



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA



ESTERIFICAÇÃO DO ÁCIDO LÁURICO CATALISADA POR
ZEÓLITA ZSM-5 SUPORTADA COM PENTÓXIDO DE NIÓBIO.

Bolsista: Thaisa Moreira de Matos, CNPq.

MANAUS

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL
PIB-E/0091/2009

ESTERIFICAÇÃO DO ÁCIDO LÁURICO CATALISADA POR
ZEÓLITA ZSM-5 SUPORTADA COM PENTÓXIDO DE NIÓBIO.

Bolsista: Thaisa Moreira de Matos, CNPq.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ivoneide de Carvalho Lopes Barros

MANAUS
2010

RESUMO

A reação de esterificação do ácido láurico com etanol foi investigada na presença de um catalisador ácido heterogêneo do tipo zeólita ZSM-5 suportada com pentóxido de nióbio (Nb_2O_5), sendo utilizada com uma reação modelo pra obtenção de biodiesel. O catalisador foi preparado pelo método de impregnação aquosa na concentração de 5% em massa de Nb_2O_5 e foi caracterizado por difração de raios-X (DRX) e Espectroscopia no Infravermelho (IV). As condições reacionais foram avaliadas em um sistema de refluxo sob aquecimento de 100 °C e razão molar etanol/ácido igual a 6. A massa de catalisador foi de 10% em relação ao ácido em diferentes tempos reacionais: 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 24 horas. A análise da conversão da reação foi feita através de Cromatografia de Camada Delgada (CCD) e Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN^1H). Os resultados obtidos demonstraram uma melhor conversão do ácido láurico (C12) em relação ao ácido oléico (C18:1), que foi utilizado em reações anteriores, sendo que a melhor conversão do ácido oléico foi de 59,26% e do ácido láurico 63,41%, num tempo de 24 horas de reação utilizando como catalisador Nb(5)ZSM-5.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ESTERIFICAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS LIVRES COMO MODELO DE OBTENÇÃO DE BIODIESEL	
2.1. Reação de Esterificação.....	2
2.2. Catálise Heterogênea.....	3
2.3. Zeólitas	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
3.1. Materiais	
3.2. Preparação do Catalisador	
3.3. Técnicas de Caracterização do Catalisador	
3.4. Testes Catalíticos da Reação de Esterificação	
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1. Caracterização do catalisador:	
4.1.1. Difração de Raios – X (DRX).....	5
4.1.2. Espectrometria no Infravermelho (IV).....	6
4.2. Teste Catalíticos da Reação de Esterificação.....	7
5. CONCLUSÕES.....	10
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11
7. CRONOGRAMA EXECUTADO.....	12

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas catalíticos eficientes na esterificação de ácidos graxos livres presentes nos óleos vegetais ainda é um dos grandes desafios a serem vencidos para obter-se um significativo avanço da tecnologia da produção de biodiesel. A fábrica de biodiesel da Agropalma, operando há mais de dois anos na região norte do Brasil, produz biodiesel apenas por processo de esterificação ao invés da transesterificação. De acordo com Donato Aranda (ARANDA, 2003), com apenas uma etapa de hidrólise antes da esterificação, a matéria prima (óleo ou gordura) é transformada em ácido graxo com mais de 99% de acidez. A etapa da esterificação em presença de catalisador (ácido níobico) tem gerado um biodiesel com menor custo de produção e maior competitividade. Importante frisar que não se emprega catalisador básico, desse modo, a formação de sabão é impossível e todo o material é transformado em biodiesel na presença de um catalisador ácido.

Na esterificação são utilizados, geralmente, ácidos minerais, de baixo custo e relativamente abundante, como o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico, porém estes são corrosivos e poluidores, ou seja, geram resíduos causados pela dificuldade no processo de descarte (Da SILVA, 2005). Devido a estes fatores, a busca de catalisadores ácidos que sejam mais ativos que aqueles tradicionalmente usados tem se tornado objeto de vários grupos de pesquisa. Sendo que, o emprego de catalisadores sólidos ácidos tem se tornado uma maneira de sintetizar esses ésteres de forma menos poluente e corrosiva.

É nesse sentido que o presente projeto propõe o uso de zeólitas do tipo ZSM-5 como catalisador ácido, especialmente porque esses materiais apresentam elevada acidez e grande estabilidade térmica (BRAGA, 2008). E do mesmo modo, possuem uma estrutura que permite a criação de sítios ativos cuja força ácida pode ser controlada de acordo com a aplicação desejada. Além disso, esses sólidos podem ser modificados com o objetivo de aprimorar a atividade e a seletividade catalítica (BARROS *et al*, 2008).

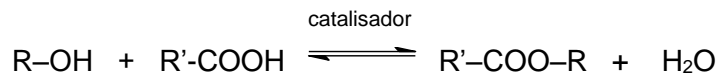
Portanto, este projeto de pesquisa justifica-se pela atual necessidade de se obter novas fontes de energia renovável, como o biodiesel; além da importância de produzi-los utilizando catalisadores heterogêneos.

2. ESTERIFICAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS LIVRES COMO MODELO DE OBTENÇÃO DE BIODIESEL

2.1. REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO

A reação de esterificação de ácidos graxos constitui um dos meios para obtenção de biodiesel. Este que tem se destacado como um combustível alternativo promissor, isto porque tem origem renovável e tem a vantagem de ser menos poluente que o petrodiesel. Além disso, a esterificação direta tem como principal benefício o fato de se dar em uma única operação, e isso a torna um processo relativamente simples.

O biodiesel é constituído por ésteres monoalquilados de cadeia longa, que podem ser obtidos através de transesterificação de óleos vegetais ou pela esterificação de ácidos graxos livres (MEHER, 2006; MBARAKA, 2003). A produção de biodiesel via esterificação, consiste em uma reação química entre ácidos carboxílicos e álcoois. Essa é uma reação orgânica reversível e com total seletividade para éster e água. A água pode ser removida no decorrer do processo e o uso de excesso de um dos reagentes, geralmente o de menor custo, serve como incremento para deslocar o equilíbrio no sentido de formação do éster (OLIVEIRA, 2007), conforme indicado na equação abaixo:



A esterificação é uma reação de condensação, onde a formação da água se dá pela cisão da ligação entre o carbono e o oxigênio da hidroxila do ácido carboxílico e entre o oxigênio e o hidrogênio da hidroxila do álcool. Essa reação em temperatura ambiente é muito lenta, no entanto, os reagentes podem ser aquecidos na presença de catalisadores ácidos convencionais como: H_2SO_4 , HF, H_3PO_4 , HCl, etc. para acelerar o processo (BRAGA, 2008). A esterificação etílica é a mais comum no Brasil, devido o país ser um grande produtor de etanol. Além disso, o etanol apresenta as vantagens de ter origem renovável e de não ser tóxico (OLIVEIRA et al, 2007).

Os ésteres de ácidos graxos derivados de fontes renováveis oriundas de óleos vegetais, tais quais os ácidos láurico (C 12:0), mirístico (C 14:0), palmítico (C 16:0) e oléico (C 18:0), vêm sendo cada vez mais utilizados como combustíveis alternativos por serem mais limpos que os combustíveis derivados do petróleo (MEHER, 2006). O ácido láurico corresponde a um dos ácidos graxos majoritários presente nas oleaginosas amazônicas de tucumã e ucuúba. A reação de esterificação do ácido láurico com etanol, produzindo um monoalquil éster de cadeia longa, pode ser utilizada como um processo modelo para obtenção do biodiesel, podendo contribuir para a obtenção dos parâmetros a serem otimizados nesse processo (REZENDE, 2005).

2.2. CATÁLISE HETEROGÊNEA

As reações de esterificação, em geral, são processadas na presença de catalisadores ácidos, como os ácidos inorgânicos H_2SO_4 , HCl e HF , entre outros. Porém, o problema no uso desses ácidos é que eles são corrosivos e poluidores, isto é, por serem catalisadores homogêneos geram resíduos causados pela dificuldade no processo de descarte (REZENDE, 2005). E, além disso, a utilização de catalisadores homogêneos dificulta a separação do produto da reação do meio reacional.

Assim, uma alternativa para síntese desses ésteres de forma menos poluente e corrosiva é a utilização de catalisadores sólidos ácidos. Utilizando esses catalisadores menos resíduos são formados e há uma fácil separação do produto do meio reacional (CAMPANATI, 2003). Por serem menos poluentes, corrosivos e ecologicamente corretos seria interessante estudar este processo usando catalisadores heterogêneos.

Exemplos de catalisadores sólidos ácidos são os superácidos de zircônia sulfatada, os heteropoliácidos (HPAs), o ácido de nióbio, assim como as zeólitas (HZSM-5, HUSY, HBEA e HMOR); estes são tão ou mais ácidos que os ácidos inorgânicos (DA SILVA, 2000).

2.3. ZEÓLITAS

As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos hidratados que contêm uma estrutura tridimensional com poros uniformes de dimensão comparável à das moléculas orgânicas, dessa forma, elas funcionam como peneiras moleculares (GUINET e RIBEIRO, 2004). As unidades básicas estruturais desses sólidos cristalinos são tetraedros de SiO_4 ou AlO_4^- (LUNA e SCHUCHARDT, 2001). A grande eficiência das zeólitas em catálise se deve a algumas características peculiares desses materiais, elas possuem uma estrutura que permite a criação de sítios ativos, cuja força e concentração podem ser controladas de acordo com a aplicação desejada (BARROS, 2007).

Em relação ao uso em catálise, a acidez é uma das propriedades mais importantes das zeólitas, elas possuem sítios ácidos de Brønsted e de Lewis. A matriz zeolítica pode ser modificada através de várias técnicas, uma delas é a impregnação aquosa (LUNA e SCHUCHARDT, 2001). Essas modificações têm o objetivo de aprimorar o poder catalítico das zeólitas (NOWAK, 2004).

A zeólita ZSM-5 tem sido alvo de grande interesse, devido a sua utilização em diversos processos petroquímicos. A introdução de óxido de nióbio na estrutura da zeólita aumenta a sua capacidade catalítica e térmica (BARROS, 2008; MONTEIRO, 2005). Os óxidos de nióbio também podem ser utilizados como catalisadores (BARROS, 2007), dessa forma, espera-se que a zeólita ZSM-5 suportada com pentóxido de nióbio funcione como um catalisador bifuncional.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

- Zeólita ZSM-5 na forma amoniacal, $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$.
- Complexo oxalato amoniacal de nióbio, $\text{NH}_4[\text{NbO}(\text{C}_2\text{O}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{H}_2\text{O})_n$, Nb_2O_5 em peso: 25%
- Ácido Láurico
- Etanol P. A.

3.2. PREPARAÇÃO DO CATALISADOR

O catalisador zeólita ZSM-5 suportada com Nb_2O_5 foi preparado utilizando o método de impregnação aquosa. Água destilada foi acrescentada a uma mistura sólida do suporte zeolítico com o precursor de Nb. O sistema foi colocado sob agitação e aquecimento em banho de óleo a 80 °C, até a evaporação da água e o sistema resfriou em temperatura ambiente. Após isso, o catalisador, com concentração em massa final de 5% de Nb_2O_5 , foi calcinado a 550 °C/2h e macerado.

3.3. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DO CATALISADOR

As técnicas que foram utilizadas para a caracterização do catalisador de zeólita ZSM-5 modificada com nióbio são:

- Difração de raios-X (DRX). As amostras foram analisadas no difratometro Shimadzu utilizando radiação de cobre.
- Espectroscopia no infravermelho (IV), as análises foram feitas em pastilha de KBr.

3.4. TESTES CATALÍTICOS DA REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO

Testes catalíticos da reação de esterificação do ácido láurico com etanol foram efetuados sob aquecimento e na presença do catalisador previamente ativado a 300 °C. O produto foi separado por filtração e posterior lavagem da fase orgânica. A análise da conversão de ácido láurico a laureato de etila foi feita qualitativamente por Cromatografia de Camada Delgada (CCD) e quantitativamente por Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN^1H), sendo esta feita na Central Analítica do Centro de Biotecnologia da Amazônia (CBA). O estudo da reação de esterificação do ácido láurico foi feito em intervalos de tempo diferentes: 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, para que fosse feito um comparativo do rendimento da reação nos períodos de tempo determinados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO CATALISADOR

4.1.1. Difração de raios – X (DRX)

O catalisador Nb(5)ZSM-5, após ter sido preparado pelo método de impregnação aquosa, foi caracterizado inicialmente por DRX. Primeiro foi analisada a matriz zeolítica pura, NH₄ZSM-5 e os resultados obtidos foram utilizados para se fazer uma comparação com as amostras já modificadas com pentóxido de nióbio. As figuras 1 e 2 mostram os resultados obtidos por difratometria de raios – X.

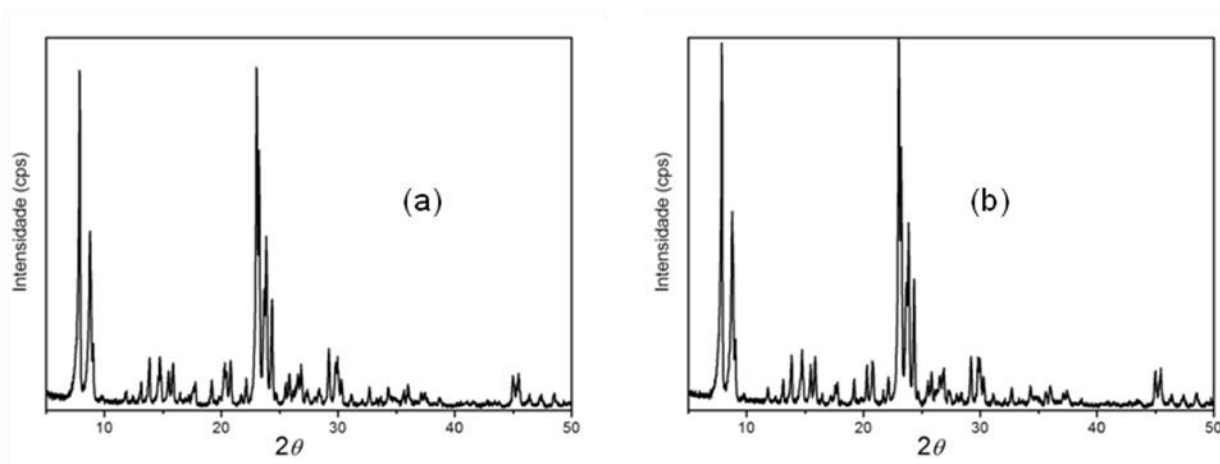


Figura 1. DRX da Zeólita ZSM-5: (a) não calcinada, (b) calcinada a 550°C/2h.

Na Figura 1 está representado o padrão de DRX para a zeólita antes da impregnação com pentóxido de nióbio. O difratograma (a) segue o padrão de difração de raios-X para a zeólita ZSM-5 não calcinada encontrado na base de dados da IZA (International Zeolite Association) (TREACY e HIGGINS, 2001). Pode-se observar que as linhas de difração mais intensas ocorrem próximas a $2\theta = 7,5^\circ$ e 23° . Depois de passar por tratamento térmico (difratograma (b)) foi observado o mesmo padrão de difração da amostra pura, sendo que sob a forma não calcinada a zeólita ZSM-5 apresenta uma simetria ortorrômbica, sendo confirmada pelas reflexões no difratograma.

Já na Figura 2, estão representados os difratogramas do catalisador Nb(5)ZSM-5, não calcinado (a) e calcinado (b).

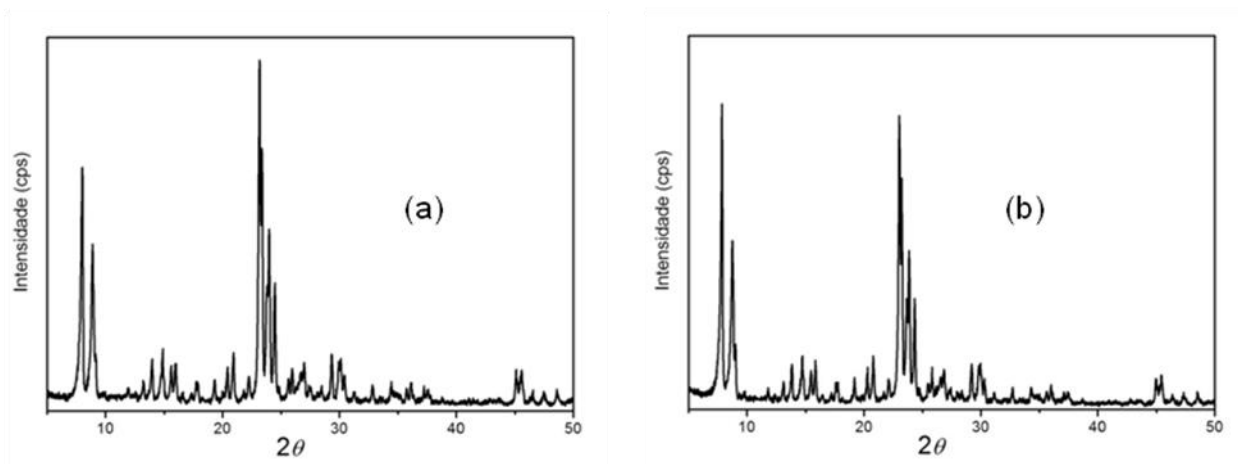


Figura 2. DRX do catalisador Nb(5) ZSM-5: (a) não calcinado, (b) calcinada a 550°C/2h.

Observa-se que não houve variações no padrão de difração da amostra, por exemplo, a linha de difração mais intensa continua sendo em aproximadamente $2\theta=23^\circ$. Isto indica que a introdução de nióbio não alterou a estrutura da zeólita, até porque o pentóxido de nióbio foi impregnado em uma concentração em que não há formação de monocamadas sobre a estrutura zeolítica (BARROS, 2008). Quando a proporção de pentóxido de nióbio se torna maior, a intensidade das linhas de difração em aproximadamente $2\theta=22,6$ e $28,4^\circ$ é aumentada, o que é relativo à fase cristalina do Nb_2O_5 (BARROS, 2007).

4.1. 2. Espectrometria no Infravermelho (IV)

Para a caracterização do catalisador Nb(5)ZSM-5, também utilizou-se a espectrometria de Infravermelho, conforme Figura 3.

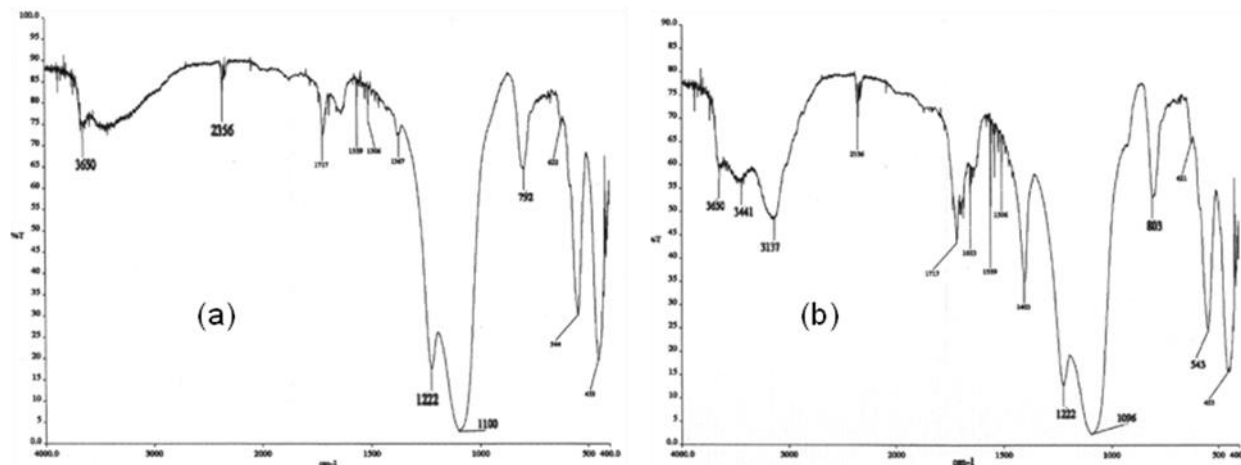


Figura 3. Espectros de IV do catalisador Nb(5) ZSM-5: (a) não calcinado, (b) calcinada a 550°C/2h.

A absorção próxima a 793 cm^{-1} é assinalada ao estiramento simétrico das ligações externas entre os tetraedros e indica, juntamente com as bandas em aproximadamente 450 e 545 cm^{-1} , a

estrutura cristalina completa das zeólitas ZSM-5, confirmando que não houve modificação na estrutura zeolítica.

4.2. TESTES CATALÍTICOS DA REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO

Após o término da reação e posterior lavagem da fase orgânica, os produtos de conversão foram analisados por CCD, para se verificar qualitativamente o andamento das reações nos intervalos de tempo determinados. A análise quantitativa da conversão da reação foi feita por RMN¹H utilizando a seguinte equação:

$$C(\%) = 100 \times \left(\frac{A_{ET}}{A_{CH_2}} \right)$$

Onde, *ET* corresponde ao sinal dos prótons metilênicos do quadrupeto relativo ao grupo O-CH₂ do éster etílico em ≈ 4.12 ppm e *CH₂*, ao sinal do C _{α} ligado à carbonila do ácido (≈ 2.32 ppm) e do éster etílico (em ≈ 2.29 ppm). Assim, são utilizadas as áreas desses sinais para monitorar o rendimento da reação, onde *C* é a porcentagem de conversão do ácido graxo ao éster correspondente; *A_{ET}* e *A_{CH₂}*, o valor de integração dos sinais *ET* e *CH₂*, respectivamente.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos para a reação de esterificação do ácido láurico com etanol, em intervalos de tempo entre 2 e 24 horas, utilizando como catalisador Nb(5)ZSM-5.

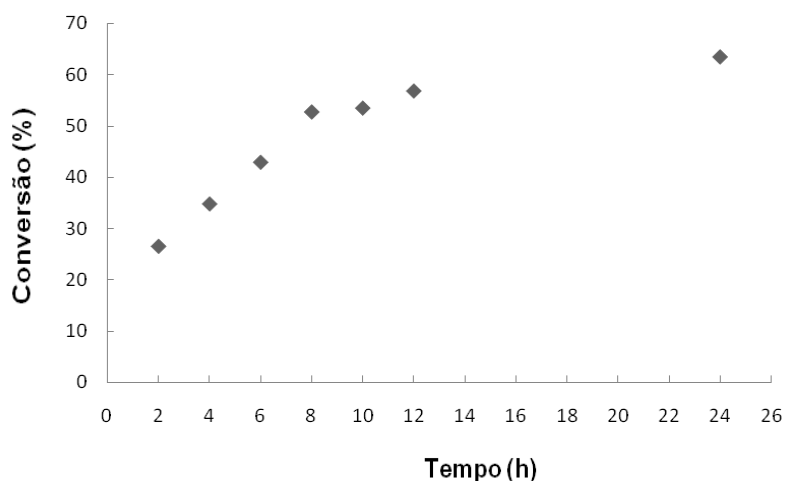


Figura 4. Conversão da reação de esterificação do ácido láurico, usando razão etanol:ácido igual a 6, na presença do catalisador Nb(5)ZSM-5.

O excesso de álcool é utilizado no sentido de aumentar o rendimento do éster, laureato de etila, já que a esterificação é uma reação de equilíbrio, sendo também o álcool o reagente de menor custo. Como pode ser observado no gráfico (Figura 4), com o passar do tempo de reação não houve um aumento significativo na conversão, sendo atingido o maior rendimento no tempo 24 horas (63,41%).

Mas, quando comparado com a esterificação do ácido oléico, um ácido graxo de cadeia mais longa, observa-se uma conversão maior do ácido láurico na maioria das reações, efeito provavelmente decorrente da estereoquímica, já que o ácido láurico apresenta uma cadeia menor (C12) e sem insaturações. Na Figura 5 temos a conversão da reação de esterificação dos ácidos láurico e oléico nas mesmas condições reacionais.

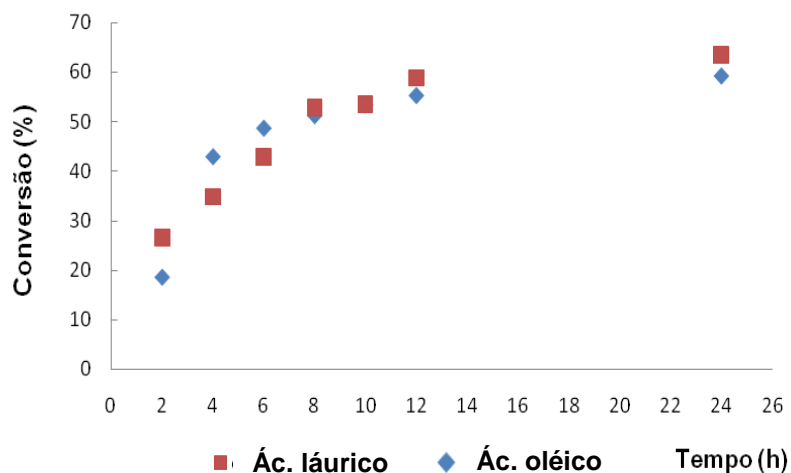


Figura 5. Conversão da reação de esterificação dos ácidos láurico e oléico, usando razão etanol:ácido igual a 6, na presença do catalisador Nb(5)ZSM-5.

No tempo reacional de 24 horas o ácido láurico teve uma conversão de 63,41%, enquanto o ácido oléico apresentou uma conversão inferior igual a 59,26%. Como a zeólita modificada com Nb_2O_5 não apresentou uma conversão satisfatória, ou seja, chegando próximo a 100%, um outro aspecto foi verificado. A zeólita pura, sem modificações, foi utilizada como catalisador na reação de esterificação, nas mesmas condições reacionais, para efeito comparativo.

Com isso, temos na Figura 6, a conversão da reação de esterificação do ácido láurico, agora utilizando como catalisador a zeólita ZSM-5 pura.

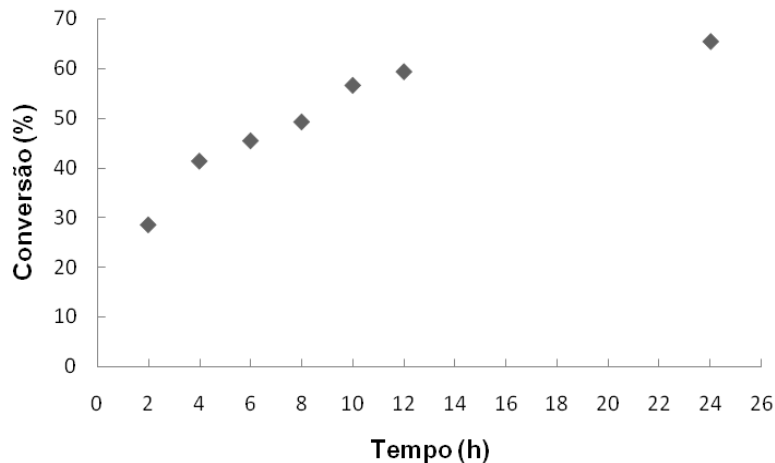


Figura 6. Conversão da reação de esterificação do ácido láurico, usando razão etanol:ácido igual a 6, na presença do catalisador zeólita ZSM-5.

Nesse caso, utilizando como catalisador a zeólita ZSM-5, foi atingida uma conversão superior, chegando ao patamar de 65,5%. Porém, uma melhoria na conversão a ésteres etílicos é muitas vezes obtida por meio da remoção de água no decorrer da reação. Como a zeólita modificada com Nb_2O_5 apresentou uma conversão inferior isso pode ser associado ao impedimento estérico que os ácidos graxos sofrem nos poros da zeólita, assim, o ácido oléico é o mais impedido estericamente por ter uma cadeia maior. Ou até mesmo, a impregnação do pentóxido de nióbio na estrutura da zeólita pode ter diminuído a sua acidez. Sendo que, para a reação de esterificação é necessária utilização de um catalisador bastante ácido.

5. CONCLUSÕES

Utilizando o catalisador Nb(5)ZSM-5 na esterificação do ácido láurico com etanol, o melhor rendimento alcançado foi em um tempo reacional de 24 horas resultando em uma conversão de 63,41%. Esse rendimento não é considerado ideal, já que sempre se procura uma conversão próxima ou igual a 100%. Esse rendimento pode estar associado à diminuição da acidez da zeólita pela impregnação do nióbio e também pela presença de água, formada durante a reação. Dessa forma, poderia se esperar que a zeólita sem modificações apresentasse uma conversão superior, e isso foi o que ocorreu (65,5% em 24 horas de reação). O tamanho das moléculas de ácidos graxos também influenciaram no rendimento da reação, onde os resultados mostraram que o ácido láurico (C12) apresentou uma conversão superior em relação ao ácido oléico (C18:1).

Em estudos futuros, seria interessante a variação de outros parâmetros, além do tempo, para que se possa obter um modelo cinético que descreva essa reação mais adequadamente, especialmente com o uso de um catalisador heterogêneo sólido ácido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANDA, D. A. G. et al. Biodiesel from domestic sewage free fatty acids. In: II International Symposium Green Chemistry, Poitiers, 2003.
- BARROS, I. C. L., dissertação de doutorado: Estudo e Aplicação dos Sistemas ZSM-5 Contendo Nióbio, UnB, Brasília-DF, 2007.
- BARROS, I. C. L. *et al.* Effects of niobium addition on ZSM-5 studied by thermal and spectroscopy methods. *Microporous and Mesoporous Materials*. 109, 485–493, 2008.
- BRAGA, V. S.; BARROS, I. C. L.; GARCIA, F. A.; DIAS, S. C. L. E DIAS J. A. Esterification of Acetic Acid with Alcohol using supported Niobium Pentoxide on Silica-alumino Catalysts. *Catalysis Today*, 133-135, 106-112, 2008.
- CAMPANATI, M.; FORNASARI, G.; VACARRI, A. Fundamentals in the preparation of heterogeneous catalysts. *Catalysis Today*, 77, 299, 2003.
- DA SILVA, M. J. ET AL. Esterificação de Ácidos Graxos em Fase Líquida Catalisada pelo Heteropoliácido $H_3PW_{12}O_{40}$ em Sistemas Homogêneos. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.
- GUINET, M.; RIBEIRO, F. R. Zeólitos : Um nanomundo a serviço da catálise. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.
- LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeólitas para uso em catálise. *Química Nova*, v. 24, p. 885-892, 2001.
- MBARACA, I. K.; RADU, D. R.; LIN, V. S. Organosulfonic Acid Functionalized Mesoporous silicas for the Esterification of Fatty Acids. *Journal of Catalysis*, v. 219, p.329, 2003.
- MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. *Renewable and Sustainable energy Reviews*, 10, 248, 2006.
- MONTEIRO, R. S. *et al.* Biodiesel Metílico e Etílico de palma sobre Ácido Nióbico. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.
- NOWAK, I. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Engineer Aspects*, 103, 241, 2004.
- OLIVEIRA, C. F., et al. Esterificação do Ácido Oléico com Etanol usando $H_3PW_{12}O_{40}$ Suportado em ZrO_2 como Catalisador. La Plata, Argentina, XV Congresso Argentino de Catálisis, 2007.
- REZENDE, M. J. C. *et al.* Avaliação de Catalisador a base de Argila na Produção de Biodiesel. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.

6. CRONOGRAMA EXECUTADO

Nº	Descrição	Ago 2009	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2010	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	- Revisão Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2	- Preparação do catalisador				X	X	X	X					
3	- Testes Catalíticos da reação de esterificação						X	X	X	X			
4	- Elaboração do Relatório Parcial					X							
5	- Análise dos resultados								X	X	X		
6	- Elaboração do Resumo e Relatório Final										X	X	
7	- Preparação da Apresentação Final para o Congresso											X	X