

PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM LABORATÓRIO COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO INTERDISCIPLINAR

Adilson Ben da Costa - Doutor em Química Analítica, Professor do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
adilson@unisc.br

Catia Milena Lopes Machado - Mestranda do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais, da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
catia.machado7@gmail.com

Charles Varlei Neu - Mestrando do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais, da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
charlesneu@gmail.com

Liane Mahlmann Kipper - Doutora em Engenharia de Produção. Professora do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
liane@unisc.br

Manoel Fernando Mazzuchi Soares - Mestrando do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
mazzuchi@bol.com.br

Nadiesca Cardoso Homrich - Mestranda do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais, da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
nadiesca@citypoint.com.br

Roberta Cristina Kaufmann - Mestranda do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais, da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
rkaufmann@yahoo.com.br

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi utilizar uma prática laboratorial de produção de biodiesel com ferramenta interdisciplinar de ensino de engenharia, especialmente na área de controle de processos industriais. Este estudo foi desenvolvido junto aos alunos do curso de Pós-graduação (Mestrado) em Sistemas e Processos Industriais, o qual se caracteriza pela participação de acadêmicos de diferentes áreas do conhecimento, tais como: engenharia de produção, engenharia química, engenharia ambiental, engenharia de computação, engenharia elétrica, engenharia de automação, química industrial e administração de empresa. Este trabalho permitiu a imersão de profissionais, de diferentes áreas do conhecimento em um tema atual, permitindo que os acadêmicos desenvolvessem seus relatórios através de diferentes abordagens, cada uma delas vinculada a sua formação de origem.

Palavras-chave: Ensino interdisciplinar; Biocombustíveis; Processos industriais.

ABSTRACT

The main objective of this study was to use an experimental biodiesel production as a tool for interdisciplinary engineering education, especially in the industrial process control area. This study was conducted with students of postgraduate (MSc) in Industrial Systems and Processes, which is characterized

by the participation of scholars from different fields, such as production engineering, chemical engineering, environmental engineering, computer engineering, electrical engineering, automation engineering, industrial chemistry and business administration. This work has enabled the immersion of professionals from different fields of knowledge on a current topic, allowing to students to develop their reports through different approaches, each one linked to its original formation.

Keywords: Interdisciplinary teaching. Biofuels. Industrial processes.

1. INTRODUÇÃO

No último século, combustíveis derivados de petróleo foram as principais fontes de energia no mundo conforme Tashtoush et al. (2004). Atualmente, com o aumento na demanda de petróleo, sua escassez e seu custo alto, aumentaram as preocupações ambientais sobre o uso de combustíveis fósseis, destacando a necessidade de desenvolver um processo econômico e energético para a produção sustentável de combustível, como por exemplo, do biodiesel derivado de óleos vegetais.

Sob o ponto de vista do ensino em engenharia de produção é necessário partir do conceito de que, o engenheiro de produção deve ter como foco principal estudos sobre os processos produtivos. Atualmente não se podem compreender os processos produtivos de uma forma isolada, não os relacionando com o contexto em que se insere, seja ele em nível regional ou global. Olhar os processos de uma forma disciplinar e apenas teórica é totalmente insustentável frente à complexidade mundial. Esta realidade requer um ensino para formação de engenheiros que busque a interdisciplinaridade, relacionando diversos conteúdos de uma forma dialógica, defrontando os alunos com problemas reais por meio da experimentação e em uma abordagem sistêmica. Em relação à abordagem sistêmica ela parte da utilização do conceito de sistemas que tem seu emprego entre todas as ciências e busca, como o próprio conceito diz, entender os fenômenos que nos cercam a partir de uma análise de um conjunto de objetos inter-relacionados. Este entendimento parte da percepção humana do mundo à sua volta. A teoria da Gestalt mostra que é por meio da percepção da totalidade que o cérebro humano pode perceber e assimilar uma imagem ou um conceito (Engelmann, 2002). Para que isto ocorra o ensino deve levar em conta a importância das atividades interdisciplinares.

Assim, as Instituições de Ensino necessitam estar preocupadas com o desenvolvimento social, econômico e tecnológico das regiões onde se inserem, e para isto devem levar em conta a qualidade da atividade pedagógica de um professor, a qual pode ser percebida como um conjunto de ações intencionais, conscientes e dirigidas para um fim específico: o aprendizado e a integração do aluno conforme o que está sendo proposto; caracterizado por fomentar a curiosidade dos alunos e estimulá-los a construir seu próprio conhecimento, a partir das interações variadas com a realidade e os colegas (Silva e Cecílio, 2007).

Neste contexto, a utilização de experimentos práticos interdisciplinar como ferramenta didática tem se mostrado, já há bastante tempo, uma importante estratégia a ser utilizada no ensino superior. Exemplos recentes desta prática são apresentados Ramos e Vertchenko (2011) no ensino de física geral para cursos de engenharia. Da mesma forma, Geris et al. (2007) utilizaram uma reação de transesterificação para obtenção do biodiesel, no ensino de química orgânica e Martin e Kassab Junior (2006) utilizando um trocador de calor no ensino de modelagem e sistemas de controle PID (Proportional–Integral–Derivativo). Segundo estes autores, estas atividades, contribuem no desenvolvimento de conceitos científicos, auxiliam os professores na retomada de conceitos fundamentais das diferentes áreas do conhecimento e permite aos alunos visualizar e os diferentes problemas práticos e propor formas de contorná-los.

Em cursos de pós-graduação interdisciplinares, em nível de *lato sensu* e *stricto sensu*, a heterogeneidade da formação acadêmica dos alunos e de suas experiências profissionais, torna esta atividade mais complexa. Havendo a necessidade de elaboração de atividades práticas e dinâmicas, especialmente associadas ao cotidiano, que permitam enfoques interdisciplinares e que motivem os acadêmicos manifestar suas experiências em sala de aula colaborando com a construção do conhecimento.

Atualmente, a produção de biocombustíveis é um tema de destaque em eventos científicos nas diferentes áreas do conhecimento, e cada vez mais chama a atenção da comunidade acadêmica, especialmente em se tratando do biodiesel. De fato, a demanda por combustíveis oriundos de recursos naturais renováveis tem exercido uma importante pressão sobre a cadeia produtiva nacional e o Brasil classifica-se atualmente como o segundo maior produtor de biodiesel do mundo, e com perspectivas de ultrapassar a Alemanha ainda em 2012.

A diversidade de matérias-primas que podem ser utilizadas na sua produção, as diferentes rota de produção (metilica ou etilica), da configuração de equipamento e processos, além dos aspectos econômicos e sociais envolvidos, torna este tema excelente para uma abordagem interdisciplinar. Nesta abordagem, o engenheiro de produção é um profissional em destaque, pois tem habilidades para integrar questões de ordem técnica e gerencial.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi utilizar uma prática laboratorial de produção de biodiesel com ferramenta interdisciplinar para o ensino de engenharia, especialmente na área de controle de processos industriais, buscando uma formação sólida de

engenheiros que atuam em processos produtivos. Assim, este estudo foi desenvolvido junto aos alunos do curso de Pós-graduação (Mestrado) em Sistemas e Processos Industriais, o qual se caracteriza pela participação de acadêmicos de diferentes áreas do conhecimento, tais como: engenharia de produção, engenharia química, engenharia ambiental, engenharia de computação, engenharia elétrica, engenharia de automação, química industrial, administração, dentre outras.

2. DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta em linhas gerais as definições mais aceitas sobre o biodiesel, bem como o processo de transesterificação de óleos vegetais, método mais usado para a obtenção do biodiesel e por este motivo, processo-chave na produção com qualidade deste biocombustível. A partir desta revisão teórica foi desenvolvida a metodologia para a condução da atividade prática interdisciplinar, apresentada na próxima seção.

2.1 BIODIESEL

A Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) definiu biodiesel como um combustível composto de ésteres mono-alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100, adequado conforme os requisitos da norma ASTM D 6751.

De acordo com o artigo 2º da Resolução ANP nº 7, de 19 de março de 2008, publicada no Diário Oficial da União em 20 de março de 2008, conceitua-se biodiesel como combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais. Este biodiesel é denominado B100, por não possuir mistura com óleo diesel. Ainda segundo esta resolução, a mistura de óleo diesel ao biodiesel B100, resulta em um combustível comercial composto de (100-X)% em volume de óleo diesel, conforme especificação da ANP, e X% em volume do biodiesel, que deverá atender à regulamentação vigente. A partir de janeiro de 2010, por determinação governamental, a mistura a ser utilizada é denominada B5, ou seja, 95% de diesel e 5% de biodiesel.

O Biodiesel é derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou para geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Conforme Knothe et al. (2006), as máquinas agrícolas que utilizam óleo diesel como combustível, podem utilizar o biodiesel como alternativa. Entretanto, Geris et al. (2007), Meher et al. (2006) e Knothe et al. (2006) alertam que o uso de óleos vegetais como combustível alternativo para equipamentos a diesel é considerado insatisfatório e

impraticável, por apresentar uma série de fatores limitantes, como alta viscosidade, conteúdos de ácidos graxos livres, combustão incompleta e baixa volatilidade. Estes fatores segundo os autores podem resultar na formação de depósitos nos injetores de combustível das máquinas.

Complementam ainda os autores que várias alternativas foram consideradas para reduzir esses problemas, como por exemplo: diluição; emulsificação através da formação de micro-emulsões usando solventes como metanol, etanol ou butanol; pirólise; craqueamento catalítico empregando sais metálicos e transesterificação com etanol ou metanol.

Entre as várias metodologias descritas na literatura para obtenção do biodiesel, a transesterificação de óleos vegetais é atualmente o método de escolha, principalmente porque as características físicas dos ésteres de ácidos graxos são muito próximas das do diesel (LIMA NETO et al., 2006).

2.2 TRANSESTERIFICAÇÃO DE ÓLEOS E VEGETAIS

Segundo Geris et al. (2007), transesterificação é um termo geral usado para descrever uma importante classe de reações orgânicas, onde um éster é transformado em outro, através da troca do resíduo alcoxila. Na transesterificação de óleos vegetais, um triacilglicerídeo reage com um álcool na presença de uma base ou ácido forte, produzindo uma mistura de ésteres de ácidos graxos e glicerol.

O processo de transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos com alcoóis (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (ácido, base ou enzimático), produzindo-se um composto éster-glicerina. Desta reação, resultam o éster (biodiesel) e a glicerina (Figura 1).

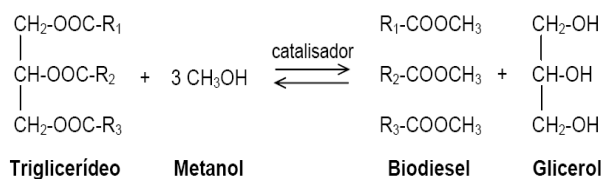


Figura 1. Reação de síntese do biodiesel.

Contudo, ressalta Kaercher (2009) que muitos aspectos, tais como, o tipo de catalisador, proporção molar entre a matéria graxa e o álcool, temperatura, pureza dos reagentes e o conteúdo de ácidos graxos livres, têm influência no curso da reação de transesterificação e devem ser otimizados. Assim, em geral, na transesterificação de óleos vegetais é importante que sejam controlados a quantidade de catalisador, presença de água no meio, relação molar entre os reagentes ou substratos, tempo e temperatura de reação e sistema de agitação.

2.3. METODOLOGIA

Para a condução da atividade prática interdisciplinar, inicialmente foi discutido com os alunos os aspectos teóricos pertinentes à produção de biodiesel, conforme a revisão bibliográfica apresentada anteriormente, e sua contextualização com as características tecnológicas e econômicas regionais, disponibilidade de matéria-prima e a situação atual das indústrias de biocombustíveis.

Para a produção de biodiesel foi selecionada a rota metálica para a reação de transesterificação, com metóxido de potássio como catalisador alcalino, óleo de soja e metanol em excesso estequiométrico como reagentes, adaptando a metodologia proposta por Geris et al. (2007).

Posteriormente os alunos foram divididos em três grupos interdisciplinares, e o experimento de produção do biodiesel foi dividido nas seguintes etapas:

- a) Produção do catalisador metóxido de potássio: Dissolver 1,5 g de hidróxido de potássio (KOH) em 35 mL de metanol, em agitação constante a 45°C, até completa dissolução.
- b) Reação de transesterificação: Adicionar 100 mL de óleo de soja em um balão de fundo chato de 250 mL e aquecer em banho-maria a 50°C, sob agitação constante. Posteriormente adicionar o catalisador e manter o sistema por agitação constante e a 45°C por 25 min.
- c) Separação dos produtos da reação: Transferir a mistura para um balão de separação, e deixar em repouso por 15 min. Posteriormente, remover o material de fundo (fase mais densa: glicerol, sabões, excesso de álcool e água) para uma proveta de 50 mL, e registrar o volume produzido.
- d) Remoção de catalisadores do biodiesel: Lavar a fase superior (biodiesel) adicionando 50 mL de solução aquosa de ácido clorídrico 0,5% (v/v) ao funil de separação e agitando por 5 min, deixar decantar (5 min) e remover a fase aquosa como resíduo. Repetir o processo de lavagem utilizando com 50 mL de solução saturada de NaCl, e posteriormente com 50 mL de água destilada. O pH da última lavagem deve ser neutro para garantir a completa remoção do catalisador básico.
- e) Remoção de umidade: Adicionar 2 g de sílica (óxido de silício) ao biodiesel no balão de separação e manter sob agitação por 10 min. e transferir para uma proveta de 100 mL e deixar em repouso (*over night*). A sílica sedimentará lentamente ao fundo da proveta.

Depois de concluído o processo de produção, amostras da matéria-prima e dos produtos obtidos (biodiesel e glicerol) foram coletadas para aquisição de espectros de infravermelho médio (MIR). Estes foram obtidos pelo método por Reflexão Total Atenuada no Infravermelho com Transformada de Fourier (ATR-FTIR). Estes resultados foram adquiridos, em triplicata, em espectrofotômetro PERKI ELMER® empregando-se um acessório interno de reflectância total atenuada universal, no intervalo entre 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras.

Por fim, aos alunos foi exposta a necessidade de discutir aspectos tecnológicos, econômicos e sociais pertinentes ao tema de forma que cada grupo desenvolvesse esta avaliação em função do perfil profissional de seus componentes. Desta forma, os resultados e observações dos grupos foram registrados, apresentados e discutidos, posteriormente, em sala de aula.

2.4. RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir, são derivados de uma coletânea de informações produzidas pelos alunos e representam suas observações quanto a processo de produção observado em laboratório.

Uma das primeiras observações identificadas pelos alunos diz respeito à facilidade de desenvolvimento da rota metálica de produção de biodiesel, mesmo por acadêmicos sem formação na área de química. No entanto, reconheceram que este fato se deve, ao menos em parte, a pureza dos reagentes utilizados, tais como óleo de soja refinado alimentício, álcool, catalisador e demais insumos com grau de pureza analítica. Realidade esta que não condiz com o observado na maioria dos processos industriais de produção de biocombustíveis.

Além disto, foi observado que, tipicamente, em processos industriais os seguintes percentuais de reagentes são utilizados: 87% de óleo vegetal, 12% de álcool e 1% de catalisador (GERIS et al., 2007; ALISKE, 2010). Já, nos processo proposto neste trabalho, considerando as densidades do óleo 0,918 g cm^{-3} e do metanol 0,79 g cm^{-3} , esta relação foi de: 75,3% de óleo, 23,9% de metóxido de potássio (22,7% de álcool e 1,2 % de KOH) e 1% de catalisador. Este excesso de álcool e catalisador também contribuiu para a eficiência da reação.

Na Figura 2, verifica-se o balanço de massa do processo experimental, onde além do glicerol e do biodiesel produzidos, estão identificados e quantificados os insumos consumidos e resíduos gerados.

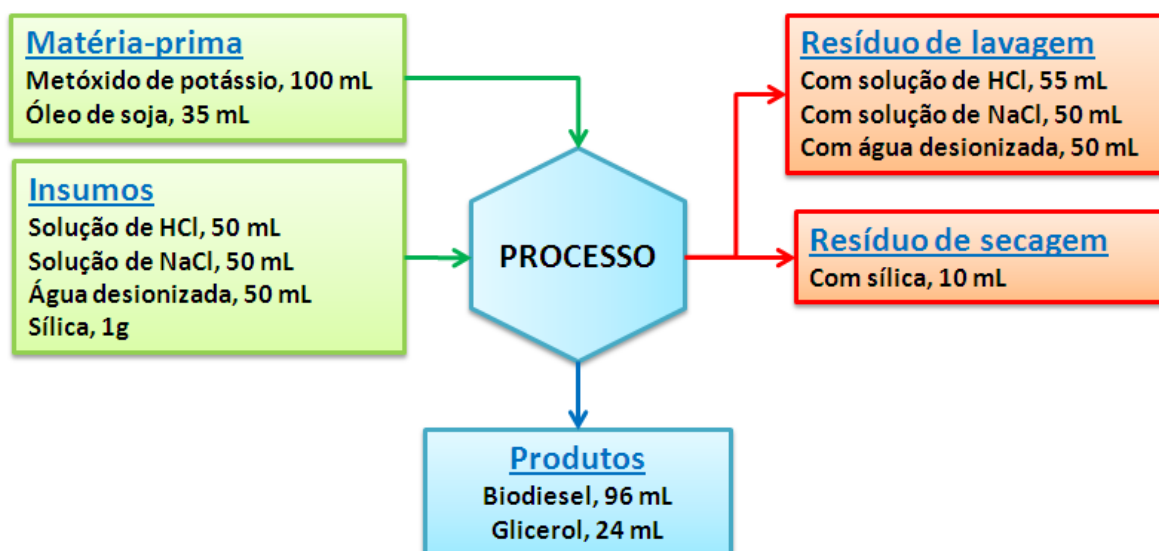


Figura 2. Balanço de massa do processo experimental.

Outra questão em destaque apontada nos relatórios foi a quantidade de resíduos gerados no processo. Considerando o volume total dos produtos obtidos (biodiesel + glicerol) a razão resíduos/produtos é de 1,38. Entretanto, considerando apenas o biodiesel como produto e a inclusão do glicerol como resíduo de produção, essa razão atinge 1,97. Em ambos os casos, esta quantidade de resíduos é impraticável em um processo industrial, e conforme abordados pelos alunos, o investimento em sistemas de reuso dos insumos, automação do processo, e otimização de condições operacionais (tempo, velocidade de agitação e temperatura) pode melhorar significativamente esta relação.

O tempo da reação de transesterificação no reator e na produção de ésteres metílicos, com temperatura em torno de 60°C, pode ser otimizado para a obtenção de melhor rendimento em massa e assim gerar produtos de melhor qualidade e menor custo de produção. Desta forma, deve-se definir *set points* das variáveis na preparação do catalisador, no reator de transesterificação, bem como nos tanques de decantação, melhorando assim os resultados destas unidades do processo e conseqüentemente do produto final.

Na configuração do sistema de produção, foi observado pelos acadêmicos que a utilização de condensador de refluxo para o álcool durante a reação teria, também, aumentado o rendimento pela garantia do excesso estequiométrico do álcool ainda maior. A recuperação do álcool em excesso ao fim da reação também seria importante para minimizar custo do processo.

As análises por ATR-FTIR, tiveram como objetivo principal demonstrar de forma simples e rápida as diferenças químicas dos reagentes dos produtos de reação. Assim a Figura

3 apresenta um conjunto de espectros de ART-FTIR obtidos nas amostras de biodiesel produzidas por três grupos de alunos (Bio1, Bio2 e Bio3), além do óleo de soja e do glicerol. Um espectro de diesel (B5) foi obtido para comparação com o espectro de biodiesel produzido.

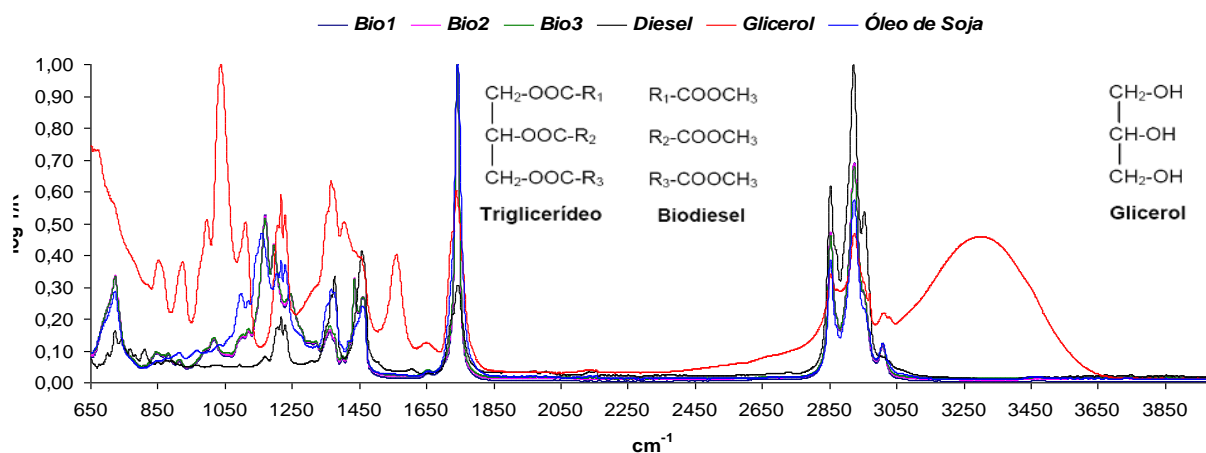


Figura 3. Espectro de infravermelho (ART-FTIR) das amostras de biodiesel (Bio1, Bio2 e Bio3), diesel, glicerol, e óleo de soja.

Os espectros de infravermelho obtidos são característicos de biodiesel em todos os comprimentos de onda, principalmente na região entre 900 e 1900 cm^{-1} . De fato, duas regiões do espectro do biodiesel que merecem destaque. A primeira trata da faixa contendo números de onda entre 900 e 1.300 cm^{-1} , conhecida como região da “impressão digital”, onde para os espectros dos ésteres metílicos tem-se um padrão de absorção com três bandas que sobressaem na região de 1160 cm^{-1} a 1260 cm^{-1} . E da faixa de 1.700 a 1.800 cm^{-1} , correspondente ao pico de absorção da carbonila, cujo máximo ocorre em cerca de 1.750 cm^{-1} . Esses são intervalos do espectro que podem ser empregados em análises quantitativas, utilizando-se métodos univariados ou multivariados de calibração.

A ausência de picos característicos de estiramento de ligações – OH na região de 3000 - 3500 cm^{-1} , principalmente a 3471 cm^{-1} , sugere que o biodiesel não contém água e álcool metílico, ou estes estão em quantidades desprezíveis, o que atesta que os processos de separação, lavagem e secagem foram realizados a contento. A ausência de outros picos característicos do glicerol corrobora, também, esta afirmação.

Segundo Guarieiro et al. (2008) e Aliske (2010), a taxa de conversão da rota metílica pode variar, tipicamente, entre 97 - 98%, podendo atingir 98,8%, resultando como produtos 86% de biodiesel, 9% de glicerina. Neste estudo, a média dos grupos correspondeu a 96 mL de biodiesel de 100 mL de óleo inicial sugere uma taxa de conversão acima de 90 % de

triglicerídeos em ésteres, portanto próxima do referido na literatura; o que corrobora para com as conclusões qualitativas anteriores sobre a pureza do biodiesel obtido.

Além destes resultados, um dos grupos optou por incrementar este estudo aplicando métodos multivariados de análise, mais especificamente utilizando a análise por agrupamento hierárquico (HCA – *Hierarchical Cluster Analysis*). Para isso foi utilizado o software Solo 6.5.3, Eigenvector Research, Inc. Os espectros de infravermelho originais foram normalizados, e tratamentos matemáticos com primeira derivada (SAVITZKY; GOLAY, 1964), para melhorar a qualidade da informação, foram aplicados. Nesta condição, foi possível construir um dendograma de agrupamento das amostras. Em que fica evidente a similaridade entre as amostras de biodiesel (Bio1, Bio2 e Bio3), distintas dos demais materiais (Figura 4).

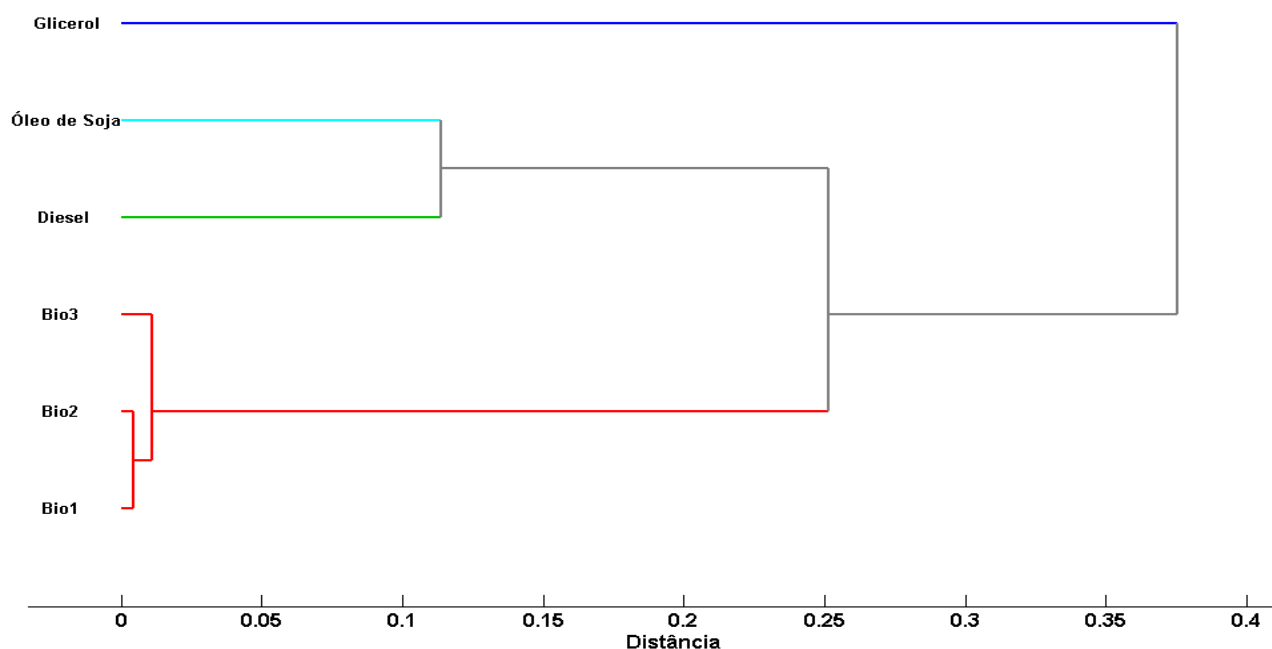


Figura 4. Dendograma da análise de agrupamento hierárquico aplicado aos espectros de infravermelho (ART-FTIR) das amostras de biodiesel (Bio1, Bio2 e Bio3), diesel, glicerol, e óleo de soja.

Apesar de similares, o biodiesel Bio3 apresenta uma discreta diferença das amostras Bio1 e Bio2. Como os reagentes e materiais utilizados pelos grupos foram os mesmos, esta diferença pode ser explicada por pequenas variações, entre os grupos, nas condições de operação em cada etapa do processo, tais como: temperatura, velocidade e tempo de agitação.

Durante o desenvolvimento deste estudo, aspectos econômicos e sociais foram discutidos. Em um primeiro momento em função da utilização de rota metálica e não etílica. Isto porque, a produção de etanol, seria ambientalmente e socialmente mais correta, pois

poderia fomentar o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar e mesmo de pequenas destilarias em módulos de agricultura familiar. No entanto, em contraponto a isso foi lembrado a necessidade de etanol anidro para a reação de transesterificação, o qual é economicamente inviável de ser produzido em pequenas unidades de destilação, bem como da pouca oferta de cana-de-açúcar na região sul do Brasil. Fatores estes que tornam o metanol ainda hoje o principal álcool utilizado neste processo. No entanto, a produção de biodiesel na própria propriedade rural, ou através de uma Cooperativa de agricultores, responsável por centralizar este processo, foi apontada como uma alternativa tecnicamente e economicamente viável, que pode se tornar um fator determinante no desenvolvimento social de pequenas comunidades.

3. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram o sucesso da proposta de ensino interdisciplinar, permitindo que os acadêmicos desenvolvessem seus trabalhos através de diferentes abordagens, cada uma delas vinculada a sua formação de origem.

Assim, a proposta de utilização de uma reação de transesterificação para produção de biodiesel permitiu a imersão de profissionais de diferentes áreas do conhecimento em um tema específico e a partir dele cada aluno contribuiu com a formação dos demais colegas ao apresentar suas considerações quanto às características do processo de produção apresentado.

Como aspecto negativo, foi observado uma resistência inicial de alguns acadêmicos à execução dos experimentos, uma vez que não dominavam o tema por completo. No entanto este problema foi contornado à medida que melhor compreenderam a proposta de ensino interdisciplinar e o papel de cada estudante na sua condução. Esta proposta de ensino-aprendizagem está em concordância com a necessidade do mercado de trabalho atual, que exige profissionais aptos à tomada de decisão diante das diversas situações-problema, as quais são de caráter interdisciplinar, necessitando de uma abordagem sistêmica, integrando conceitos, na busca de um melhor conjunto de alternativas para a solução das situações-problema.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq, Pronex-FAPERGS e ao FAP (Fundo de Apoio à Pesquisa) da UNISC, bem como aos acadêmicos Imar de Souza Soares Junior,

Evandro Rodrigues, Luiz Afonso Storch, Ricardo Pedro e Ricardo Rocha Renner que colaboraram neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALISKE, M. A. **Medidas de Espectroscopia no Infravermelho Médio para a Determinação do Teor de Biodiesel em Óleo Diesel**. 2010. 100f. Dissertação (Engenharia e Ciência dos Materiais – Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ENGELMANN, A. A Psicologia da Gestalt e a Ciência Empírica Contemporânea. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, vol. 18, no. 1, p. 1-16, 2002.

GERIS, R.; SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M. Biodiesel de Soja – Reação de Transesterificação para Aulas Práticas de Química Orgânica. **Química Nova**, vol. 30, nº. 5, 2007.

GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani; PINTO, Angelo C; AGUIAR, Paula Fernandes de; RIBEIRO, Núbia Moura. Metodologia analítica para quantificar o teor de biodiesel na mistura biodiesel: diesel utilizando espectroscopia na região do infravermelho. **Quim. Nova**. 2008, v. 31, n 2, p. 421 - 426

KAERCHER, J. Á. **Produção de biodiesel em escala piloto e avaliação dos impactos ambientais**. 2009. 68 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2009.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2006.

LIMA NETO, A. F.; SANTOS, L. S. S.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R. **Biodiesel de Mamona Obtido Por Via Etilica**. In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia De Biodiesel, 1º, 2006, Brasília, Brasil.

MARTIN, P. A.; KASSAB JUNIOR, F. Uso de trocador de calor como ferramenta didática para o ensino de modelagem e sistemas de controle. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 25, n. 2, p. 3-9, 2006.

MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. *Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, p. 248 – 268, 2006.

RAMOS, T. C.; VERTCHENKO, L. Uma abordagem experimental das propriedades dos corpos deformáveis no ensino de física geral para os cursos de engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol.33, n.1, p. 01-09, 2011.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. *Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures*. **Analytical Chemistry**, Washington, n. 36, p. 1627-1639, 1964.

SILVA, L. P.; CECILIO, S. A mudança no modelo de ensino e de formação na engenharia. **Educação em Revista**, n.45, p. 61-80, 2007.

TASHTOUSH. G. M.; AL-WIDYAN, M. I.; ALJARRH, M. M. *Experimental study on evaluation and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel*. **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 17, p. 2697-2711, 2004.