

Utilização dos conceitos da Química Verde nas aulas práticas de laboratório.

Bianca Bassetti e Silva¹ (IC), Brenda Socorro Ratis do Val¹ (IC), Suelen Martins Stutz Gomes¹ (IC), Thainá Nascimento da Conceição Gomes¹ (IC), Thiago Muza Aversa¹ (PQ), Queli Aparecida Rodrigues de Almeida^{1*} (PQ). *E-mail: queli.passos@ifrj.edu.br*

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) – Avenida Republica do Paraguai, 120, Vila Sarapuí, Duque de Caxias, Rio de Janeiro.

Palavras-Chave: Química Verde, Química Experimental, Educação Ambiental

RESUMO: Um grande desafio para os químicos atuais é conseguir atingir novos produtos e novas tecnologias, sem esquecer-se do cuidado com o meio ambiente, para tal, é imprescindível uma nova conduta química para o aprimoramento de técnicas e metodologias que gerem a menor quantidade, ou nenhuma, de resíduos e substâncias tóxicas. A filosofia da Química Verde tem como sua definição a criação, desenvolvimento e aplicação de processos químicos a fim de reduzir ou eliminar o uso de substâncias nocivas. O trabalho visa auxiliar os alunos do curso de graduação de Licenciatura em Química para que tenham um maior contato com a filosofia da Química Verde através de experiências reais, nas quais terão a oportunidade de ver, experimentar, questionar e suscitar questões sobre o conteúdo abordado e ainda atualizar, otimizar e desenvolver novas aulas práticas das disciplinas teórico-práticas da Química do ensino médio e também de cursos técnicos dentro da temática proposta.

INTRODUÇÃO

A Química Verde é o uso de técnicas e metodologias que reduzam o uso de reagentes, solventes e outras matérias primas, e que eliminem a geração de produtos ou subprodutos e resíduos prejudiciais à saúde humana ou ao meio ambiente. Essa preocupação tem sido vista como fundamental e de grande importância na prevenção da poluição.

No mundo atual e globalizado, chefes de estado têm estabelecido metas para a redução de emissões de gases poluentes e para o controle da degradação de reservas ambientais mundiais visando um desenvolvimento sustentável importante para futuras gerações. (Redclift, M. R.; **1987**; Warner, J. C.; Cannon, A. S.; Dye, K. M.; **2004**; Anastas, P. T.; Williamson, T. C.; **1996**). O último grande encontro sobre o tema foi em 2009, no Fórum mundial sobre o clima, sediado em Copenhagen, onde líderes mundiais discutiram a redução das emissões de gás carbônico nos países ricos, industrializados, e nos países em desenvolvimento (Guardian, **2009**).

Nos últimos anos, diversos pesquisadores vêm contribuindo significativamente na redução dos riscos associados à produção e utilização de produtos químicos através de rotas e processos de síntese inovadores que possuam claras vantagens sobre as metodologias tradicionais e que também sejam capazes de atingir os mesmos níveis de eficácia, gerando uma menor quantidade de resíduos químicos para posterior tratamento (Wilson, M. A.; Filzen, G.; Welmaker, G. S.; **2009**; Hutchings, G. J.; **2007**). Além disso, novas ferramentas de monitoramento e análise têm sido desenvolvidas para detectar contaminações do ar, água e solos, aumentando o nível de exigência sobre os processos industriais e os resíduos gerados. A mudança do solvente vem sendo uma metodologia muito atrativa e inovadora dentro da filosofia da Química Verde. Atualmente, já existem diversos exemplos de utilização de solventes alternativos que possuem como característica chave serem menos agressivos ao meio

ambiente. Esses solventes podem ser: aquosos, fluidos supercríticos e líquidos iônicos (Anastas, P. T.; **2002**; Varma, R. S.; **1999**; Grieco, P.A.; **1998**).

Existem doze tópicos que são levados em consideração quando se pretende utilizar a filosofia da química verde (Anastas, P. T.; Warner, J.; **2000**). São eles:

1. Metodologias sintéticas que maximizem a incorporação dos reagentes ao produto final;
2. Redução da produção de substâncias que sejam tóxicas ao ambiente;
3. Planejamento dos produtos a serem obtidos de forma a ter maior eficiência e menor toxicidade;
4. Reduzir a formação de resíduos químicos é melhor do que tratá-los depois de formados;
5. Sempre que possível eliminar o uso de solventes e agentes de separação durante o processo ou, quando utilizados, que sejam inofensivos ao meio ambiente;
6. Sempre que possível, empregar métodos sintéticos conduzidos à temperatura e pressão ambiente, minimizando os impactos ambientais e econômicos;
7. Empregar matéria-prima proveniente de fontes renováveis;
8. Evitar metodologias que necessitem de derivatizações, como por exemplo, grupos de proteção;
9. Utilizar catalisadores, tão seletivos quanto possível;
10. Os produtos químicos descartados depois de terem sido usados, não devem persistir no meio ambiente e seus produtos de degradação devem ser inócuos;
11. Empregar métodos analíticos capazes de monitorar a formação de substâncias perigosas, durante os processos, em tempo real;
12. Empregar substâncias que minimizem o potencial de acidentes.

Os princípios da Química Verde podem parecer, em um primeiro momento, muito distantes da realidade. Porém, hoje, observa-se que há um grande esforço da parte de pesquisadores acadêmicos e industriais para uma mudança de comportamento. Para que os objetivos da Química Verde sejam atingidos bastam, além do conhecimento químico, recursos para as atividades de pesquisa científica e inovação tecnológica e incentivos governamentais para as empresas.

O Curso de Licenciatura em Química visa formar profissionais que atuarão diretamente na formação do educando. O uso de aulas experimentais na área da química desses futuros profissionais, utilizando os conceitos da química verde podem ser utilizados como ferramenta de ensino capaz de minimizar o abismo entre os conteúdos ensinados em sala de aula sobre química e o meio ambiente, e a utilização da ciência e da tecnologia, já que a mesma desperta um grande interesse entre os alunos. É possível conduzir a realização de experimentos para os mais diferentes fins, como demonstrar um fenômeno, construir um conceito, testar hipóteses e ilustrar um princípio teórico. Através da experimentação pode-se desenvolver competências como observação, coleta de dados, familiarização com aparatos e processos químicos.

Através da proposta didática investigativa tem-se a intenção, por meio do procedimento experimental integrado à discussão teórica, sensibilizar os licenciandos de Química para as relações do empreendimento tecnológico e científico, bem como seus produtos com as questões ambientais, considerando o movimento da Química

Verde e a formação inicial de professores no contexto brasileiro (Ferreira, L. H.; Hartwig, D. R.; Oliveira, R. C, 2010).

O trabalho iniciado no projeto PIBICT 2014-15 alcançou resultados iniciais que mostram que neste projeto está sendo possível demonstrar que a Química Verde e a inserção dessa filosofia nos futuros profissionais da área de educação em química é de extrema importância para que a mesma seja transmitida aos seus educandos futuros. Reações importantes foram refeitas dentro dos princípios da Química Verde, com materiais simples e baratos que não geram resíduos, sendo menos prejudiciais ao meio ambiente e os professores e alunos. Novos protocolos de aula estão sendo escritos e testados com alunos do curso de Licenciatura em Química. Ainda há muitas reações que podem ser modificadas para esta filosofia que está sendo a cada dia mais difundida e já sendo muito utilizada internacionalmente. A partir do projeto inicial, uma disciplina eletiva foi criada no curso de Licenciatura em Química, intitulada Química Verde, que já está sendo ministrada e tem a contribuição dos estudos iniciados pelas alunas bolsistas e voluntárias do trabalho.

A crescente demanda pelo desenvolvimento de métodos ambientalmente seguros e sustentáveis é uma tendência importante tanto no setor produtivo quanto na esfera acadêmica. Desta forma, o planejamento de aulas práticas nos cursos de Química deve abranger experimentos que estejam fundamentados nos princípios da Química Verde. Estes incluem, entre outros, a utilização de materiais de partida atóxicos e oriundos de fontes renováveis, além da escolha apropriada das condições reacionais e da readequação das etapas de tratamento e purificação com o objetivo de diminuir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente.

OBJETIVO

O objetivo geral do projeto é auxiliar os alunos do curso de graduação de Licenciatura em Química que tenham um maior contato com a filosofia da Química Verde através de experiências reais, nas quais terão a oportunidade de ver, experimentar, questionar e suscitar questões sobre o conteúdo abordado e ainda atualizar, otimizar e desenvolver novas aulas práticas das disciplinas teórico-práticas da Química do ensino médio e também de cursos técnicos dentro da temática proposta.

Desta forma, a realização de aulas experimentais contextualizadas e com base nas propostas do uso da filosofia da Química Verde possui grande valor para a formação de nossos alunos e futuros profissionais da área da educação para a promoção do conhecimento científico.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido por alunos do curso de graduação em Licenciatura em Química e já foram feitas quatro etapas.

Na primeira etapa de trabalho, foi feito o levantamento bibliográfico necessário para a atualização das aulas práticas. O Objetivo desta etapa era que as práticas utilizadas estivessem dentro do escopo do curso, abrangendo a utilização de conceitos, materiais e metodologias próprias, além de envolver os conceitos de

segurança e Química Verde. Nesta fase do trabalho foram feitas a revisão bibliográfica dos tópicos abordados nas disciplinas trabalhadas, discutidos quais os principais pontos que devem ser abordados experimentalmente e quais as metodologias que podem ser utilizadas para o melhor uso da prática da química limpa.

Na segunda etapa do trabalho, com os temas das práticas escolhidos, foram elaborados os experimentos, visando que os mesmos estivessem contextualizados com escopo do curso e da disciplina, bem como serão feitas as mudanças necessárias para que essas práticas estejam de acordo com os tópicos da Química Verde.

Na terceira etapa do trabalho, os experimentos propostos foram adaptados para uso didático. Nesta fase, foram produzidos novos roteiros das aulas práticas, com protocolos de aula contemplando os cuidados com segurança e tratamento ou descarte dos resíduos. Nesta fase, também foram confeccionados os roteiros para a utilização dos equipamentos, quando a prática necessitar.

Na quarta etapa do trabalho, os experimentos propostos tiveram sua utilização avaliada. Nesta fase, pontos como tempo de execução, conceitos abordados, segurança na realização da prática, tipo de avaliação, adequação de quantidades e toxicidade dos reagentes foram estudados para que as aulas sejam otimizadas. Isto torna o processo contínuo, uma vez que para essa otimização novas pesquisas e novas metodologias devem ser propostas, gerando novos experimentos ou práticas.

Através da metodologia realizada foi possível a realização de práticas visando o menor consumo de reagentes, realização de procedimentos que originem uma menor quantidade de produtos potencialmente tóxicos aos alunos e ao meio ambiente, tópico muito importante, pois uma vez que muito se fala dos resíduos originados pelas indústrias e não se leva em consideração os resíduos gerados pelas instituições de ensino espalhadas pelo Brasil, os quais muitas vezes são descartados de forma inadequada no ambiente. É de grande importância a inserção da filosofia da Química Verde nos futuros profissionais da área de educação em química para que a mesma seja transmitida aos seus educandos futuros.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Bioplástico - Desenvolvimento de Produtos Seguros

Baseado no quarto tópico da Química Verde, onde deve-se buscar o desenvolvimento de produtos que após realizarem a função desejada, não causem danos ao ambiente, o bioplástico foi obtido a partir de 30g de uma tapioca comercial comprada no mercado local e 50mL de ácido cítrico extraído de 6 limões.

A mistura foi aquecida por 15 minutos a 180°C se tornando uma pasta espessa. Com a pasta ainda quente, colocou-se em uma forma e esperou secar por 6h. A cor do polímero não foi mudada, mas pode ser usado corante para adquirir diferentes cores.

A amilose é linear e possui propriedades estruturais e a amilopectina é ramificada e possui pequenos ramos ligados à cadeia principal, através da introdução de compostos ou por meio de tratamentos físicos o amido pode ser modificado, permitindo-nos a moldagem de acordo com a finalidade. Os polímeros produzidos a partir de amidos são renováveis, possui custo relativamente baixo e em condições favoráveis de degradação e sob ação de microorganismos de ocorrência natural, podem ser consumidos em

semanas ou meses. No caso do bioplástico obtido, o mesmo se degradou em 22 semanas.

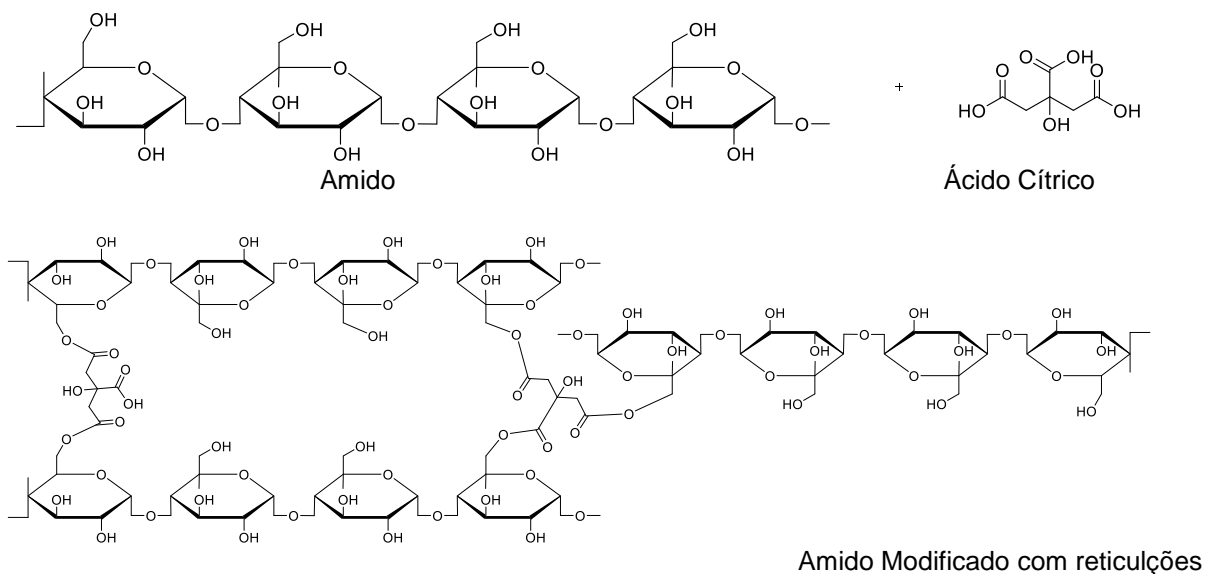


Figura 1: Formação do Bioplástico

Síntese da dibenzalacetona - Eficiência Atômica

A condensação de Claisen-Schmidt é um ótimo exemplo de economia atômica, tratado no segundo tópico da Química Verde, onde as metodologias sintéticas devem ser desenvolvidas de modo a incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final.

Partindo de 2,5g de benzaldeído, 1mL de acetona e uma solução 10M de NaOH; obteve-se um sólido amarelo em 90% de rendimento, após a recristalização da dibenzalacetona com etanol, substituindo o solvente orgânico tóxico metanol, anteriormente utilizado. Além disso essa reação é processada em temperatura ambiente e em apenas 30 minutos, inserindo também o tópico da eficiência energética descrito nos 12 tópicos da Química Verde.

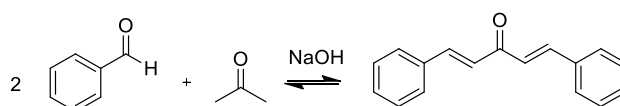


Figura 2: Síntese da dibenzalacetona

Cromatografia em coluna de açúcar usando hibisco – Química Intrinsecamente segura

A prática de cromatografia em coluna é muito utilizada para separar substâncias orgânicas nas aulas práticas. No entanto há um gasto grande de eluentes geralmente tóxicos, além de usarmos o óxido de silício como fase estacionária; um pó muito fino, de grande risco a saúde humana, dificultando enormemente a realização dessa prática.

O décimo segundo tópico da Química Verde, estuda a química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes. A escolha das substâncias, bem como sua utilização devem procurar a minimização do risco de acidentes.

Nesta prática proposta, utilizou-se o açúcar como fase estacionária e separou-se as cianinas encontradas nos hibiscos vermelhos com o uso de hexano e acetato de etila (7:3). Essa coluna de açúcar pode ser facilmente reutilizada para outras separações de substâncias orgânicas naturais, como terpenos nas folhas de boldo do Chile, leucoantocianidinas das flores de Ecsória (*Ixora Coccinea*) e ainda, licopenos e carotenos do pimentão verde, que também foram desenvolvidas nesse projeto.



Figura 3: Separação de substâncias orgânicas no hibisco vermelho

Produção de biodiesel etílico de óleos residuais - Uso de fontes de matéria-prima renováveis

Sempre que uma técnica é economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não-renováveis. Este sétimo tópico da Química Verde é muito citado quando se fala de combustíveis limpos.

Quando entramos nas questões dos combustíveis limpos, o biodiesel, um biocombustível obtido através da alcoólise de óleos vegetais, tem demonstrado um grande avanço em seus processos de obtenção e esse biocombustível pode ser considerado como um ganho ao ambiente, pois muitos geradores de energia hoje movidos a óleo derivado do petróleo poderão ser substituídos por esse combustível verde.

O biodiesel é uma excelente alternativa energética, trazendo uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais. A substituição do óleo diesel pelo biodiesel reduz as emissões de enxofre, hidrocarbonetos não queimados, material particulado e óxido de nitrogênio. Os Óleos residuais oriundos de frituras podem ser uma alternativa na redução de custos na produção do biodiesel, pois se estima que 70-95% do custo da produção do mesmo resultem de suas matérias primas (Zhang, Y.; Dubé, M.A., Mclean, D.D. e Kates, M. **2003**).

A síntese do biodiesel pode ocorrer na presença de álcoois de cadeia curta catalisado por base ou ácido. O uso do etanol é uma alternativa viável em relação ao metanol, por não ser tóxico e ser oriundo de uma fonte renovável. Produzido em larga escala, e com uso de tecnologias, o custo de produção do biodiesel pode ser mais baixo do que os derivados de petróleo.

Na obtenção do biodiesel as rotas mais usadas são os processos de transesterificação (reação de um triglicerídeo com álcool na presença de um

catalisador básico) e a esterificação (condensação de ácidos carboxílicos com álcoois catalisada por ácido).

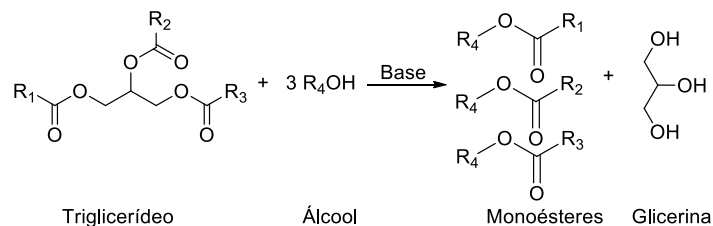


Figura 4: Reação de obtenção do biodiesel por transesterificação

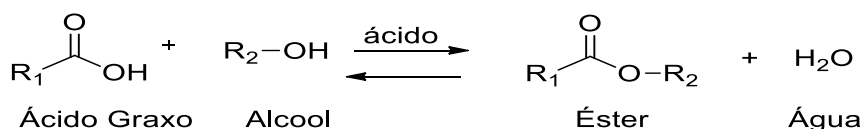


Figura 5: Reação de obtenção do biodiesel por esterificação

Foram produzidos biodiesel em temperatura ambiente, agitação constante, por 1:30h a partir de 16g de óleos residuais da soja, milho, amendoim, girassol e canola; excesso de etanol e 1,5%.de catalisador básico (KOH).

Tabela 1: Resultados da obtenção do biodiesel etílico a partir de óleos residuas

| Óleo residual | Etanol e KOH 1,5% |
|---------------|-------------------|
| Soja | 80% |
| Canola | 76% |
| Girassol | 70% |
| Amendoim | 92% |
| Milho | 85% |

A produção de biodiesel oriundos de diferentes óleos residuais com uso de 1,5% de catalisador básico se mostrou bastante eficiente, obtendo os produtos em ótimos rendimentos a partir da rota etílica. O biodiesel obtido foi ainda analisado por cromatografia em camada fina, mostrando a conversão do óleo a biodiesel, foi medido o índice de acidez por titulação e também foi analisado por CG-MS, indicando uma conversão superior a 96,5% de biodiesel, estando dentro dos padrões das normas brasileiras e europeia.

A prática desenvolvida englobou as disciplinas química orgânica experimental, química analítica e análise instrumental. A rota proposta se mostrou uma ótima alternativa ao processo convencional, favorecendo elevadas conversões, substituindo o metanol, solvente toxico anteriormente utilizado, por etanol.

Reações com ultrassom – Busca pela eficiência de energia

De acordo com o sexto tópico da Química Verde, é necessário o desenvolvimento de processos que substituem o aquecimento convencional por fontes de energia alternativas, como microondas e ultrassom.

A cavitação gerada pelo ultra-som é um fenômeno físico baseado no processo de criar, aumentar e implodir cavidades de vapor e gases, promovendo assim, a ativação de reações químicas (Mason, T.J.; Lorimer, J.P. **2002**).

O uso do ultrassom nas reações químicas deve ser testado e estudado a fundo, pois é conhecido que o seu uso possui a vantagem de redução do tempo de reação, redução da quantidade de reagentes, o aumento de rendimento, maior seletividade e principalmente o favorecimento de reações que normalmente não ocorrem em condições normais (Martines *et al*, **2000**).

Neste trabalho, três reações foram desenvolvidas com o uso de ultrassom. A síntese do cloreto de terc-butila, a reação de esterificação e a obtenção do biodiesel.

Na síntese de cloreto de terc-butila, a reação entre 0,1 mol de terc-butanol e 0,25 mol HCl se processou em apenas 5 minutos, levando o produto em 80% de rendimento. Anteriormente a mesma reação era processada em 30 minutos e levava ao mesmo produto em apenas 35% de rendimento.

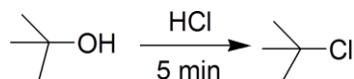


Figura 6: Síntese do cloreto de terc-butila em ultrassom

A reação de esterificação é uma reação muito usada nas práticas de laboratório. Geralmente essa prática dura 2h com refluxo constante, levando a ésteres com rendimentos que variam de 30-55% dependendo do éster sintetizado.

Na reação de esterificação entre 0,20 mol do ácido acético, 0,22 mol de álcool isoamilico e 0,15mL de ácido sulfúrico, o éster acetato de isoamila foi sintetizado em apenas 30 minutos com o uso do ultrassom, obtendo-se um rendimento de 66%. O produto obtido pode ser facilmente caracterizado pelo aluno por cromatografia em camada fina com o eluente acetato de etila, e ainda analisado por CG-massas no laboratório de análise instrumental. Diferentes ésteres foram obtidos no mesmo tempo com o uso do ultrassom.

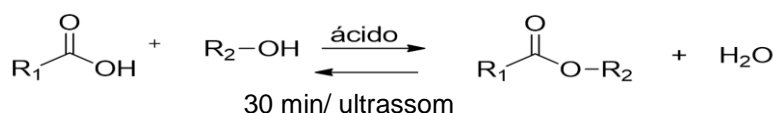


Figura 7: Reação de esterificação por ultrassom

Por fim, a síntese do biodiesel a partir de óleos residuais em etanol, anteriormente obtido em temperatura ambiente, foi testado também com o uso de ultrassom, a fim de se investigar o rendimento e o tempo da reação.

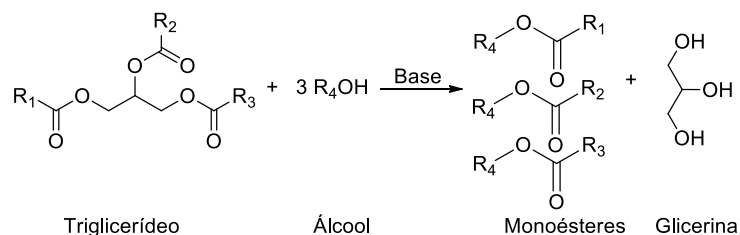


Figura 8: Formação de biodiesel etílico com uso do ultrassom

Observou-se que os rendimentos aumentaram para todas as reações, o tempo de reação passou de 1:30h para apenas 40 minutos, e a quantidade de catalisador básico KOH pode ser diminuído para 0,75%, melhorando a qualidade e tratamento final do biodiesel obtido. O biodiesel obtido foi ainda analisado por cromatografia em camada fina, calculado o índice de acidez por titulação e CG-Massas, demonstrando a conversão do óleo em biodiesel e contribuindo em diversas disciplinas do curso de química.

Tabela 2: Resultados da obtenção do biodiesel etílico a partir de óleos residuais em ultrassom

| Óleo residual | Etanol e KOH 0,75% |
|---------------|--------------------|
| Soja | 80% |
| Canola | 94% |
| Girassol | 90% |
| Amendoim | 92% |
| Milho | 85% |

CONCLUSÃO

Através dos estudos realizados foi possível a realização de procedimentos que originaram uma menor quantidade de produtos potencialmente tóxicos aos alunos e ao meio ambiente e a troca de solventes orgânicos e uso de metodologias simples e de fácil execução.

A rota com ultrassom proposta se mostrou uma ótima alternativa ao processo convencional, favorecendo elevadas conversões, menor tempo de reação e menor gasto de energia.

Neste trabalho está sendo possível demonstrar que a Química Verde e a inserção dessa filosofia nos futuros profissionais da área de educação em química é de extrema importância para que a mesma seja transmitida aos seus educandos futuros.

A Química verde é um enorme desafio para aqueles que procuram aplicar os seus princípios, seja na indústria, educação ou pesquisa. Os desafios trazidos por essa prática criaram grandes oportunidades para a descoberta e aplicações de novas tecnologias químicas, para a melhora das condições ambientais do planeta e para retirar o estigma que a química possui de estar relacionada a processos poluentes.

REFERÊNCIAS

ANASTAS, P. T.; **Green Chemistry as Applied to Solvents**. Chapter 1, American Chemical Society, 2002.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford University Press: Great Britain, cap. 9, 2000, p. 94-95.

ANASTAS, P. T.; WILLIAMSON, T. C. **Green Chemistry: An Overview**. Chapter 1, American Chemical Society, 1996.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino experimental de Química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**, 32 (2), p.101-106, 2010.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. **Química Nova na Escola**, 10, p.43-49, 1999.

GRIECO, P.A. **Organic Synthesis in Water**. Ed. Blacki Academic & Professional: London, 1998.

GUARDIAN, www.guardian.co.uk/environment/2009/dec/08/copenhagen-climate-summit-disarray-danish-text. **Copenhagen climate summit in disarray after 'Danish text' leak**, acessado em Janeiro de 2010.

HUTCHINGS, G. J. A golden future for green chemistry. **Catalysis Today**, 122, 196–200, 2007.

MASON, T.J.; LORIMER, J.P., **Applied sonochemistry: The uses of power ultrasound in chemistry and processing**. Ed. Wiley-VCH, 2002.

MARTINES, M. A. U.; DAVOLOS, M. R. E JAFELICCI, M. J. O Efeito do Ultrassom em Reações Químicas, **Química Nova**, 23, 2, 251-256, 2000.

REDCLIFT, M. R.; **Sustainable Development: Exploring the contradictions**. Routledge, Oxford University Press: New York, 37-40, 1987.

VARMA, R. S. Solvent-free organic syntheses using supported reagents and microwave irradiation. **Green Chemistry**, 43-55, 1999.

WARNER, J. C.; CANNON, A. S.; DYE, K. M. Environmental Impact Assessment Review. **Green Chemistry**, 24, 775–799, 2004.

WILSON, M. A.; FILZEN, G.; WELMAKER, G. S. A microwave-assisted, green procedure for the synthesis of N-aryl sulfonyl and N-aryl pyrroles. **Tetrahedron Letters**, 50, 4807-4809, 2009.

ZHANG Z.; YOUNG W.; SHIYI O.; PENGZHAN L.; Preparation of biodiesel from wast cooking oil via two-step catalyzed process. **Energy Conversion and Management**. v. 48, n° 1, p. 184-188, 2007.