

EFLUENTE ORIUNDO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SOJA¹ *EFFLUENTS GENERATED IN THE BIODIESEL PRODUCTION*

**Roger Gorski Cadó², Rodrigo Fernando dos Santos Salazar³ e
Noeli Júlia Schüssler de Vasconcellos⁴**

RESUMO

A cadeia produtiva do biodiesel tem se estabelecido como uma das mais proficuas no Brasil envolvendo o agronegócio. Paralelamente, o Rio Grande do Sul apresenta a terceira maior produção de biodiesel nacional. Entretanto, como qualquer atividade industrial, ocorre a geração de subprodutos e resíduos que demandam o devido reaproveitamento e/ou manejo. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar físico e físico-quimicamente o efluente oriundo da etapa final da produção de biodiesel de uma empresa de grande porte para a auxiliar no gerenciamento do efluente. Os parâmetros analisados foram: Al, Ag, As, B, Ba, Cd, CN⁻, Co, Cor, Cr-total, Cr(VI), Cu, espumas, fenol, Fe, F⁻, Hg, Li, Mn, Materiais flutuantes, Mo, Ni, odor, óleos e graxas (mineral), óleos e graxas (vegetal e animal), Pb, pH (25 °C), S⁻², Se, Sn, sólidos sedimentáveis, surfactantes, V e Zn. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que as concentrações elementares, com exceção do F⁻ e V, estão abaixo do nível de tolerância para descarte de efluente (CONAMA 430/2011) em corpo hídrico classe II (CONAMA 357/2005). De qualquer modo, o efluente necessita de um tratamento simplificado para a remoção da cor (175 HZ) e ajuste do pH (13,1) e consequente precipitação química do F⁻, para posterior descarte.

Palavras-chave: biodiesel, caracterização físico-química, efluente.

ABSTRACT

The biodiesel production chain, which includes agribusiness, has established itself as one of the most successful in Brazil. Additionally, the state of Rio Grande do Sul is the third largest national producer of biodiesel. However, like any other industrial activity, it generates by-products and wastes that require proper reuse and management. This study aimed to physicochemically characterize the effluent generated in the final stage of the biodiesel production from a large company in order to contribute to this effluent management. The parameters analyzed were: Al, Ag, As, B, Ba, Cd, CN⁻, Co, Color, Cr-total, Cr(VI), Cu, foams, phenol, Fe, F⁻, Hg, Li, Mn, floating materials, Mo, Ni, odor, oil and lubricants (mineral), oil and lubricants (vegetable and animal), Pb, pH (25 °C), S⁻², Se, Sn, settleable solids, surfactants, V and Zn. The conclusion was that the elemental concentrations were below the tolerance level for effluent disposal (CONAMA 430/2011) in Class II bodies of water (CONAMA 357/2005), except for F⁻ and V parameters. In any event, the effluent requires a simplified treatment for color removal (175 Hz) and pH adjustment (13.1), and subsequent chemical precipitation of F⁻ for its future disposal.

Keywords: *biodiesel, effluent, physicochemical characterization.*

¹ Trabalho resultante de estágio supervisionado.

² Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano. E-mail: rgorskicado@gmail.com

³ Coorientador. Docente do curso de Engenharia Química - Centro Universitário Franciscano. E-mail: salazar@unifra.br

⁴ Orientadora. Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: julia@unifra.br

INTRODUÇÃO

O biodiesel é definido como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores de combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente os combustíveis de origem fóssil (DOMINGUES et al., 2013; BERWANGER et al., 2015). O biodiesel é um composto derivado dos ésteres de ácidos graxos de cadeia longa proveniente de fontes biológicas renováveis como os óleos vegetais e gordura animal (BRITO et al., 2012; CADÓ et al., 2014). Com a intenção de diminuir a emissão dos gases do efeito estufa, o biodiesel não contém petróleo em sua composição, podendo ser adicionado a derivados do petróleo (BERWANGER et al., 2015).

A reação de transesterificação está entre os processos primários de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras, tanto em escala laboratorial como industrial (BRASIL, 2011; DOMINGUES et al., 2013; BERWANGER et al., 2015). A reação de transesterificação é conhecida também como alcoólise, ou seja, a reação entre um álcool (metanol ou etanol) com um triglicerídeo, que resulta em biodiesel (éster) e glicerina (glicerol) (KNOTHE et al., 2006; BERWANGER et al., 2015). Sua realização está na utilização de diferentes tipos de alcoóis e de catalisadores ácidos e básicos em meio homogêneo ou heterogêneo sob a condição controlada de temperatura (LÔBO et al., 2009; CADÓ et al., 2014).

Com o intuito de purificar o biodiesel para atender às normas de comercialização da Agência Nacional de Petróleo (ANP - Resolução 42), são utilizados volumes consideráveis de água (BRASIL, 2012). Durante a etapa de purificação do biodiesel, é realizada uma série de operações unitárias constituídas tangem-no que diz respeito à lavagem, filtração e secagem do biodiesel com consequente retirada de subprodutos como glicerina, alcoóis (metanol ou etanol) e ácidos graxos e de resíduos de sabões. Este último, com elevadas concentrações de sódio ou potássio e outros contaminantes (NOUREDDINI, 2001; CADÓ et al., 2014). Utilizando métodos tradicionais para lavagem, estima-se que para cada litro de biodiesel produzido é necessária a utilização de três litros de água para a realização da lavagem (DE BONI et al., 2007). As águas resultantes desse processo apresentam parâmetros físicos e químicos inadequados para o seu lançamento em corpos hídricos sem a realização de um tratamento prévio (NEVES, 2011; BRITO et al., 2012). Além de características inerentes ao processo em escala industrial para produção de biodiesel, pode-se atribuir a presença de contaminantes nas águas residuárias da linha de produção à qualidade da matéria prima e dos insumos empregados no processo de esterificação que, em situações indesejadas, conduz a perdas de produtividade e baixa qualidade do biodiesel gerado (DE BONI et al., 2007; GOLDANI et al., 2008). Consequentemente, é necessário o monitoramento constante de diferentes parâmetros físico-químicos para o devido gerenciamento do

efluente gerado e da cadeia produtiva (KNOTHE et al., 2006; GOLDANI et al., 2008; LÔBO et al., 2009; NEVES, 2011; BRITO et al., 2012 CADÓ et al., 2014; BERWANGER et al., 2015).

De acordo com o Art. 24 da Resolução 357/2005 e Art. 16 da Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nessas resoluções (BRASIL, 2005; BRASIL; 2011). A resolução determina que o efluente somente poderá ser lançado desde que não altere a qualidade do corpo receptor (BRASIL, 2005; BRASIL; 2011; CAVALCANTI, 2012).

Neste contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, caracterizar físico-quimicamente o efluente oriundo da etapa final da produção de biodiesel de uma empresa de grande porte da Região Noroeste do Rio Grande do Sul para a auxiliar no gerenciamento desse resíduo.

METODOLOGIA

As amostras foram coletadas em frascos de polipropileno devidamente higienizados e submetidas aos testes físico-químicos nos laboratórios da empresa (ABNT, 1987). As amostras utilizadas nos experimentos foram obtidas de uma empresa de grande porte que produz biodiesel, localizada na Região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. As amostras de efluente da produção de biodiesel foram coletadas ao final do processamento do óleo de soja degomado de cada batelada.

A caracterização físico-química do efluente oriundo da etapa final da produção de biodiesel consistiu na análise dos seguintes parâmetros: análise multielementar [Al, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr-total, Cr(VI), Fe, F, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, V e Zn], cianeto (CN⁻), cor, espumas, fenol, materiais flutuantes, odor, óleos e graxas (mineral), óleos e graxas (vegetal e animal), pH (25°C), S⁻², sólidos sedimentáveis e surfactantes. Os procedimentos para as caracterizações físico-química foram extraídos do *Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater* (APHA-AWWA-WEF, 2012), conforme exposto na tabela 1.

Para as determinações dos elementos metálicos realizadas, utilizou-se o espectrômetro emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, do inglês *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*), modelo Optima DV 4300 da Perkin Elmer, com possibilidade de emprego do plasma no modo de configuração axial e radial. As condições de análise do ICP-OES estão apresentadas na tabela 2. Para a digestão das amostras de efluente, foram empregados os procedimentos de abertura de amostras de origem ambiental por digestão ácida, conforme proposto por Salazar et al. (2011) e Bianchi et al. (2012).

Tabela 1 - Métodos e normas extraídos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* 22nd Ed (APHA-AWWA-WEF, 2012) para a caracterização das amostras de efluente de biodiesel.

Parâmetros físico-químicos	Protocolo ou método analítico
Alumínio total (Al - total)	3111D.
Arsênio (As)	3114C.
Bário total (Ba - total)	3111D.
Boro (B)	4500-B C.
Cádmio total (Cd - total)	3111B.
Chumbo total (Pb - total)	3111B.
Cianeto total (CN - total)	4500 CN F.
Cobalto total (Co - total)	3111B.
Cobre total (Cu - total)	3111B.
Cor aparente	2120B.
Cromo hexavalente [Cr(VI)]	3500-Cr B.
Cromo total (Cr - total)	3111D.
Espumas	Visual
Estanho (Sn)	3111D.
Fenol totais (substâncias que reagem com a 4-aminoantipirina)	5530D. (Direta)
Ferro total (Fe - total)	3111B.
Fluoreto (F ⁻¹)	4500F. D
Lítio (Li)	3111B.
Manganês (Mn)	3111B.
Materiais flutuantes	APHA-AWWA-WEF (2012)
Mercúrio (Hg)	3112B.
Molibdênio (Mo)	3111D.
Níquel total (Ni - total)	3111B.
Odor	APHA-AWWA-WEF (2012)
Óleos e graxas mineral (O&G mineral)	5520D.
Óleos e graxas vegetal e animal (O&G vegetal e animal)	5520D.
pH a 25°C	ABNT-MB2237 - NBR 9251 (ABNT, 1986)
Prata (Ag)	3111B.
Selênio (Se)	3114C.
Sólidos sedimentáveis	2540F.
Sulfeto (S ⁻²)	4500- S ² D.
Surfactantes (substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno)	5540C.
Temperatura (°C)	APHA-AWWA-WEF (2012)
Vanádio (V)	3111D.
Zinco total (Zn-total)	3111B.

Tabela 2 - Parâmetros instrumentais do ICP-OES para a análise multielementar em amostras de efluente de biodiesel.

Parâmetro da análise	Condições
Vazão de Argônio	10 L/min
Vazão do Nebulizador	0,54 L/min
Vazão de Gás Auxiliar	0,2 L/min
Referência de Leitura	15 mm
Potência da Rádio Frequência	1450 W
Vazão da Bomba Peristáltica	1,50 mL/min
Equação da Curva	Curva forçada ao zero/Cálculo de integração de área
Tipo de Nebulizador	Fluxo cruzado acoplado a câmara de spray tipo Scott
Posição da Tocha	-3
Comprimento de onda (nm)	Ag (328,068), Al (396,153), As (188,979), B (313,042), Ba (455,503), Cd (228,802), Cr (267,716), Co (228,616), Cu (324,754), Fe (238,204), Hg (194,168), Li (670,794), Mn (257,610), Mo (203,845), Ni (231,604), Pb (220,356), Se (196,026), Sn (189,927), V (292,402), Zn (206,203)

Os frascos, vidrarias e materiais de polipropileno foram lavados e embebidos em HNO₃ (10% v v⁻¹) e completamente lavados com água deionizada para evitar a contaminação. As soluções empregadas neste trabalho foram preparadas a partir de reagentes estoques com grau analítico (P.A.) e água destilada e deionizada, ácido nítrico e clorídrico (Merck, Darmstadt, Alemanha). Para a tabulação, interpretação e análise estatística dos dados foram empregados os softwares Oringin 7.0, EXCEL 2010. Por fim, os resultados foram confrontados com os parâmetros legalmente estabelecidos na resolução CONAMA n° 430/11 para descarte de efluentes (BRASIL, 2011) e com o enquadramento feito dos corpos hídricos da região que, pela resolução CONAMA n° 357/05 (BRASIL, 2005) e estudos anteriores (CADÓ et al., 2014; BERWANGER et al., 2015), permitiu enquadrar o manancial em torno da indústria como sendo de Água Doce Classe II.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 3, bem como o limite de detecção do método (LOD). Tais valores foram analisados e comparados com os padrões estabelecidos pelas resoluções do CONAMA N° 357/05 (BRASIL, 2005), que define o enquadramento de corpos hídricos relacionados com sua finalidade de uso e os estabelecidos pelo CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011), que define os padrões de lançamento de efluentes industriais.

Tabela 3 - Caracterização físico-química empregada para o monitoramento do efluente oriundo da produção de biodiesel de óleo de soja (n = 3).

Parâmetros analíticos	Resultado	LOD ⁽¹⁾	CONAMA 357/05 ⁽²⁾	CONAMA 430/11 ⁽³⁾
Al - total (mg/L)	n.d.*	0,102	< 0,1	---
As (mg/L)	n.d.	0,0018	< 0,01	< 0,5
Ba - total (mg/L)	n.d.	0,069	< 0,7	< 5,0
B (mg/L)	n.d.	0,002	< 0,5	< 5,0
Cd - total (mg/L)	n.d.	0,005	< 0,001	< 0,2
CN - total (mg/L)	n.d.	0,011	< 0,005	< 1,0
Co - total (mg/L)	n.d.	0,036	< 0,05	---
Cu - total (mg/L)	n.d.	0,008	< 0,05	< 1,0
Cor aparente (HZ)	175,0	1,0	< 75	---
Cr(VI) (mg/L)	n.d.	0,003	---	< 0,1
Cr - total (mg/L)	n.d.	0,029	< 0,05	---
Espumas	Ausente	---	Ausente	---
Sn (mg/L)	n.d.	0,313	---	< 4,0
Fenol totais (mg/L)	n.d.	0,12	---	< 0,5
Fe - total (mg/L)	n.d.	0,21	< 0,3	< 15,0
F ⁻¹ (mg/L)	64,0	0,09	< 1,4	< 10,0
Li (mg/L)	n.d.	0,010	< 2,5	---
Mn (mg/L)	n.d.	0,016	< 0,1	< 1,0
Materiais flutuantes	Ausente	---	Ausente	Ausente
Hg (mg/L)	n.d.	0,0006	< 0,0002	< 0,01
Mo (mg/L)	n.d.	0,065	---	---
Ni - total (mg/L)	n.d.	0,02	< 0,025	< 2,0
Odor	Característico	---	Ausente	---
O&G mineral (mg/L)	n.d.	0,1	Ausente	< 20,0
O&G vegetal e animal (mg/L)	n.d.	0,1	Ausente	< 50,0
Pb - total (mg/L)	n.d.	0,009	< 0,01	< 0,5
pH a 25°C	13,1	0,01	6,0 - 9,0	5,0 - 9,0
Ag (mg/L)	n.d.	0,010	< 0,01	< 0,1
Se (mg/L)	n.d.	0,0005	< 0,01	< 0,30
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	< 0,1	0,1	< 500	< 1,0
S ⁻² (mg/L)	n.d.	0,026	< 0,002	< 1,0
Surfactantes (mgMBAS/L)	n.d.	0,013	---	---
T (°C)	25,0	1,0	---	< 40
V (mg/L)	9,8	0,087	< 0,1	---
Zn - total (mg/L)	n.d.	0,004	< 0,18	< 5,0

* n.d. - não detectado; ⁽¹⁾ LOD - limite de detecção da técnica / método; ⁽²⁾ Níveis de tolerância para concentração das espécies em Água Doce Classe II; ⁽³⁾ Níveis de tolerância para descarte de efluente industrial.

A partir dos resultados apresentados na tabela 3, verifica-se que, em função da caracterização multielementar, a maioria dos elementos analisados encontra-se abaixo do limite de detecção da técnica e, paralelamente, dos limites de tolerância conforme fixados nas resoluções do CONAMA 357/05 e CONAMA 431/11 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011), exceto para as concentrações de fluoreto (F⁻) e vanádio (V), que se encontram acima dos valores legalmente permitidos.

Para a produção de biodiesel em escala industrial, são necessários diversos catalisadores para melhorar a eficiência de conversão do processo de transesterificação, na qual a catálise homogênea é a mais usual, mesmo que os processos catalíticos heterogêneos estejam cada vez mais sendo avaliados e empregados para minimizar os custos de produção (DI SERIO et al., 2007; DOMINGUES et al., 2012, FAN; ZANG; MA, 2012). Entre os catalisadores mais empregados, destacam-se o fluoreto de potássio (KF) e o fosfato de vanádio (VPO_4), que, apesar da baixa área específica, são bastante reativos na reação de transesterificação de triglicéridos com metanol (DI SERIO et al., 2007; FAN; ZANG; MA, 2012). A empresa faz o emprego do processo catalítico heterogêneo, no qual os catalisadores de KF e VPO_4 são mantidos em leito fixo durante os processos de esterificação e transesterificação. Nesse sentido, acredita-se que esteja havendo a lixiviação dos catalisadores presentes no tanque de transesterificação, resultando em água de lavagem do biodiesel com valores elevados de vanádio e fluoreto. De qualquer modo, nos estudos preliminares conduzidos por Berwanger et al. (2015), não foram detectadas concentrações de F⁻ e V no biodiesel B100 produzido pela mesma empresa fornecedora das águas residuárias empregadas neste estudo. De qualquer modo, no momento do fracionamento com o diesel de petróleo para comercialização, não haveria o comprometimento do produto final, pois resultaria em concentrações menores que $\mu\text{g}/\text{kg}$ de biodiesel (DI SERIO et al., 2007; FAN; ZANG; MA, 2012; CHAVES et al., 2008; BERWANGER et al., 2015).

Ao avaliar os parâmetros físicos desse efluente, verificou-se que os parâmetros cor e pH também se encontram acima do limite de tolerância, conforme estabelecido em lei para o devido descarte. Esse resultado ratifica a necessidade do tratamento do efluente para a redução da cor, ajuste do pH e remoção das espécies de V e F⁻. Cadó et al. (2014) avaliaram a remoção de cor e turbidez de efluente de biodiesel, empregando processo de coagulação/floculação com sulfato de alumínio e posterior processo de filtração do tipo rápida por gravidade. Os autores obtiveram eficiência de remoção de cor e turbidez na ordem de 94,2 % e 99,2 %, respectivamente. Entretanto, os autores não avaliaram a eficiência de remoção dos íons fluoreto e vanádio (CADÓ et al., 2014). Dessa forma, é possível otimizar o procedimento desenvolvido por Cadó et al. (2014) para adequar o efluente ao descarte em corpo hídrico Classe II.

Para a remoção das espécies de V e F⁻, recomendam-se processos redox e precipitação química em meio ácido ou alcalino do efluente tratado para promover a remoção dessas espécies e de outras espécies elementares que não tenham sido alvo deste estudo e possam estar presentes no efluente final. Esses procedimentos de natureza química são comumente empregados com eficiência para remoção de espécies metálicas presentes em efluentes oriundos de atividade do setor metal mecânico (CAVALCANTI, 2012; SILVA et al., 2014). Nesse contexto, futuros estudos devem ser conduzidos para avaliar a eficiência de remoção dessas espécies químicas.

CONCLUSÃO

Em virtude da característica final do efluente de biodiesel estudado verifica-se a necessidade de procedimentos economicamente viáveis para a adequação dos parâmetros que ainda não contemplam os limites de tolerância estabelecido em lei. Conseqüentemente, em virtude dos resultados obtidos para vanádio e fluoreto, é necessário investigar se há ocorrência de lixiviação do leito catalítico do tanque utilizado para a transesterificação do óleo degomado de soja. Por fim, é possível avaliar, em futuros estudos, a eficiência do processo de coagulação/ floculação seguido de filtração por gravidade e da precipitação química para a remoção de fluoreto e vanádio desse tipo de efluente.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. (ABNT NBR 9898:1987).

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360 pp.

BERWANGER, C. C.; VASCONCELLOS, N. J. S.; PEIXOTO, S. C. et al. Quality control of B100 biodiesel obtained from soy biodiesel processing - Technical note. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 740-746, 2015.

BIANCHI, S. R.; AMAIS, R. S.; PEREIRA, C. D. et al. A. Evaluation of a Collision-Reaction Interface (CRI) for Carbon Effect Correction on Chromium Determination in Environmental Samples by ICP-MS. **Analytical Letters**, v. 45, n. 18, p. 2845-2855, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357 de 18/03/2005 (Federal)**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005. Disponível em: <<http://bit.ly/1QidBZN>>. Acesso em: 10 dez. 2015

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução N° 430 de 13/05/2011 (Federal)** - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/1FY24dj>>. Acesso em: 10 dez. 2015

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Resolução N° 42 de 10/12/2012 (Federal)** - Disponibiliza os Termos e Condições Gerais de Compartilhamento de Faixas de Servidão. 2012. Disponível em: <<http://bit.ly/1VpwwGu>>. Acesso em: 6 dez. 2015.

BRITO, J. F.; FERREIRA, L. O.; SILVA, J. P. et al. Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 728-732, 2012.

CADÓ, R. G.; MAINARDI, L. A.; VASCONCELLOS, N. J. S. et al. Gestão de produção de biodiesel e avaliação da coagulação/floculação no tratamento de efluente do processo de fabricação. **Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 159-174, 2014.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de efluentes industriais**. 2. ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2012. 500p.

CHAVES, E. S.; LEPRI, F. G.; SILVA, J. S. A. et al. Determination of Co, Cu, Fe, Mn, Ni and V in diesel and biodiesel samples by ETV-ICP-MS. **J. Environ. Monit.**, n. 10, p. 1211-1216, 2008.

DE BONI, L. A. B.; GOLDANI, E.; MILCHAREK, C. D., et al. Tratamento físico-químico da água de lavagem proveniente da purificação do biodiesel. **TchêQuímica**, v. 4, n. 7, p. 41-50, 2007.

DI SERIO, M.; COZZOLINO, M.; TESSER, R., et al. Vanadyl phosphate catalysts in biodiesel production. **Applied Catalysis A: General**, v. 320, p. 1-7, 2007.

DOMINGUES, C.; CORREIA, M. J. N.; CARVALHO, R. et al. Vanadium phosphate catalysts for biodiesel production from acid industrial by-products. **Journal of Biotechnology**, v. 164, p. 433-440, 2013.

FAN, M.; ZHANG, P.; MA, Q. Enhancement of biodiesel synthesis from soybean oil by potassium fluoride modification of a calcium magnesium oxides catalyst. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 447-450, 2012.

GOLDANI, E.; DE BONI, L. A. B.; FRANKENBERG, C. L. C. et al. **Tratamento físico-químico dos efluentes líquidos provenientes da purificação do biodiesel**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. et al. **Manual do Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, 340p.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

NEVES, T. A. **Tratamento físico-químico dos efluentes líquidos da produção de biodiesel metílico em regime de funcionamento contínuo e batelada**, 2011. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

NOUREDDINI, H. **System and process for producing biodiesel fuel with reduced viscosity and a cloud point below thirty-two (32) degrees Fahrenheit**. USPTO PatentFull. Patent nº 6.174.501. p. 4-14, 2001.

SALAZAR, R. F. S.; GUERRA, M. B. B.; PEREIRA-FILHO, E. R. et al. Performance evaluation of collision-reaction internal standardization in quadrupole ICPMS measurements. **Talanta**, v. 86, n. 1, p. 241-247, 2011.

SILVA, D. O. Z.; MORTARI, S. R.; DRESSLER, V. L. et al. A. Pré-tratamento de efluente metal mecânico por processos químicos - Estudo de caso. **Disciplinarum Scientia, Série: Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 17-27, 2014.