

Artigo

A Hidrogenação de Óleos e Gorduras e suas Aplicações Industriais

Pinho, D. M. M.; Suarez, P. A. Z.*

Rev. Virtual Quim., 2013, 5 (1), 47-62. Data de publicação na Web: 9 de fevereiro de 2013

<http://www.uff.br/rvq>

The Chemistry of Hydrogenation of Oils and Fats and their Applicability in Industry

Abstract: The industrial process of a large number of goods commercialized in Brazil and in the World, such as fuels, foods, fine chemicals and polymers, involves at least one hydrogenation step. By using hydrogenation the physical and chemical properties of chemical compounds are modified, making possible their utilization in the formulation of industrial products. In this article the hydrogenation reaction is discussed in terms of its basic aspects as well as its applications in the oil-chemistry industry.

Keywords: Hydrogenation; Oil; Fat.

Resumo

A fabricação de um número bastante elevado de produtos comerciais como, por exemplo, combustíveis, alimentos, fármacos, polímeros, entre outros, envolve em pelo menos uma das etapas do processo, a reação de hidrogenação. Nos produtos hidrogenados as propriedades físicas e químicas são alteradas com relação aos materiais de partida. Neste artigo é discutida a reação de hidrogenação, os seus fundamentos básicos e suas principais aplicações na indústria oleoquímica.

Palavras-chave: Hidrogenação; Óleos; Gorduras.

* Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais e Combustíveis, INCT-Catálise, Instituto de Química, P. Box. 4478, CEP: 70919-970, Brasília-DF, Brasil.

✉ psuarez@unb.br

DOI: [10.5935/1984-6835.20130006](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20130006)

A Hidrogenação de Óleos e Gorduras e suas Aplicações Industriais

David M. M. Pinho, Paulo A. Z. Suarez*

Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais e Combustíveis, INCT-Catálise, Instituto de Química, P. Box. 4478, CEP: 70919-970, Brasília-DF, Brasil.

* psuarez@unb.br

Recebido em 6 de fevereiro de 2013. Aceito para publicação em 9 de fevereiro de 2013

1. O que é Hidrogenação?
2. Uso da hidrogenação na Indústria Alimentícia
3. Uso da Hidrogenação na Indústria de Combustíveis
4. Uso da Hidrogenação na Indústria Ricinoquímica
5. Conclusão

1. O que é Hidrogenação?

Hidrogenação é o processo químico de eliminação de grupos funcionais insaturados pela adição de átomos de hidrogênio. As principais fontes de hidrogênio utilizadas são

o hidrogênio elementar (H₂)¹ e os hidretos metálicos (por exemplo, o NaBH₄).² Na Figura 1 são mostradas reações de hidrogenação de uma ligação dupla entre átomos de carbono (olefina) e de uma ligação dupla entre carbono e oxigênio (aldeído ou cetona).

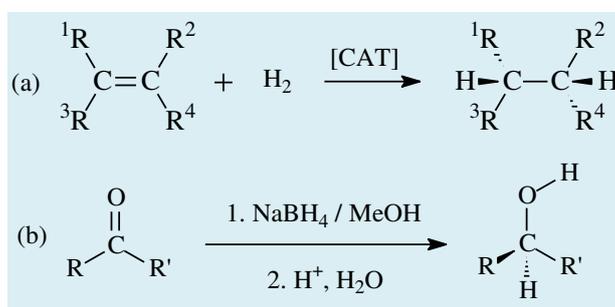


Figura 1. Hidrogenação de grupos insaturados: (a) hidrogenação de uma ligação C=C assistida por um catalisador (CAT), normalmente um composto de metal de transição; (b) hidrogenação de uma ligação C=O (se R' for um radical alquila ou arila o reagente é uma cetona e o produto formado é um álcool secundário e se for um átomo de hidrogênio será um aldeído produzindo um álcool primário)

De um ponto de vista termodinâmico, a reação de hidrogenação utilizando H_2 mostrada na Figura 1a é extremamente favorável, uma vez que tanto a Energia Livre de Gibbs (ΔG°) quanto a Constante de Equilíbrio (K_p) nos indicam uma reação espontânea e fortemente deslocada no sentido dos produtos. Por exemplo, a reação do eteno com hidrogênio molecular para formação do etano (Figura 2a) possui um $\Delta G^\circ = -101 \text{ kJ mol}^{-1}$ e $K_p = 5,16 \times 10^{17} \text{ atm}^{-1}$. No entanto, o uso de hidrogênio molecular exige sempre o uso de catalisadores, porque, apesar de a reação ser favorecida, sem a sua presença a hidrogenação somente ocorre em condições muito drásticas de temperatura e pressão. Esta aparente contradição é o resultado da cinética da reação, por não

serem compatíveis às simetrias dos orbitais do hidrogênio molecular e do orbital π do grupo insaturado. Para que a reação ocorra é necessária uma alta energia de ativação. No caso dos hidretos metálicos, como estes são bases de Lewis muito fortes, o par de elétrons do hidrogênio liga-se ao carbono do grupo insaturado através de um ataque nucleofílico (Figura 2b). Nas reações de hidrogenação com hidrogênio molecular o catalisador é geralmente um composto de metal de transição, que ao reagir com o H_2 gera hidreto (Figura 2a), que se adiciona ao grupo insaturado.¹Tanto os hidretos quanto o grupo insaturado, no caso exemplificado na Figura 2a uma olefina, permanecem coordenados ao centro metálico.

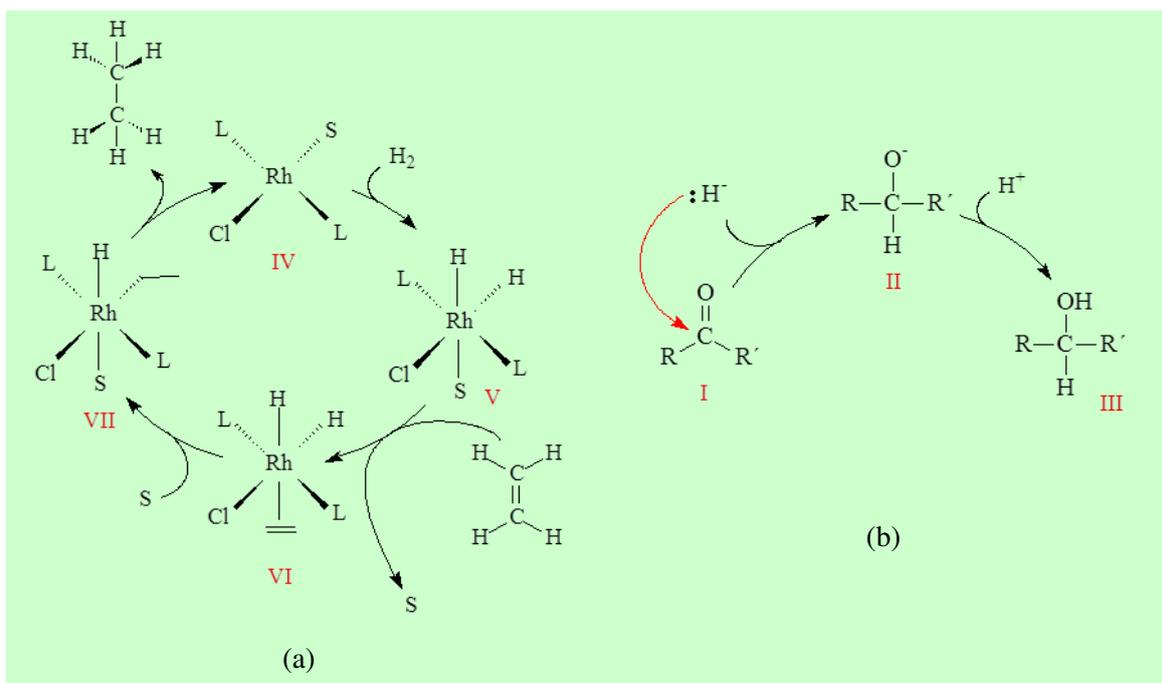


Figura 2. Mecanismos de hidrogenação: (a) reação catalítica utilizando hidrogênio molecular; (b) reação estequiométrica usando hidretos

O uso da hidrogenação é largamente difundido nas indústrias de combustíveis, alimentícias, farmacêuticas, de materiais poliméricos, entre outras. Nestas indústrias, encontramos processos que utilizam a hidrogenação com os mais diversos fins, como por exemplo: estabilização de combustíveis; aumento do ponto de fusão de materiais graxos e produção de margarinas;

obtenção de intermediários quirais para a síntese de fármacos³; produção de borracha nitrílica hidrogenada que funciona como selo nas garrafas PET e que impedem a perda do gás dos refrigerantes.

Uma das classificações de óleos e gorduras é: saturados, insaturados e poli-insaturados. No caso dos ácidos graxos

saturados não há ligações duplas, enquanto nas cadeias insaturadas e poli-insaturadas, ocorre, respectivamente, a presença de uma ou mais ligações duplas.⁴ A presença de ligações duplas interfere de forma drástica na força das interações do tipo van Der Waals, o que irá influenciar as propriedades físicas e químicas dos óleos e gorduras, como viscosidade, densidade e temperatura de fusão.⁴ Por outro lado, as ligações duplas conferem ao material graxo reatividade frente a diversos agentes químicos. Esta reatividade pode ser tanto benéfica, pois permite a obtenção de uma série de produtos químicos como polímeros ou epóxidos, quanto prejudicial, uma vez que diminui a estabilidade química frente ao oxigênio molecular, reduzindo o tempo de armazenamento do material antes do seu consumo, o que determina o seu prazo de validade para comercialização.⁵ Deve-se salientar que a reatividade de um óleo ou gordura frente ao oxigênio é favorecida pelo aumento no número de ligações duplas.⁶

Assim, pode-se modular as propriedades

físicas e químicas dos óleos e gorduras pela hidrogenação das ligações duplas presentes nas cadeias dos óleos e gorduras. No entanto, deve-se ter clareza que a modificação no número de ligações duplas irá alterar o conjunto das propriedades físicas e químicas do material graxo e não uma de forma isolada. Por exemplo, a Figura 3 compara duas propriedades em função do número de insaturações do material: a fluidez (viscosidade) e a estabilidade oxidativa. Enquanto que um alto grau de saturação das cadeias (gorduras) aumenta a interação das moléculas e dificulta a fluidez do material, ele diminui a sua suscetibilidade à oxidação. Já para materiais com alto grau de insaturação (óleos), a baixa interação entre as cadeias aumenta a fluidez, mas diminui a sua estabilidade oxidativa.

Neste artigo, serão discutidos alguns processos em que a hidrogenação é utilizada na indústria oleoquímica para a produção de alimentos ou produtos não alimentícios com características diferenciadas.

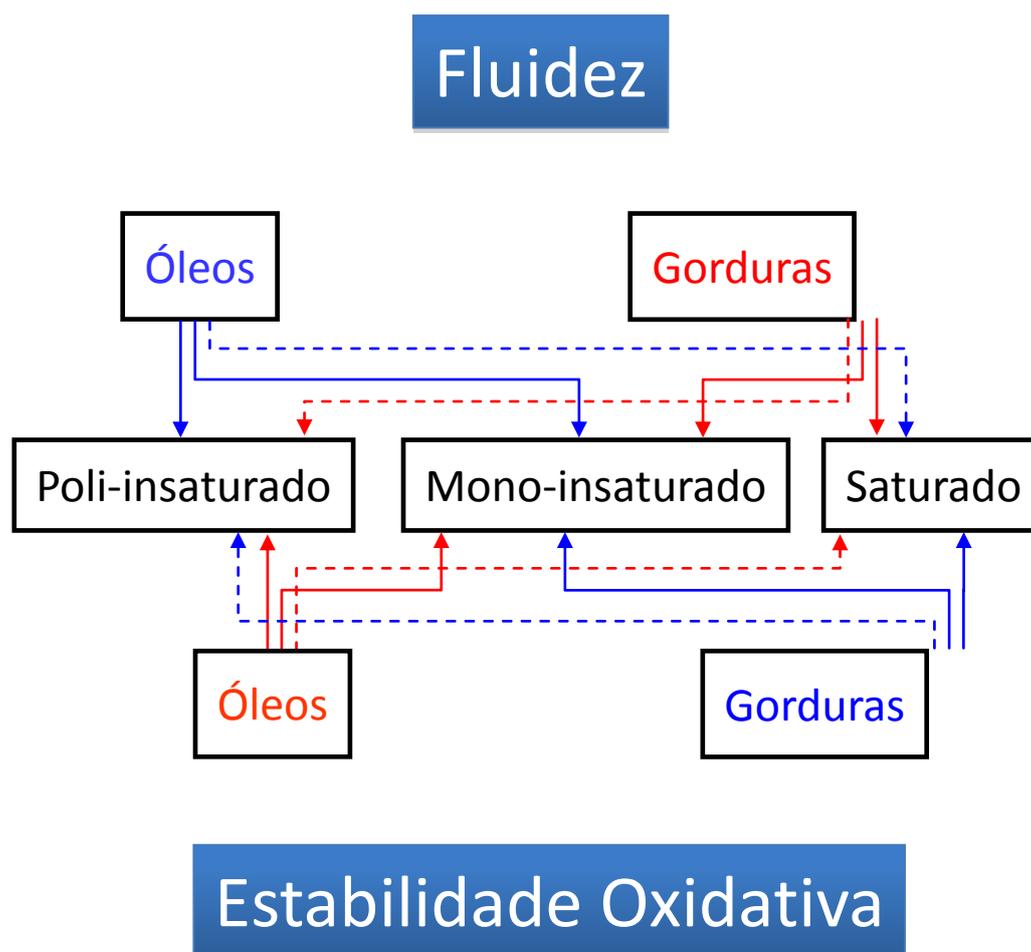


Figura 3. Influência das ligações duplas nas propriedades físicas e químicas de óleos e gorduras: enquanto cadeias saturadas (gorduras) favorecem a estabilidade oxidativa, comprometem a fluidez do material graxo, sendo exatamente o contrário para as cadeias poli-insaturadas (óleos)

2. Uso da hidrogenação na Indústria Alimentícia

A hidrogenação é muito utilizada pela indústria alimentícia para aumentar o prazo de validade de óleos ou para produzir as gorduras vegetais hidrogenadas. A diferença entre os dois processos é o grau de hidrogenação. Para estabilizar óleos, a hidrogenação é feita de forma parcial, mantendo um determinado grau de insaturação no produto final, de forma a que sua fluidez não seja comprometida e ele

continue líquido a temperatura ambiente. Já para a produção de gorduras vegetais hidrogenadas, muito usadas para confecção de tortas e bolos, a hidrogenação é realizada de forma quase completa. O processo industrial de hidrogenação de óleos e gorduras é realizado utilizando um catalisador de níquel finamente dividido, obtido a partir da redução de complexos do metal com hidrogênio molecular, usualmente suportado em sílica.⁵ O processo, que utiliza óleo refinado e branqueado, ocorre a temperaturas entre 150 e 220 °C e 15 atm de hidrogênio, conforme fluxograma apresentado na Figura 4.

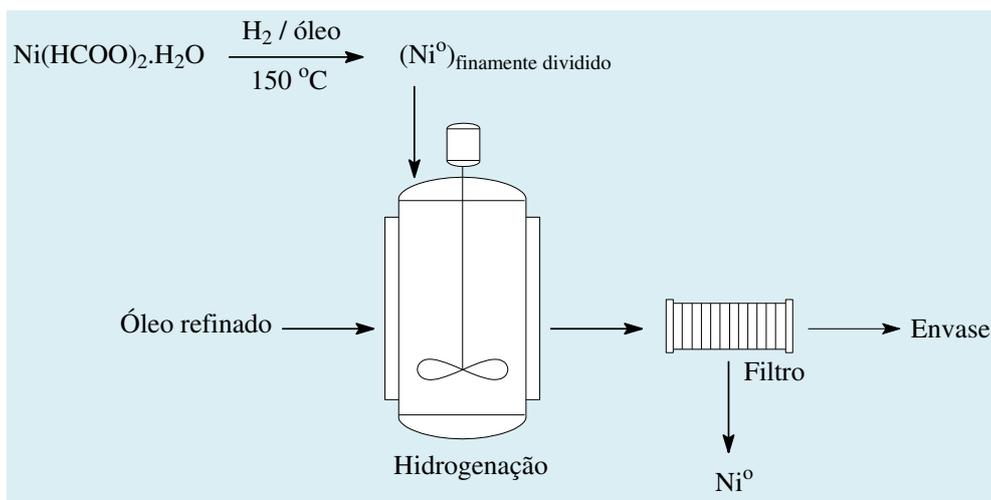


Figura 4. Processo de hidrogenação de óleos refinados utilizando catalisadores de níquel

Outro produto preparado a partir de gorduras vegetais hidrogenadas é a margarina, surgida na França do século XIX, durante o Império de Napoleão III. Em um período de forte crise econômica, Napoleão III ofereceu um prêmio a quem descobrisse um substituto para a manteiga de origem animal que fosse mais acessível financeiramente à classe mais pobre e aos militares do exército. O químico Hippolyte Mège-Mouriès fez vários testes até descobrir a margarina ao emulsificar sebo bovino com leite. O sucesso foi tão grande que, mesmo após a crise financeira, a margarina tornou-se mais popular que a manteiga.⁷ Com o desenvolvimento do processo de hidrogenação de óleos na primeira metade do Século XX, a gordura vegetal hidrogenada

passou a substituir o sebo na formulação das margarinas. É interessante salientar que essa substituição ocorreu tanto por questões econômicas quanto por ser a gordura vegetal hidrogenada considerada à época mais saudável que o sebo bovino, devido à ausência de colesterol. Assim, a partir da segunda metade do Século XX, o processo de fabricação de margarina se consolidou como a emulsificação de uma fase aquosa (leite, sal e conservantes) e uma oleosa (gordura vegetal hidrogenada).⁸ Na Figura 5 pode-se observar um recipiente com óleo de soja e outro com margarina obtida a partir de óleo de soja.



Figura 5. Óleo comestível e margarina obtida a partir do processamento de óleo de soja. Foto Paulo Suarez

No entanto, nas últimas décadas o uso da hidrogenação para se produzir gorduras vegetais na indústria de alimentos tem sido cada vez mais questionada. O problema associado à hidrogenação é que nas condições de reação, ocorre a reação paralela de isomerização de ligações duplas, ou seja, parte dos isômeros *cis* é convertida em isômeros *trans*. Esta reação acontece porque termodinamicamente os isômeros *trans* são

mais estáveis.⁹ Para entender melhor este fato, na Figura 6 são mostradas as energias envolvidas na hidrogenação de *cis*-2-buteno e *trans*-2-buteno para produzir butano. Fica claro que o isômero *cis* possui 5 kJ/mol de energia a mais que o *trans*, pois essa é a diferença entre as energias liberadas pelos dois isômeros quando estes são convertidos em butano.

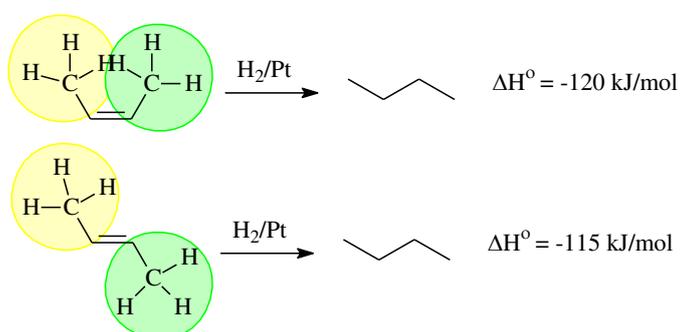


Figura 6. Diferenças de energia entre os isômeros *cis*- e *trans*-2-buteno

Na Figura 7 é mostrado o mecanismo envolvido na isomerização de uma olefina utilizando um catalisador heterogêneo, como o níquel metálico usado na indústria oleoquímica. Após a reação do hidrogênio na

superfície do catalisador são formados dois hidretos que permanecem coordenados juntamente com olefinas (estrutura (a) da Figura 7). A seguir ocorre uma reação de um hidreto com a olefina, formando um radical

alquila, que permanece coordenado na superfície (estrutura (a) da Figura 7). Nesse complexo alquila não existe impedimento rotacional, pois todas são ligações simples, ocorrendo uma rotação que leva a estrutura mais estável (Figura 7(a)). No próximo passo existe uma competição entre duas possíveis reações: (i) o complexo alquila se decompõe, eliminando um hidreto e formando

novamente a olefina (estrutura (c) da Figura 7). Note que a configuração da olefina que será formada irá depender se ocorreu ou não a rotação do complexo alquila, que pode levar a formação do intermediário termodinamicamente mais estável; ou (ii) o complexo alquila reage com um segundo hidreto formando o composto saturado.⁵

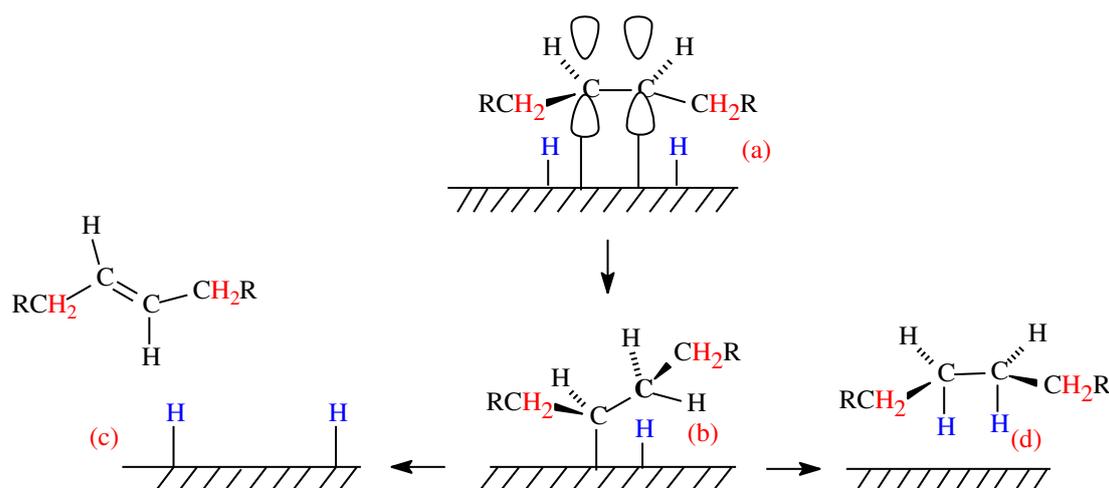


Figura 7. Mecanismo de hidrogenação e de isomerização de olefinas (formação do isômero *trans*)

Os isômeros *trans* raramente são produzidos na natureza, havendo poucos exemplos de substâncias naturais como o ácido α -oleostearico presente no óleo de tungue⁴ ou gordura *trans* produzida durante o processo de bio-hidrogenação em ruminantes. No entanto, a maior fonte de gordura *trans* são os alimentos industrializados, principalmente se existe uma etapa do processo que envolve hidrogenação. As restrições que se tem feito em relação à gordura *trans* decorrem dos problemas de saúde que vem sendo associado ao seu consumo, principalmente às doenças cardiovasculares. Inicialmente, deve-se considerar que as gorduras *trans* são absorvidas no organismo de forma igual à *cis*, mas não tem papel algum como ácido graxo essencial no organismo. Depois de ingerida, a gordura *trans* tem efeito hipocolesterolêmico, uma vez que eleva o

colesterol total, gerando, principalmente, doenças coronárias.¹⁰ De fato, a gordura *trans* aumenta os níveis da lipoproteína de baixa densidade (LDL-c), chamada popularmente de colesterol ruim. Parte da LDL-c é metabolizada no fígado e utilizada para a construção de membranas celulares, mas o excesso de colesterol no sangue dificulta a captação dessa lipoproteína pela célula, então ela oxida e se deposita nas paredes do sistema circulatório, dando origem a doenças cardiovasculares. Estudos mostraram que um aumento de 20 % na ingestão de gordura *trans* acarreta um aumento de 1 na razão LDL-c/HDL-c, o que eleva os riscos de doenças cardiovasculares em 53 %.¹¹

Devido aos problemas de saúde descritos anteriormente, cada vez mais se tem uma preocupação com a ingestão de alimentos

ricos em gordura *trans*, o que levou a ANVISA a tornar obrigatória a divulgação dos teores dessa gordura nos rótulos de alimentos a partir de 2003 (Resolução ANVISA RDC- 360 de 2003). Como resposta do mercado, hoje é possível encontrar gorduras vegetais ou margarinas com baixíssimos teores de gordura *trans* nas prateleiras dos supermercados. O processo de hidrogenação cada vez mais está sendo substituído por tecnologias alternativas, principalmente aquelas que envolvem a cristalização fracionada, com a qual se obtém gorduras com alto grau de saturados, ou a interesterificação, muito utilizada para se obter gorduras com um menor grau de saturados.

O processo de cristalização fracionada de um óleo (Figura 8), também citado na literatura como winterização (anglicismo de winterization), consiste em separar os triacilglicerídeos com maior característica

saturada dos insaturados por diferença na temperatura de fusão. Este processo físico consiste em diminuir lentamente a temperatura em um trocador de calor (Figura 8a) para que ocorra a cristalização dos triacilglicerídeos que apresentam pontos de fusão mais elevados (os mais saturados).¹² Após essa cristalização parcial é obtida uma mistura graxa heterogênea, separando-se a fase sólida da líquida por centrifugação (Figura 8c). São obtidas duas frações, uma líquida, conhecida como oleína, e outra pastosa, a qual é filtrada (geralmente em um filtro prensa como o apresentado na Figura 8d) para isolar mais oleína e uma fração sólida, conhecida por estearina. Esse processo pode ser feito com o óleo puro ou com a adição de um solvente, quase sempre hexano, antes da entrada no trocador de calor. Quando é usado hexano, é necessária uma etapa posterior para remover este solvente da oleína.¹²

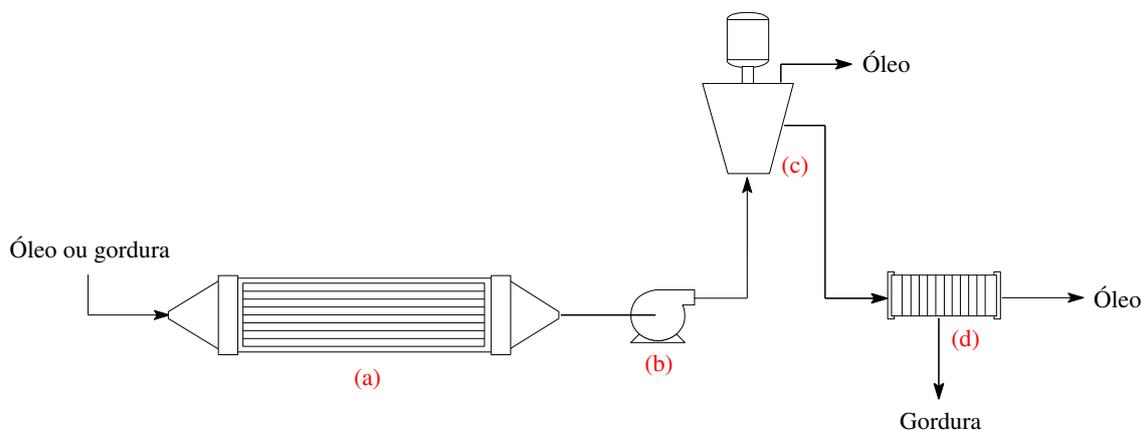


Figura 8. Esquema do processo de cristalização fracionada (winterização): (a) trocador de calor; (b) bomba; (c) centrífuga; e (d) filtro prensa

Já a interesterificação (Figura 9) consiste em reagir uma gordura saturada com um óleo insaturado, como o óleo de soja, na presença de metóxido de sódio (NaOCH_3). A gordura saturada pode ser obtida de uma fonte natural, como o sebo ou a gordura de dendê, ou de um óleo, o qual foi totalmente hidrogenado ou que passou pelo processo de cristalização fracionada. Durante a reação

ocorre a troca de ácidos graxos entre os triacilglicerídeos. Os triacilglicerídeos obtidos no final do processo possuem uma composição química similar à obtida com a hidrogenação parcial com a vantagem de não ocorrer isomerização. O grau final de saturação da gordura obtida neste processo é regulado pela composição da mistura inicial.¹³

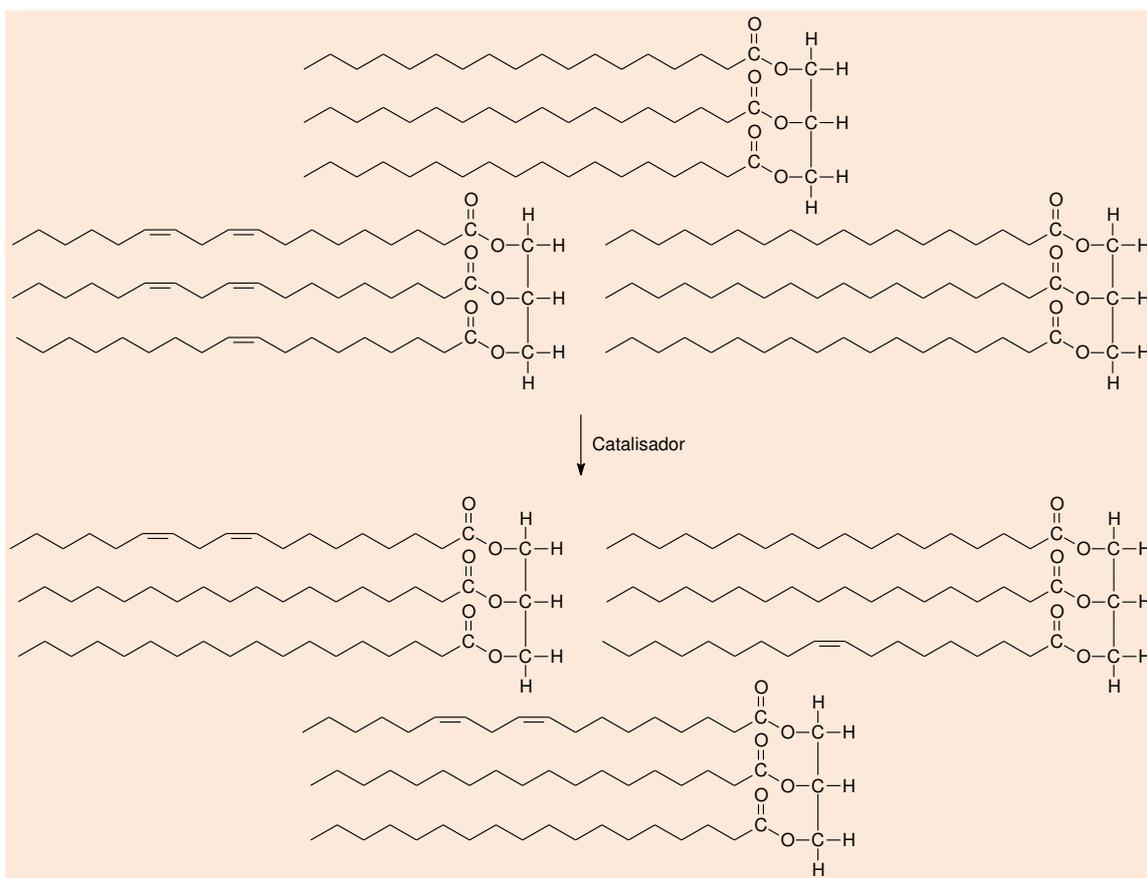


Figura 9. Processo de interesterificação

3. Uso da Hidrogenação na Indústria de Combustíveis

Tradicionalmente a indústria de combustíveis utiliza a hidrogenação como forma de estabilizar as diferentes misturas de hidrocarbonetos derivadas do petróleo.¹⁴ Assim como nos óleos e gorduras, a presença de ligações duplas aumenta a reatividade dos hidrocarbonetos frente ao oxigênio do ar levando a formação de compostos

oxigenados indesejáveis. Estes compostos alteram a cor, a viscosidade, a densidade e a acidez do combustível, levando também à formação de depósitos nos tanques de armazenamento. Por outro lado, a hidrogenação é, também, utilizada pela indústria do petróleo para a remoção de heteroátomos, como enxofre, nitrogênio e oxigênio, de compostos presentes no petróleo.¹⁴ Na Figura 10 são mostradas algumas reações de hidrogenação usadas na indústria do petróleo para eliminar compostos insaturados e heteroátomos.

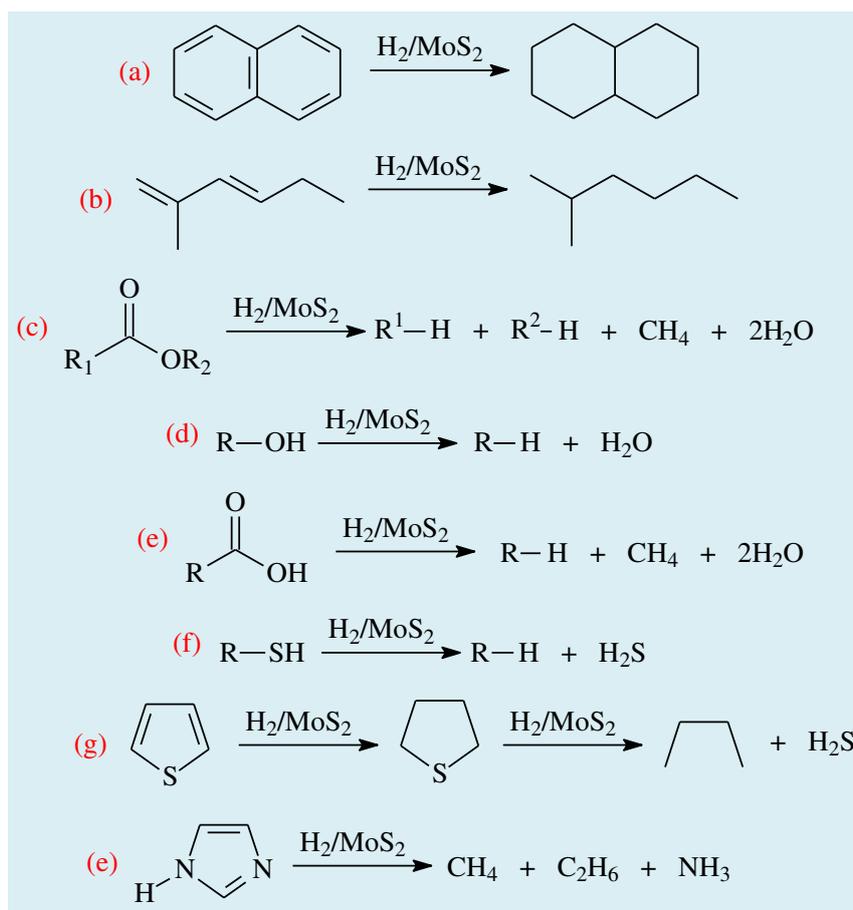


Figura 10. Reações de hidrogenação realizadas na indústria do petróleo para produzir combustíveis: (a) desaromatização; (b) eliminação de olefinas; eliminação de oxigênio de ésteres (c), alcoóis (d) e ácidos carboxílicos (e); dessulfurização de mercaptanas (f) e tiofeno e tioéter (g); e (e) desnitrogenação de aminas

Um exemplo de uso da hidrogenação em uma refinaria é o processo conhecido como hidrotratamento (HDT), onde as diversas frações oriundas dos processos de destilação atmosférica (DA), craqueamento catalítico (FCC) e coqueificação retardada (COQUE) são tratadas para a obtenção de uma mistura de hidrocarbonetos com as especificações desejadas para o diesel. Na realidade, o HDT é uma mistura de processos que ocorrem simultaneamente, como à hidrogenação de compostos olefínicos e aromáticos, a dessulfurização (HDS), a desoxigenação (HDO) e a desnitrogenação (HDN). Durante o processo também ocorre o craqueamento de

cadeias longas levando a formação de compostos leves na faixa de destilação do diesel. Na Figura 11 é mostrado um esquema do processo HDT. A mistura de correntes oriundas do DA, FCC e COQUE é aquecida em um forno tubular (Figura 11a) e, após mistura com H_2 , passa por um leito fixo do catalisador MoS_2 (Figura 11c). Depois de retirada do H_2 remanescente, o produto é destilado em uma torre de pratos (Figura 11d), onde são separados os produtos leves dos pesados. A fração pesada é aquecida e misturada com H_2 para passar novamente por um leito fixo do catalisador MoS_2 (Figura 11c), que é redestilada.^{15,16}

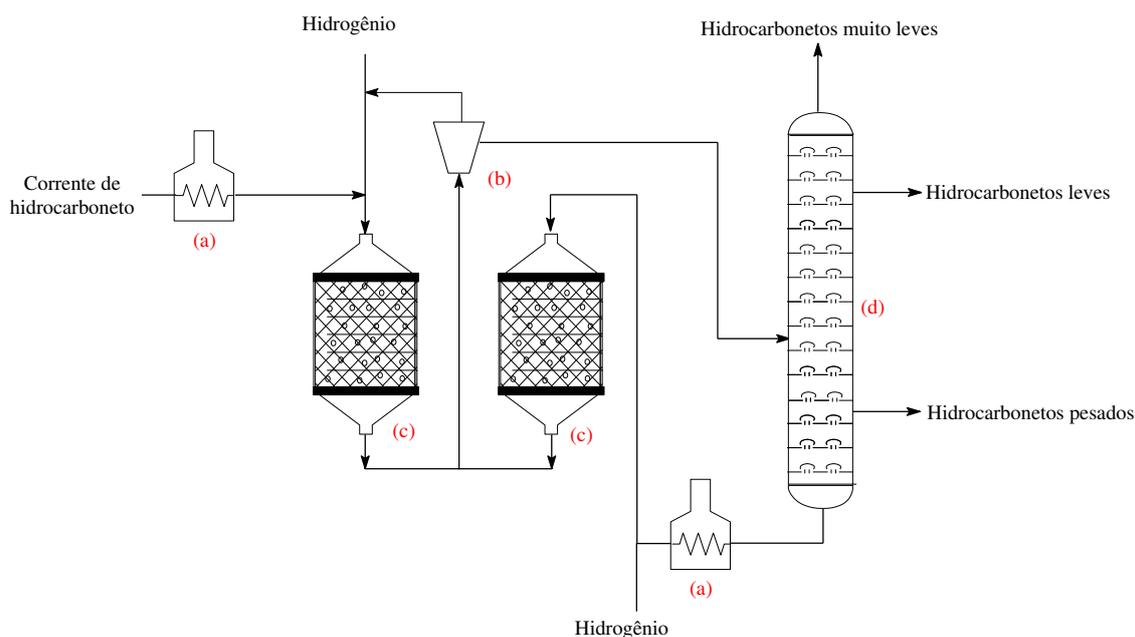


Figura 11. Processo de hidrotratamento (HDT) de correntes obtidas no refino do petróleo para produção de diesel: (a) fornos para aquecimento da corrente; (b) separador de hidrogênio; (c) leito fixo do catalisador MoS₂; (d) torre de destilação de pratos

Na última década, a preocupação em utilizar matérias-primas renováveis para substituir o petróleo levou diversas empresas a estudar óleos e gorduras como fonte de combustíveis. Neste contexto, a hidrogenação, mais especificamente o HDO, se apresentou como uma possibilidade para obtenção de hidrocarbonetos, uma vez que este processo já é utilizado para a desoxigenação de ésteres de ácidos carboxílicos e outros compostos oxigenados presentes no petróleo. A grande vantagem do uso do HDO para tratar óleos e gorduras é a alta similaridade nas reatividades químicas dos compostos oxigenados presentes no petróleo e os ésteres oriundos de materiais graxos, o que permite o uso direto das

instalações já existentes nas refinarias de petróleo. Um exemplo é o processo HBIO patenteado em 2005 pela Petrobras, que consiste na produção de *n*-parafinas, adicionando até 20 % de óleos e gorduras na corrente que entra no processo HDT.¹⁷ Nas condições do HDT, os acilglicerídeos e ácidos graxos reagem com o hidrogênio, conforme mostrado na Figura 12, para formar hidrocarbonetos na faixa do diesel. Outras empresas, como a finlandesa NESTE Oil, desenvolveram um processo para obtenção de querosene de aviação a partir do HDO de óleos e gorduras, combinado com uma etapa de isomerização dos esqueletos carbônicos das cadeias para produzir hidrocarbonetos ramificados com pontos de fusão baixos.¹⁸

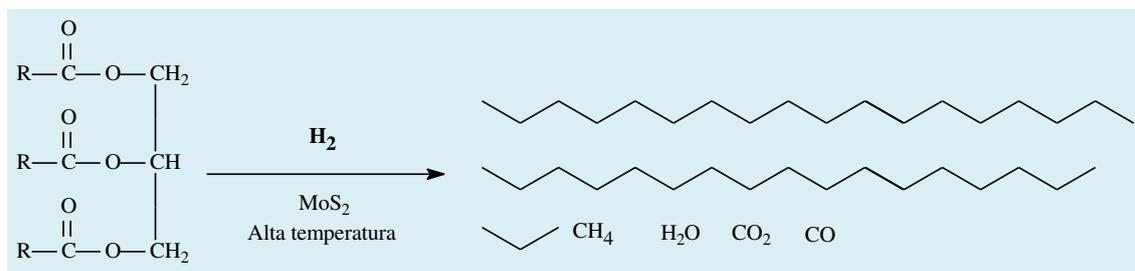


Figura 12. Reação de desoxigenação de óleos e gorduras na presença de MoS₂

A hidrogenação também foi proposta para estabilizar o biodiesel de forma a minimizar os problemas de degradação na presença de oxigênio do ar durante a estocagem. Em países como o Brasil onde a maior parte da matéria-prima para a produção de biodiesel é constituída por óleos com alto grau de insaturação, inúmeros problemas gerados pela degradação do biocombustível durante o transporte e estocagem vêm sendo relatados. No caso específico do Brasil, cerca de 80 % da produção de biodiesel é feita com óleo de soja, cuja composição é aproximadamente 55 % em ésteres do ácido linoleico, 5 % do ácido linolênico e 25 % do ácido oleico. Devido a essa composição, o biodiesel de soja apresenta uma baixa estabilidade oxidativa, sendo relatado o seu escurecimento e acidificação, além da formação de borras. Uma solução apontada por pesquisadores para resolver este problema é a hidrogenação.^{18,19} Neste caso, também deve-se evitar a hidrogenação total, a qual levaria a uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos com reduzida fluidez a baixas temperaturas e alto ponto de cristalização, o que comprometeria o seu uso como biodiesel. Assim, para hidrogenar o biodiesel sem comprometer as suas propriedades a baixa temperatura, deve-se realizar uma hidrogenação parcial.

Um exemplo é o uso de nanopartículas de paládio associadas com líquidos iônicos, que constitui um sistema catalítico apontado como eficiente para a hidrogenação parcial

do biodiesel de soja.^{18,19} Estes estudos mostraram que as cadeias poli-insaturadas (18:2 e 18:3) são completamente convertidas em compostos monoinsaturados (18:1*cis* e 18:1*trans*), antes que se inicie a formação do produto completamente hidrogenado (18:0), conforme mostrado na Figura 13. De fato, é possível observar na Figura 15 que em 4 h, mesmo já havendo uma redução das cadeias poli-insaturadas a menos de 10 % da composição, ainda não haviam sido formados produtos de hidrogenação total de forma significativa, os quais permaneceram em teores inferiores a 10 %. Fica também claro na Figura 13 que em 4 h o biodiesel formado possui essencialmente cadeias monoinsaturadas. Ao se analisar a estabilidade oxidativa pela técnica Rancimat foi observado que o tempo de indução aumentou de 0,9 h (biodiesel de soja antes da hidrogenação) para 28,6 h após a hidrogenação parcial. Por outro lado, foi verificado por análise térmica diferencial (DSC) que a hidrogenação parcial não comprometeu as propriedades a frio da mistura de ésteres, sendo determinado que após o processo o ponto de fusão aumentou em 4 °C apenas, variando de -27,4 °C para -23 °C. Estes resultados mostram que é possível aumentar a estabilidade do biodiesel sem alterar as propriedades a frio dos materiais graxos, o que pode ser uma alternativa para a indústria de biodiesel no Brasil.

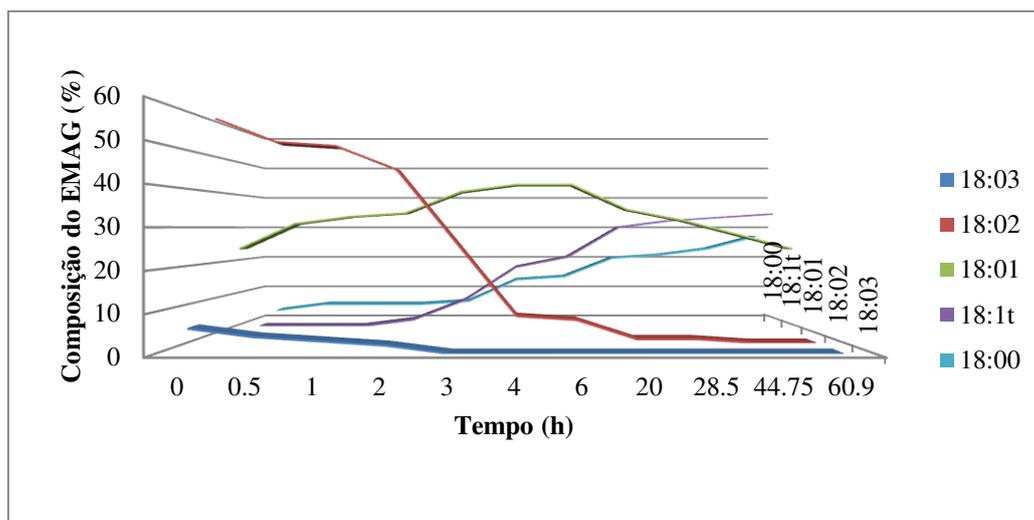


Figura 13. Estudo cinético da reação de hidrogenação na presença de solvente e catalisador. Gráfico obtido a partir de dados retirados de Souza et al.¹⁹

4. Uso da Hidrogenação na Indústria Ricinoquímica

A indústria ricinoquímica, setor da oleoquímica onde o principal insumo é o óleo de rícino (também conhecido como óleo de mamona) é um importante setor responsável por mais de 200 produtos comercializados no mercado internacional. O ácido ricinoleico,

que corresponde a aproximadamente 88 % do óleo de mamona,⁴ tem uma hidroxila no carbono 12, que lhe confere uma alta viscosidade.⁴ Uma das principais transformações que ocorre na ricinoquímica é justamente a hidrogenação do ácido ricinoleico, conforme mostrado na Figura 14, que gera um ácido graxo saturado com ponto de fusão de 86 °C e alta estabilidade oxidativa.²⁰

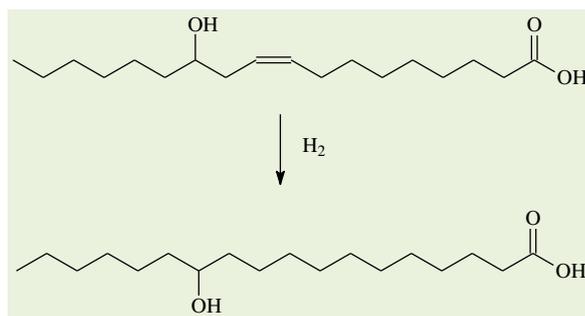


Figura 14. Hidrogenação do ácido ricinoleico

A reatividade e as propriedades físico-químicas do óleo de mamona ou do ácido ricinoleico hidrogenados permite o uso dos mesmos como insumos para a fabricação de diversos produtos, como macromoléculas (resinas e polímeros), ceras, graxas, lubrificantes e sabões.²¹ Na indústria de

polímeros, os grupos hidroxila e ácido carboxílico permitem a obtenção de poliésteres e poliuretanas que apresentam uma ampla aplicação como adesivos, espumas e polímeros. A cera de mamona é capaz de substituir parcialmente a cera de Carnaúba²² na fabricação de vários produtos,

como revestimentos, emulsificantes e papel carbono. Finalmente, a alta viscosidade e baixa tensão de cisalhamento dos ácidos graxos ou óleo hidrogenados são ideais para formular graxas e lubrificantes, com ampla utilização na indústria mecânica.²¹

5. Conclusão

A hidrogenação é uma importante reação na transformação de óleos e gorduras para a obtenção de os mais diversos produtos industriais, incluindo alimentos, combustíveis, polímeros, graxas e lubrificantes. A indústria alimentícia vem substituindo a hidrogenação nos últimos anos por tecnologias alternativas, tais como interesterificação e cristalização fracionada, devido à hidrogenação levar a reação paralela de isomerização das cadeias insaturadas. No entanto, cada vez mais a hidrogenação vem encontrando aplicações na modificação de óleos e gorduras visando à obtenção de produtos não alimentares. De fato, a hidrogenação tem se apresentado como importante ferramenta da indústria oleoquímica para encontrar substitutos renováveis para produtos derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral.

Agradecimentos

Os autores agradecem às diferentes agências que financiam as pesquisas do Grupo de Pesquisas Rede de Estudos em Oleoquímica (CNPq, FINEP, FAPEAL, FAPDF), ao INCT-CATÁLISE e em especial à CAPES (PROCAD 2005, Projeto nº 0023051; e PROCAD NF 2009, Projeto nº 735/2010) que permitiram a mobilidade de alunos e professores das equipes. Os autores agradecem também ao CNPq e CAPES pelas bolsas de pesquisa concedidas aos pesquisadores e alunos de graduação e pós-graduação.

Referências Bibliográficas

- ¹ Parshall, G. W.; Ittel, S. D.; *Homogeneous Catalysis*, 2a. ed., John Wiley & Sons: New York, 1992.
- ² Goralski, C. T.; Singaram, B. *Org. Process Res. Dev.* **2006**, *10*, 947. [CrossRef]
- ³ Rothenberg, G.; *Catalysis: Concepts and Green Applications*, Wiley-VCH: Weinheim, 2008. [CrossRef]
- ⁴ Ramalho, H. F.; Suarez, P. A. Z. *Rev. Virtual Quim.* **2013**, *5*, 2. [Link]
- ⁵ Carvalho, M. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, Brasil, 2008. [Link]
- ⁶ Martins, G. B. C.; Mello, V. M.; Suarez, P. A. Z. *Rev. Virtual Quim.* **2013**, *5*, 16. [Link]
- ⁷ Alfonso, V., Nora, M. *Rev. Chil. Nutr.*, **2005**, *32*, 2. [CrossRef]
- ⁸ Tamborlin, N.; Ferreira, S. M.; *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, **2008**, *2*, 1. [Link]
- ⁹ Cunha S. *Quim. Nova* **2003**, *26*, 948. [CrossRef]
- ¹⁰ Chiara, V. L.; Silva, R.; Jorge, R.; Brasil, A. P. *Rev. Nutr.* **2002**, *15*, 3. [CrossRef]
- ¹¹ Martin, C. A.; Matshushita, M.; Souza, N. E. *Rev. Nutr.* **2004**, *17*, 3. [CrossRef]
- ¹² Cunha, D. C.; Crexi, V. T.; Pinto, L. A. A. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* **2009**, *29*, 207. [CrossRef]
- ¹³ Ribeiro, A. P. B., Moura, J. M. L. N., Grimaldi R., Gonçalves, L. A. G. *Quim. Nova* **2007**, *30*, 1295. [CrossRef]
- ¹⁴ Li, S. Z., Lee, J. S., Hyeon, T., Suslick, K. S. *Appl. Catal. A* **1999**, *184*, 1. [CrossRef]
- ¹⁵ Neiva, J.; *Conheça o Petróleo e outras fontes de energia*, 4a. ed., Ao Livro Técnico: Rio de Janeiro, 1983.
- ¹⁶ Wypych F. *Quim. Nova* **2002**, *25*, 83. [CrossRef]
- ¹⁷ Notícia do portal BiodieselBr sobre lançamento do processo HBIO pela PETROBRAS. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/destaques/2006/h-bio-novo-diesel-petrobras.htm>>. Acessado em: 20 novembro 2012.
- ¹⁸ Carvalho, M. S.; Lacerda, R. A.; Leão, J. P. B.; Scholten, J. D.; Neto, B. A. D.; Suarez, P. A. Z. *Catal. Sci. Technol.* **2011**, *1*, 480. [CrossRef]

¹⁹ Souza, B. S.; Pinho, D. M.M.; Leopoldino, E. C.; Suarez, P. A. Z.; Nome, F. *Appl. Catal.* **2012**, *433*, 109. [[CrossRef](#)]

²⁰ Kulkarni, M. G.; Sawant, S. B. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **2003**, *105*, 214. [[CrossRef](#)]

²¹ Schneider, R. C. S.; *Dissertação de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2003. [[Link](#)]

²² Alves, M. O.; Coelho J. D.; *Trabalho completo do XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural (SOBER)*, Fortaleza, Brasil 2006. [[Link](#)]