesterificante e o hidróxido de sódio como catalisador. A avaliação da conversão do processo, bem como o aumento da produção de biodiesel são fatores determinantes para viabilizar a utilização de uma nova rota de produção do biodiesel, tornando-o uma real fonte de energia renovável, geradora de menos impactos ambientais.

Metodologia

D) Componentes Utilizados nas Simulações

O simulador utilizado, assim como a maioria dos simuladores comerciais, não possui algumas substâncias de extrema importância na produção de biodiesel, tais como óleos vegetais (triglicerídeos), gliceróis (mono e diglicerídeos) e biodiesel (ésteres) em seu banco de dados. Para contornar este problema, foram inseridas algumas substâncias representativas no banco de dados do simulador, a saber: trilinoleína para representar o óleo vegetal, a dilinoleína e a monolinoleína (gliceróis intermediários da reação de transesterificação), e o metil linoleato (biodiesel).

As substâncias podem ser adicionadas ao banco de dados do software através da inserção de algumas propriedades físico-químicas tais como temperatura crítica, pressão crítica e volume crítico, temperatura normal de ebulição, fator acêntrico, massa molar e densidade ou através de um método de contribuição de grupos, se estiver disponível no simulador. O software utilizado dispõe de apenas dois métodos de contribuição de grupos, a saber: UNIFAC e JOBACK. Estes não produzem boas previsões das propriedades físico-químicas supracitadas para substâncias complexas como triglicerídeos, diglicerídeos e monoglicerídeos já que são métodos baseados em grupos de primeira ordem.

A fim de estimar as propriedades críticas (temperatura, pressão e volume), temperatura normal de ebulição e fator acêntrico dos gliceróis (tri, di e monoglicerídeos), utilizou-se o método de contribuição de grupos Constantinou e Gani. Neste método a estimativa é baseada em dois níveis: um básico que utiliza contribuições de grupos de primeira ordem e outro mais elevado baseado em grupos de segunda ordem que são formados pela combinação de grupos de primeira ordem. Assim, o método

faz dois tipos de aproximação: um mais superficial (grupos de primeira ordem) e outro, que emprega os grupos de primeira e segunda ordem, resultando em uma estimativa mais precisa. (Constantinou; Gani, 1994; Constantinou; Gani, 1995). Segundo Cruz et. al. (2010), o método Constantinou e Gani produz resultados muito satisfatórios quando aplicado a triglicerídeos. Os cálculos foram realizados em planilhas simples do software Microsoft Excel.

Para aprimorar a simulação, o software CHEMCAD disponibiliza várias ferramentas para a regressão de dados experimentais de densidade e viscosidade, dentre outros. Neste trabalho, foram obtidos dados experimentais de densidade e viscosidade para a trilinoleína em várias temperaturas para a realização de regressões no simulador. Os dados foram mensurados através do densímetro e viscosímetro Anton Paar Stanbinger Viscometer SVM 3000 (ASTM D7042-04).

II) Cinética da Reação de Transesterificação

O simulador CHEMCAD dispõe de vários tipos de reatores que podem ser aplicados, tais como reatores de conversão, Gibbs, equilíbrio e cinéticos (CSTR e PFR). O objetivo proposto por este trabalho de definir um processo contínuo para a produção de biodiesel a partir da transesterificação metílica do óleo de dendê requer que utilizemos os reatores cinéticos (PFR e/ou CSTR). Para implementar uma simulação utilizando tais reatores, é necessário que a cinética da reação esteja disponível.

A cinética da reação de transesterificação utilizada foi obtida a partir de estudos realizados e publicados por Narváez et. al. (2007). Nesta publicação, a cinética para a reação é obtida sob as seguintes condições: (i) o metanol é o álcool transesterificante; (ii) razão molar álcool/óleo vegetal de 6:1, isto é, excesso de álcool de 100%; (iii) o catalisador utilizado é o hidróxido de sódio na razão catalisador/óleo vegetal de 0,2%(m/m); (iv) temperatura de reação de 50°C e pressão atmosférica.

A transesterificação consiste de três reações reversíveis consecutivas como o esquema exposto na Figura 1. A primeira fase é a conversão de triglicerídeos (TG) em diglicerídeos (DG), seguida da conversão de diglicerídeos em monoglicerídeos (MG) e, finalmente, da conversão de monoglicerídeos em glicerol (GL). Em cada etapa, há a liberação de uma molécula de um éster. Assim, ao final da reação serão formadas três moléculas de éster e uma de glicerol para cada molécula de triglicerídeo reagida (Fukuda et. al., 2001).

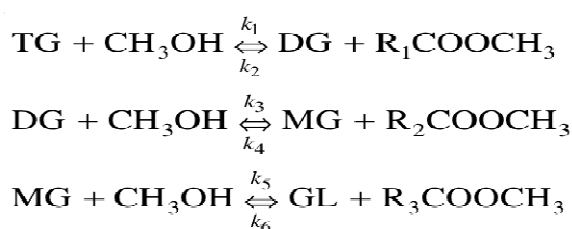


Figura 1 – Mecanismo geral da reação de transesterificação.

Navárez et. al. (2007) obtiveram as constantes de reação e os parâmetros da equação de Arrhenius (energia de ativação e fator pré-exponencial) para cada uma das reações diretas e inversas. As reações diretas são de pseudo-primeira ordem e as inversas são de segunda ordem. A equação de Arrhenius é dada pela Equação 1:

$$k(T) = A e^{\frac{-E}{RT}} \quad (1)$$

Em que,

k = constante de reação em uma determinada temperatura;

A = fator pré-exponencial ou fator de frequência;

E = energia de ativação da reação;

R = constante universal dos gases;

T = temperatura em Kelvin.

Nas simulações realizadas, foram implementadas no simulador CHEMCAD as seis reações (três reações diretas e três inversas) apresentadas na Figura 1, adicionados os valores dos parâmetros da equação de Arrhenius e a ordem de cada reação.

III) Modelo Termodinâmico

Pela complexidade apresentada pela mistura de componentes polares e apolares nas simulações, o modelo termodinâmico de composição local NRTL (Non-Random-Two-Liquid) foi escolhido. A equação NRTL, introduzida por Renon e Prausnitz em 1968, baseia-se na teoria quasi-química de Guggenheim que estabelece que as moléculas não se distribuem aleatoriamente em uma solução (conceito de composição local) e é capaz de prever os equilíbrios líquido-vapor e líquido-líquido de uma mistura multicomponente utilizando apenas parâmetros de interação binária (Steltenpohl; Graczová, 2009).

Alguns equipamentos de processo fundamentais na simulação necessitam dos coeficientes de atividade dos componentes em algumas condições, como é o caso do decantador contínuo e da coluna de extração líquido-líquido. Para este fim foram inseridas as estruturas UNIFAC de cada novo componente adicionado, já que o simulador só dispõe do método de contribuição de grupos para estimar estes parâmetros na ausência de dados experimentais. A partir dos grupos UNIFAC, o software estimou os parâmetros de interação binária pelo método NRTL.

Dessa forma, foram elaborados 02 processos de produção de biodiesel como segue abaixo:

- Processo A: consiste de 03 etapas produtivas, das quais temos um sistema reacional, um sistema de separação de fases e um sistema de purificação da fase éster. O sistema reacional é composto de mixer, aquecedor e reator PFR encamisado. O sistema de separação de fases é caracterizado por um decantador contínuo líquido-líquido para obtenção da fase éster (bruta) e da fase pesada (glicerina bruta). A coluna de lavagem líquido-líquido e o evaporador são equipamentos do sistema de purificação da fase éster.

Assim, o mixer receberá a corrente de óleo à temperatura de 50°C, advinda do aquecedor, e uma corrente de álcool com vazão de 20 % m/m em relação ao óleo. Em seguida, essa mistura é enviada ao reator PFR que opera a 50°C e pressão atmosférica, e possui uma camisa de aquecimento. A quantidade utilizada de catalisador na transesterificação foi de 0,2% m/m, de hidróxido de sódio (NaOH). O sistema de separação de fases receberá o biodiesel bruto que sai do reator, e após a separação envia a fase éster obtida para o sistema de purificação. A coluna de lavagem arrasta as impurezas e excessos contidos na fase éster, que por sua vez, segue para um sistema de desumidificação num evaporador.

- Processo B: as etapas deste processo são idênticas ao processo anterior, diferenciando-se que foi acrescentado mais uma etapa reacional (aquecimento, mixer e reator PFR) e de separação de fases. Nestas etapas adicionais, o mixer recebe a fase éster do primeiro decantador, e uma corrente de álcool em proporção de 10% m/m em relação à fase éster. Este meio reacional entra no segundo reator PFR, operando nas mesmas condições do primeiro reator. Dando continuidade às demais etapas produtivas.

Uma vez definido o fluxograma do processo, assumindo valores de vazão, composições, temperaturas e pressões das correntes de entrada nos equipamentos, a simulação pode prever as taxas de fluxo, composições, temperaturas e pressões das correntes de saída. Assim como, também permitiu o dimensionamento dos equipamentos e o consumo das matérias-primas e energia do processo, podendo assim, avaliarmos cada equipamento do sistema global.

Resultados e Discussão

Conforme verificado na simulação, o Processo A não atendeu à especificação vigente em relação as propriedade de teor de éster (89%), assim, o artigo abordará apenas os resultados obtidos para o Processo B. A Figura 2 apresenta o fluxograma modelado no CHEMCAD, no qual podemos observar todos os equipamentos inseridos para o Processo B.

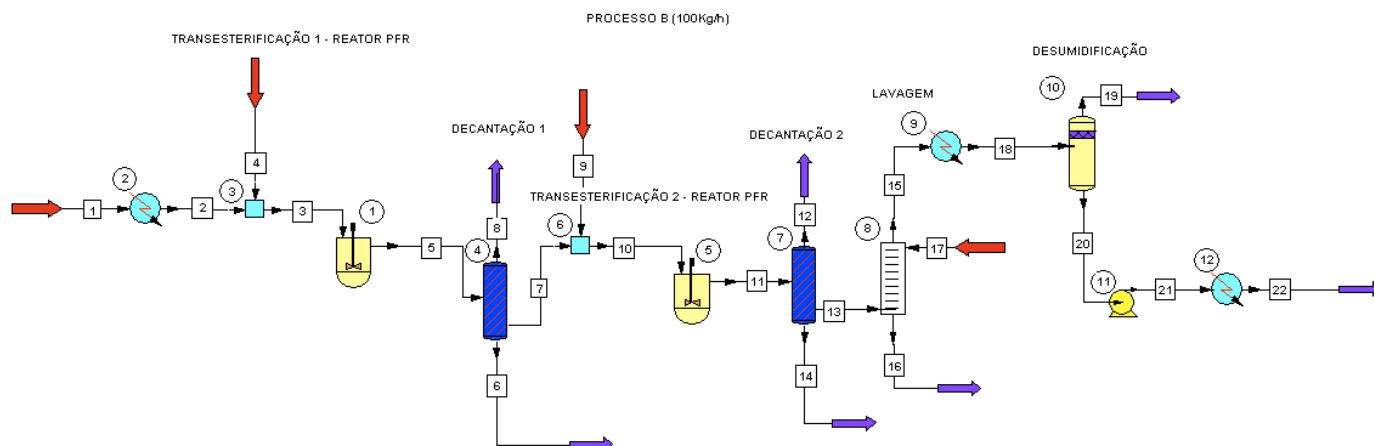


Figura 2: Processo B – Fluxograma do Processo Contínuo de Produção de Biodiesel em Reatores PFR

A composição das correntes do processo B, ilustrado na Figura 1, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição das correntes do processo B.

Corrente	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Temp (°C)	30	50	46	30	50	30	30	30	30
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vazão Total (Kg/h)	100,0000	100,0000	120,0000	20,0000	120,0000	9,9339	110,0662	11,1000	121,1662
Metanol (Kg/h)	0,0000	0,0000	20,0000	20,0000	9,9502	1,5818	8,3684	11,1000	19,4684
Trilinoleína (Kg/h)	100,0000	100,0000	100,0000	0,0000	0,4576	0,0009	0,4567	0,0000	0,4567
Dilinoleína (Kg/h)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,1783	0,0359	2,1423	0,0000	2,1423
Monolinoleína (Kg/h)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6,6909	0,4514	6,2395	0,0000	6,2395
Metil Linoleato (Kg/h)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	92,3619	0,0040	92,3579	0,0000	92,3579
Glicerol (Kg/h)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8,3613	7,8599	0,5014	0,0000	0,5014
Água (Kg/h)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Corrente	11	13	14	15	16	17	18	19	20
Temp (°C)	50	30	30	30	30	30	110	110	110
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1	0,06	0,06
Vazão Total (Kg/h)	121,1662	118,7735	2,3928	100,0829	54,4905	35,8000	100,0829	0,9929	99,0873
Metanol (Kg/h)	18,8053	17,8649	0,9404	0,0478	17,8171	0,0000	0,0478	0,0444	0,0034
Trilinoleína (Kg/h)	0,6883	0,6880	0,0003	0,5612	0,1268	0,0000	0,5612	0,0000	0,5612
Dilinoleína (Kg/h)	0,3773	0,3747	0,0025	0,1407	0,2340	0,0000	0,1407	0,0000	0,1407
Monolinoleína (Kg/h)	0,6508	0,6385	0,0124	0,0886	0,5498	0,0000	0,0886	0,0000	0,0886
Metil Linoleato (Kg/h)	98,4523	98,4505	0,0017	98,2914	0,1591	0,0000	98,2914	0,0199	98,2688
Glicerol (Kg/h)	2,1923	0,7569	1,4354	0,0000	0,7569	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Água (Kg/h)	0,0000	0,0000	0,0000	0,9533	34,8467	35,8000	0,9533	0,9286	0,0247

A tabela 2 apresenta os parâmetros finais do biodiesel obtido nos processos A e B.

Tabela 2: Parâmetros finais do biodiesel produzido

Propriedade	Processo A	Processo B	Especificação ANP
Massa Específica a 20°C	890,4 Kg/m ³	887,2 Kg/m ³	850 – 900
Viscosidade Cinemática a 40°C	4,6 mm ² /s	4,5 mm ² /s	3,0 – 6,0
Teor de Água	411,7 mg/Kg	248,9 mg/Kg	< 500
Teor de Éster (% em massa)	89%	99,2%	> 96,5
Glicerol livre	0%	0%	0,02
Metanol/Etanol (% em massa)	0,01%	0,003%	Max. 0,20

Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e definição de dois processos para a produção contínua de biodiesel.

A simulação de processos desempenha um papel fundamental no projeto de plantas de processos, dos quais: a redução do tempo de projeto da planta, permitindo ao projetista verificar diversas configurações da usina; a agilização do processo, permitindo responder a perguntas como "e se", e determinar as condições ótimas do processo de restrições dadas; auxilia na predição de custos e na viabilidade econômica global

Analisando-se os processos, intitulados “Processo A” e “Processo B”, buscou-se determinar a melhor opção para a produção contínua de biodiesel através da transesterificação metílica do óleo de dendê via catálise básica utilizando o simulador comercial de processos químicos CHEMCAD (*Chemstations*).

Através das simulações realizadas, foi constatado que o Processo A não é capaz de produzir biodiesel dentro das especificações determinadas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), uma vez que o teor mínimo de ésteres final não é atingido devido à baixa conversão obtida por apenas uma etapa reacional. O Processo B, constituído de dois estágios reacionais, atingiu conversões bem maiores e produziu biodiesel de acordo com as especificações exigidas pela ANP.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro do CNPq e CAPES.

Referências Bibliográficas

Acioli, J, de L. **Fontes de Energia**, Editora Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 1994.

Constantinou, L.; Gani, R. **New group contribution method for estimating properties of pure compounds**. AIChE Journal, vol. 40, N° 10, p. 1697 – 1710, oct. 1994.

Constantinou, L.; Gani, R.; O’Connell, J. P. **Estimation of the acentric factor and the liquid molar volume at 298 K using a new group contribution method**. Fluid Phase Equilibria, vol. 103, p. 11 – 22, 1995.

Dabdoub, M. J. e Bronzel, J. L. **Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria** Quim. Nova, Vol. XY, No. 00, 1-17, 2009.

- Dennis, Y.C. e Xuan Wu, M.K.H. **A review on biodiesel production using catalyzed transesterification** Leung Applied Energy 87 1083–1095, 2010. Editora Abril, 2004.
- Fukuda, H.; Kondo, A.; Noda, H. **Biodiesel fuel production by transesterification of oils**. Journal of bioscience and bioengineering, vol. 92, N° 5, p. 405 – 416, sep. 2001.
- Goes, T. e Marra, R. **Biocombustíveis – Uma alternativa para o mundo, uma oportunidade para o Brasil**. IVIG/COPPE/UFRJ.
- Lovatelli, C. **Situação do biodiesel no mundo**. Anais do Seminário Biodiesel. 2001.
- Ma, F; Hanna, M. A; **Biodiesel production: a review**, Bioresource Technology, 1999.
- Marques, M. V.; Silva, C. F. G.; Naciuk, F. F.; e Fontoura L. A. M. Revista Analytica • Fevereiro/Março 2008 • N°33.
- Oliveira, L. B. e Costa, A. O. **Biodiesel uma experiência de desenvolvimento sustentável**.
- Perlingeiro, C.A. G. **Engenharia de processos – Análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos**. São Paulo. Ed. Blucher. ISBN 978-85-212-0368-1, 2005.
- PIRES, A. **A Energia Além do Petróleo**. IN: Anuário Exame 2004-2005, infraestrutura.
- Prado, E. A.; Zan, R. A.; Golfetto, D. C. e Schwade, V. D. **Biodiesel: um tema para uma aprendizagem efetiva**. Anais do XXXIV COBENGE, ISBN 85-7515-371-4, 2006.
- Quintella, C. M.; Teixeira, L. S. G.; Korn, M. G. A.; Costa Neto, P. R.; Torres, E. A.; Castro, M. P. e Jesus, C. A. C. **Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I**, Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 793-808, 2009.
- Sharma, Y. C.; Singh, B.; Upadhyay, S. N.; Fuel **2008**, 87, 2355; Castiglioni, R. F.; Abreu, F. R.; BR Pat. PI00160 **2006**.
- Steltenpohl, P.; Graczová, E. **Application of extended NRTL equation for ternary liquid – liquid and vapor – liquid – liquid equilibria description**. Chemical Papers, vol. 64, p. 310 – 317, nov. 2009.
- Suarez, P. A. Z. e Meneghetti, S. M. P. **70º Aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no brasil**. Quim. Nova, Vol. 30, No. 8, 2068-2071, 2007.
- Suarez, P. A. Z.; Santos, A. L. F.; Rodrigues, J. P. e Alves, M. B. **Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los**. Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 768-775, 2009.
- Vieira, A. T.; Terrones, M. G. H.; Epoglou, A. Batista, A. C. F. **Os princípios da química verde e suas aplicações na produção de biodiesel**. 4º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel.