



## EFEITO DO TIPO DE IMPELIDOR NA FORMAÇÃO DOS HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDLs) E NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

RAFAELA GABRIEL<sup>1\*</sup>, POLLYANNA V. DOS S. LINS, SANDRA H. V. DE CARVALHO<sup>1</sup>,  
JOÃO I. SOLETTI<sup>1</sup>, LUCAS MEILI<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

\*e-mail: rafaelagabriel.eng@gmail.com/lucasmeili@gmail.com

**RESUMO** – Os Hidróxidos Duplos lamelares (HDLs) são comumente preparados via coprecipitação a pH variável, mas esse tipo de síntese requer o uso de um aparato experimental com rígido controle de suas variáveis de processo. Os parâmetros de processo e de dimensionamento de reatores devem ser sistematicamente estudados afim de conhecer os fenômenos de transferência de massa e energia fundamentais para a homogeneidade do meio e qualidade das argilas formadas. Este trabalho propõe um estudo sobre a influência do tipo de impelidor e do tempo de envelhecimento na produção das argilas. Os resultados demonstraram diferenças significativas na cristalinidade e tamanho de cristalitos (104,61 - 168,49 nm) dos HDLs. Foi possível ainda, avaliar por meio da variação da conversão em biodiesel de girassol (4,4 a 73,8 %), o impacto dessas variáveis de processo na produção de óxidos mistos produzidos a partir deste HDLs que funcionaram como catalisadores da reação, demonstrando a impacto das variáveis de processo tanto na estrutura quanto na etapa de aplicação dos HDLs.

### INTRODUÇÃO

Há uma grande diversidade de métodos para produção dos HDLs. Dentre estes, pode-se citar os métodos de coprecipitação, síntese hidrotérmica, síntese eletroquímica, hidrólise induzida, método sol-gel, regeneração do precursor calcinado e outros (Crepaldi; Valim, 1998).

Segundo Milagres et al. (2015), a escolha do método é um importante fator para a estabilização da sua estrutura laminar e para a definição das características morfológicas e estruturais das argilas, tais como cristalinidade, porosidade, área superficial e outras.

Nesse sentido, o método de preparação dos HDLs através da coprecipitação a pH variável apresenta maior versatilidade, quanto ao controle das condições operacionais pois, o método requer o uso de reatores ou tanques agitados, também chamados de STR (*Stirred Tank Reactors*) que permitem que seja

realizado rígido controle das variáveis de processo, tais como velocidade de agitação, tipos de impelidores, temperatura, fluxos de entrada de reagentes, entre outros. Além de chicanas, tubos de alimentação e drenagem que em conjunto são responsáveis pela agitação da mistura. Assim a técnica apresenta como vantagem o controle das condições operacionais para alcançar a compostos com boa organização estrutural e pureza de fase que proporcionam maior homogeneidade dos materiais obtidos (Joaquim Junior, et al., 2007; Crepaldi; Valim, 1998; Cachoni 2018, Peiter et al., 2020).

A diversidade de variáveis que compõem os sistemas mecânico de tanques agitados proporcionam um grande número de possibilidades para resolver a necessidade dos problemas de mistura, como no caso da produção dos HDLs. Os fenômenos de transferência de massa, energia e potência podem ser utilizados para entender os mecanismos de formação dos HDLs a partir de



critérios teóricos do efeito de agitação e mistura do fluido racional.

No entanto, apesar de ser relatado na literatura a necessidade de tal aparato experimental, ainda não existe um estudo sistemático da influência dessas variáveis na produção dos HDLs.

O trabalho desenvolvido por Sun et al. (2015) já sinalizavam a necessidade de ampliar os estudos das condições operacionais com a inclusão de outros parâmetros importantes, como taxa de agitação e taxa de adição dos reagentes. Uma vez que os dados reportados pela literatura são escassos quanto a influência das variáveis de processo na definição da qualidade dos HDLs gerados. Geralmente as condições controladas na produção dessas argilas são variáveis relacionadas a própria reação, como são: proporções de cátions trivalente e divalentes, velocidade de adição de uma solução sobre a outra, temperatura da mistura e pH, sendo omissos quando a variáveis de processo (Santos et al. 2008, Florêncio, 2009; Santos; Corrêa, 2011).

Um importante parâmetro de estudo é a definição do tipo de impelidor utilizado no processo de agitação e mistura na preparação das argilas. Nos tanques agitados a energia ao sistema é fornecida através dos impelidores, que devem ser escolhidos com base nas características do fluido, geometria do vaso e da posição relativa de todos os componentes do sistema de agitação. Os impelidores são escolhidos de maneira a fazer com que o líquido percorra determinados caminhos dentro do recipiente, visando a finalidade da agitação desejada. Em geral, os impelidores convencionais podem ser classificados, quanto ao movimento que imprimem ao fluido em agitação (radiais ou axiais) e quanto à forma (hélice, pás, turbina, dentre outros) (Battaglini, 1998).

Outro parâmetro importante é o tempo de mistura, ou seja, o tempo em que a mistura permanece dentro do reator (tempo de envelhecimento). Trata-se de um tratamento hidrotérmico adicional que tem como objetivo conferir alta pureza de fase e adequada organização estrutural do precipitado formado.

A definição dos parâmetros estruturais impacta diretamente nas aplicações dos HDLs. Dentre as possíveis aplicações, podem-se destacar seu uso como catalisador em reações para a produção de biodiesel. Os HDLs apresentam propriedades texturais e básicas atrativas para o campo da catálise heterogênea. A basicidade do catalisador é aprimorada pela formação de carbonatos metálicos mistos, formados a partir de um tratamento de calcinação (Limmanee et al. 2013; Reyes, 2014).

Dada a importância das variáveis de processo mencionados no texto e a ausência desses relatos na literatura, este trabalho investiga o efeito da agitação e mistura na formação dos HDLs e sua consequência na produção de biodiesel de girassol que representa uma de suas aplicações industriais.

## MEDOTOLOGIA

### Descrição do reator

As sínteses dos HDLs de  $MgAl-NO_3$  foram conduzidas em uma unidade piloto composta por reator 1,5 L encamisado para a circulação de água, acoplado a um sistema de controle de temperatura (banho termostático) e de velocidade (agitador mecânico). Foram utilizados dois tipos de impelidores para agitar a mistura: pás inclinadas e turbina, conforme Figura 1.

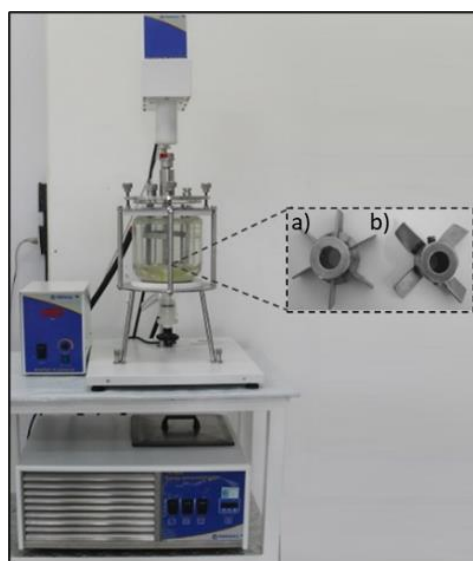


Figura 1: Reator e tipo de impelidores: a) turbina e b) pás inclinadas.



### Condições das sínteses dos HDLs

As condições químicas reacionais foram fixas para todos os ensaios e foram estabelecidas de acordo com Alves (2009). Para produzir os HDLs em uma proporção 1:1 de Mg/Al foram utilizadas duas soluções: uma solução A, contendo 158,87 g de  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  e 117,02 g de  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  em 434 mL de água deionizada e uma solução B composta por 62,00 g de NaOH e 87,57 g de  $Na_2CO_3$  em 700 mL de água deionizada. Inicialmente, a solução B foi gotejada sobre a solução A com auxílio de uma bomba peristáltica a uma taxa constante de 15 mL/min sob temperatura ambiente e velocidade igual a 200 rpm. Em seguida, o gel obtido foi envelhecido a 60 °C por período variável (2 e 18 h) e sob a mesma agitação de 200 rpm.

Após a etapa de síntese, os géis dos HDLs obtidos seguiram para as etapas subsequentes de: a) lavagem, realizada em centrifuga com 3 ciclos de repetição a 2500 rpm; b) secagem, realizada em estufa à 105 °C por 4 horas e, c) maceração e peneiração, para a obtenção de do HDLs em forma de pó com tamanho inferior à 0,425 mm.

A Tabela 1 resume as condições operacionais na produção dos HDLs estudados.

Tabela 1: Condição para a produção dos HDLs.

Amostras	Tipo de impelidor	Tempo (h)
HDL-1	Turbina	2
HDL-2		18
HDL-3	Pás inclinadas	2
HDL-4		18

### Preparação dos óxidos mistos/HDLs

Os HDLs produzidos foram submetidos a processo de calcinação em mufla a 550 °C por 3 horas para a formação dos óxidos mistos correspondentes.

### Difração de Raios-X (DRX)

As análises foram realizadas em um difratômetro de raios-X 6000 SHIMADZU utilizando radiação Cu ( $\lambda = 0,154060$  nm) a 40 kV e 30 mA. Os padrões foram registrados em

uma faixa com ranger de 5 a 70°, com incrementos de 0,02°.

A técnica de Difração de Raios X (DRX) em pó foi utilizada para identificar os parâmetros de rede  $a$  e  $c$ , o espaçamento basal ( $d$ ), a cristalinidade e tamanho do cristalito ( $D$ ) das amostras de MgAl/HDL produzidas no reator de acordo com as variáveis de processo.

O espaçamento basal ( $d_{hkl}$ ) foi determinado de acordo com a Equação de Bragg (1):

$$n\lambda = 2d_{hkl}\text{Sen}\theta \quad (1)$$

Onde,  $n$  é a ordem de reflexão do pico,  $\lambda$  é o comprimento de onda dos raios-X utilizado na análise e  $\theta$  é o ângulo de Bragg determinado pelos picos de difração (003), (006) e (110) obtidos pela análise do gráfico da Figura 2. Desta equação, foram obtidos  $d_{003}$ ,  $d_{006}$  e  $d_{110}$ .

Os parâmetros de rede ( $a$  e  $c$ ) foi determinado com as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$a = 2d_{110} \quad (2)$$

$$c = \frac{3}{2}(d_{003} + 2d_{006}) \quad (3)$$

Onde  $d$  é o espaçamento basal para os picos (003), (006) e (110) calculados pela Equação 1.

O tamanho médio do cristalito foi determinado pela Equação 4, proposta por Scherrer:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos(\theta_B)} \quad (4)$$

Onde,  $k$  representa o fator de forma,  $\lambda$  o comprimento de onda da radiação  $k\text{-}\alpha\text{Cu}$ ,  $\beta$  é largura a meia altura do pico de difração (FWHM) e  $\theta_B$  é o ângulo de Bragg.

### Biodiesel

O biodiesel foi produzido por transesterificação do óleo de girassol, rota metílica. Os reagentes utilizados foram: álcool metílico P.A, óxidos mistos/HDLs e óleo de





girassol. A reação foi realizada com os seguintes parâmetros: razão molar óleo/álcool de 1:15; quantidade de catalisador de 6,0 %, referente a massa de óleo; tempo de reação de 3 h; e, temperatura de 60 °C.

Para óxido misto/HDL que apresentou melhor resultado foi realizado um estudo da quantidade de catalisador (2, 6 e 10 %) sob as mesmas condições reacionais.

### Caracterização do biodiesel

**Conversão:** A conversão dos biodieseis metílicos de girassol foi determinada por cromatografia gasosa, com cromatógrafo marca SHIMADU, modelo CG-Plus, com detector de ionização em chama. Foi utilizada uma coluna de 2,2 m, a pressão de 6 kPa, com temperatura do injetor, detector e coluna de 250, 340 e 50 °C, respectivamente. Cerca de 0,15 g da amostra foi dissolvida em 1 mL de uma solução previamente preparada com 10 mL hexano e 0,08g de trioctanoato de glicerina (tricaprilina). Foi injetado 1 µL desta solução no cromatógrafo, com tempo de retenção de 20 minutos, utilizando como gás de arraste o hidrogênio, nitrogênio e ar sintético. A conversão de triacilglicerídeos à ésteres de biodiesel foi determinada através da normalização da área dos picos gerados nos cromatogramas, e processados pelo pacote computacional LabSolutions da Shimadzu. A conversão em biodiesel foi determinada pela Equação 5, utilizando os valores das áreas dos picos.:

$$\text{Conversão}(\%) = \frac{m_t \times A_s \times f \times 100}{A_t \times m_s} \quad (5)$$

Sendo:  $m_t$ , a massa do padrão interno;  $A_s$ , o somatório das áreas dos picos referentes aos ésteres contidos na amostra;  $f$ , o fator do biodiesel padrão;  $A_t$ , a área do pico referente ao padrão interno; e,  $m_s$ , a massa da amostra.

## RESULTADOS

Para a avaliação das características estruturais dos HDLs, todos os materiais sintetizados foram caracterizados por DRX (Figura 2). De acordo com a figura, há a

formação das reflexões simétricas para os planos (003), (006), (110) e (113), e as reflexões assimétricas para os planos não-basais (012), (015) e (018). A presença destes planos indica a formação de hidróxidos duplos lamelares (estrutura de dupla camada) em todas as condições de processo utilizadas.

Observa-se ainda que os perfis dos picos apresentam diferenças entre si, com claras alterações de altura e largura, essas diferenças são indicativas da variação da estrutura cristalina entre os materiais. A presença de picos estreitos e intensos sugere que os hidróxidos foram sintetizados com alto grau de cristalização e, a simetria e nitidez relativa dos reflexos indicam a ausência de falhas de empilhamento (Carvalho, 2019).

É possível perceber que estas características estão associadas os efeitos de otimização das variáveis de processo (tipo de impelidor e tempo envelhecimento). O material que apresentou melhor cristalinidade foi o material produzido empregando impelidor tipo turbina e maior tempo de envelhecimento (18 horas) que corresponde ao HDL 2.

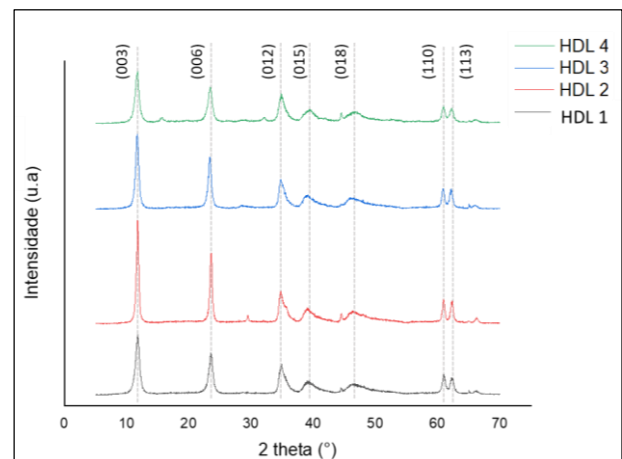


Figura 2: Difratograma de Raios-X dos HDLs.

A Tabela 2 apresenta a relação entre os planos cristalinos, os parâmetros de rede e o tamanho do cristalito obtidos para os materiais produzidos identificados na análise de DRX.

A primeira análise demonstra que os resultados dos parâmetros de rede ( $a$  e  $c$ ) e do espaçamento basal ( $d_{003}$ ) indicam a formação de um arranjo cristalino do tipo 3-R (simetria romboédrica) com valores próximos aos



relatados em outros estudos. Os estudos realizados por Reis (2009) confirmam a formação de arranjo cristalino tipo 3-R a partir dos valores aproximados dos parâmetros, dados a seguir:  $d = 7,60$ ,  $a = 3,04$  e  $c = 22,7$ .

Outro dado de grande relevância é a estimação do tamanho do cristalito ( $D$ ). Os

materiais HDL 2 e 3 apresentaram maior tamanho do cristalito e correspondem aos que apresentaram melhor cristalinidade, enquanto os HDLs que apresentaram menores tamanho de cristalitos foram também os materiais menos cristalinos (Figura 2)

Tabela 2: Dados da Difração de Raio – X.

HDL	Espaçamento Basal (Å)	Parâmetros de rede (Å)		Tamanho do cristalito (nm)
	$d_{003}$	$a$	$c$	$D$
HDL1	7,53	3,04	22,60	104,61
HDL2	7,53	3,05	22,60	168,49
HDL3	7,49	3,03	22,56	128,12
HDL4	7,52	3,04	22,58	105,04

Para a produção do biodiesel, todos os materiais foram calcinados. O processo de calcinação controlada leva à formação de óxidos mistos. O difratograma dos HDLs calcinados (Figura 3) mostra as fases (amorfas) típicas para MgO ou provável solução sólida de magnésia-alumina (íons alumínio dispersos na rede de MgO):  $37,0$ ;  $43,0$  e  $62,5^\circ$  (Hajek et al, 2015).

No entanto, além das linhas típicas dos óxidos mistos, os materiais produzidos a partir dos HDL 3 e 4 utilizando impelidor tipo pás inclinadas apresentaram sinais que pode indicar formação de outras fases metálicas ( $31,82$ ;  $45,52$  e  $56,52^\circ$ ). O aparecimento de uma fase atípica também foi mencionado no trabalho de Reyes (2014). Os autores correlacionaram esta fase à  $Na_2O$  que aparece nos difratogramas em  $2\theta$  (graus) =  $29,4$ .

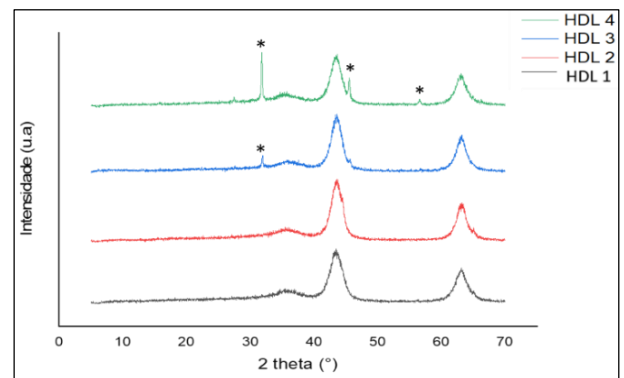


Figura 3: Difratograma de Raios-X dos óxidos mistos/HDLs.

A Tabela 3 mostra a conversão em biodiesel em cada caso e as condições operacionais utilizadas na produção dos HDLs, precursores dos óxidos mistos utilizados como catalisadores.

Tabela 3: Conversão em biodiesel utilizando óxidos mistos/HDLs

Amostra	Tipo de impelidor	Tempo (h)	Conversão (%)
HDL 1	Turbina	2	4,4
HDL 2		18	41,0
HDL 3	Pás	2	39,6
HDL 4	inclinadas	18	73,8



Neste caso, fica evidente a influência do tipo de impelidor. A conversão em biodiesel de girassol aumentou significativamente ao ser utilizado o impelidor tipo pás inclinadas na produção dos HDLs. Uma análise mais detalhada, demonstra que para o tempo de 2 horas de envelhecimento, ao alterar o impelidor de turbina para pás inclinadas, a conversão aumentou de 4,4 para 39,6 %. E para o tempo de 18 horas, a conversão também aumentou de 41,0 para 73,8 %. Sugere-se que o uso do impelidor tipo pás inclinadas causou melhor homogeneidade do meio, produzindo sólidos com características estruturais melhoradas. Este resultado está de acordo com PAUL et al. (2004) que relata que o impelidor tipo pás inclinadas é indicado para misturas onde há suspensão de sólidos.

Nos ensaios 3 e 4, foi utilizando somente pás inclinadas e a conversão aumento com o tempo. Para o tempo de 2 horas, a conversão alcançada foi de 39,6 % e para o tempo de 18 horas, foi de 73,6 %. Os ensaios utilizando impelidor tipo turbina seguiram a mesma tendencia de aumento da conversão com o tempo.

Assim, demonstrou-se que tanto o tipo de impelidor quanto o tempo de envelhecimento influenciam na conversão em biodiesel e também na estrutura dos óxidos mistos/HDLs comprovado pela formação das fases típicas (magnésia-alumina) e atípicas (outras fases metálicas). Sugere-se ainda que o aparecimento dessas outras fases metálicas, em função das condições de processo empregado na produção dos HDLs, tenha contribuído com o aumento da conversão em biodiesel de girassol conforme análise dos dados da Tabela 3 e Figura 3.

Sendo assim, é possível inferir que as variáveis de processo alteram a estrutura dos HDLs, que por sua vez interferem na formação dos óxidos mistos e na aplicação das argilas.

A fim de ampliar o estudo dos óxidos mistos/HDLs, o óxido misto produzido a partir do HDL 4 foi utilizado para estudar a influência da quantidade de catalisador na conversão em biodiesel, conforme a Tabela 4. Como mostra a tabela 4, os biodieseis de girassol foram preparados empregando-se 2, 6 e 10 % de catalisador (óxidos mistos), respectivamente. O

melhor rendimento foi alcançado com 6% de catalisador, enquanto um que o menor ocorreu quando foi utilizado 10 % de óxido misto/HDLs.

Tabela 4: Avaliação da quantidade de catalisador óxidos mistos/HDL4 na conversão do biodiesel

Catalisador (% mássica)	Conversão (%)
2	11,3
6	73,8
10	4,7

Com um aumento de 2 para 6 % de catalisador, houve um aumento na conversão de biodiesel. Esse aumento pode ser justificado pelo aumento da disponibilidade de sítios ativos na superfície dos catalisadores. Nos óxidos mistos os sítios ativos são definidos pela basicidade dos HDLs percussores. Os HDLs calcinados são formados por locais de baixa ( $\text{OH}^-$  grupos), médio (pares Mg-O) e forte ( $\text{O}_2^-$  ânions) basicidade (Di Cosimo et al., 1998). Logo a aumento da disponibilidade de locais básicos na superfície dos catalisadores podem justificar o aumento na conversão em biodiesel. No entanto, quando aumentou de 6 para 10 % a quantidade de catalisador, houve uma diminuição da conversão. Neste caso também houve o aumento da disponibilidade de sítios básicos, mas também foi observado um aumento da viscosidade do meio reacional devido a maior quantidade de catalisador o que pode ter prejudicado o acesso dos triglicerídeos (óleo de girassol) aos sítios ativos.

Portanto, os resultados demonstram que a conversão em biodiesel não é proporcional à quantidade de catalisador. E que para as condições reacionais desse estudo (razão molar óleo/álcool de 1:15, 6% de catalisador, tempo de 3 h e temperatura de 60 °C), deve haver um ponto ótimo que leve a maior conversão em biodiesel de girassol compreendido entre 2 e 10 %.





## CONCLUSÃO

A interação das variáveis de processo influenciou significativamente no processo de agitação e mistura provocando mudanças estruturais nos HDLs produzidos. As alterações estruturais alteraram também os óxidos mistos derivados dos HDLs que causaram diferença significativas na sua atividade como catalisador da reação para a produção de biodiesel de girassol. Os melhores catalisadores foram aqueles produzidos empregando-se impelidor tipo pás inclinadas e tempo de envelhecimento de 18 horas, sendo alcançada uma conversão de até 73,8 %. Outra parte do estudo demonstrou que a quantidade de catalisador influencia na conversão em biodiesel. Para esse estudo foram testadas 2, 6 e 10 % de óxidos mistos, sendo a quantidade de 6 % (em massa) o melhor cenário para a conversão.

## REFERÊNCIAS

- BATTAGLINI, N. M. P. (1998), Avaliação do comportamento de impelidores especiais em misturas de fluidos. FCA/Unesp - Botucatu - SP, 133 p. (tese de doutorado).
- CACHONI, M. A. (2018), Análise da influência da geometria e das condições de operação de um reator piloto agitado aplicado à processos de esterificação e polimerização com uso de CFD. IPT - São Paulo - SP, 134 p. (dissertação de mestrado).
- CARVALHO, K. A. (2019), Síntese, caracterização e aplicação do híbrido hidrotalcita/ hidroxiapatita na adsorção de metais. PPGCN/ UERN – Mossoró - RN, 137 p. (dissertação de mestrado).
- CREPALDI, E. L.; VALIM, J. B. (1998), Hidróxidos duplos lamelares: síntese, estrutura, propriedades e aplicações. Química nova, Vol. 21, p. 300-311.
- DI COSIMO, J. I., DIEZ, V.K., XU, M, IGLESIA, E., APESTEGUIA, C.R. (1998), Structure and Surface and Catalytic Properties of Mg-Al Basic Oxides. Journal of Catalysis, Vol. 178, p. 499–510.
- FLORENCIO, R.S. (2009), Síntese e caracterização de hidróxidos duplos lamelares para remoção de nitrato. PPGG/UFPA – Belém – PA, 82p. (dissertação de mestrado).
- JOAQUIM JUNIOR, C. F.; CEKINSKI, E.; MUNHEZ, J. R; URENIA, L. C. (2007), Agitação e mistura na indústria. Ed. LTC.
- HÁJEK, M., KUTALEK, P., SMOLKOVA, L., TROPPOVA, I., CAPEK, L., KUBICKA, D., KOCIK, J., THANH, D.N. (2015), Transesterification of rapeseed oil by Mg – Al mixed oxides with various Mg/Al molar ratio. Chemical Engineering Journal, Vol. 263, p. 160–167.
- LIMMANEE, S., NAREE, T., BUNYAKIAT, K., NGAMCHARUSSRIVICHAI, C. (2013), Mixed oxides of Ca, Mg and Zn as heterogeneous base catalysts for the synthesis of palm kernel oil methyl esters. Chemical Engineering Journal, vol. 225, p. 616–624.
- MILAGRES, L. M. (2015) Preparo e avaliação do hidróxido duplo lamelar de cálcio e alumínio na remoção de cobre(II), níquel(II), zinco(II) e cromo(VI) de solução aquosa. PPAG/UFV – Viçosa – MG, 94p. (dissertação de mestrado).
- PAUL E. L., ATIEMO-OBENG, V. A., KRESTA, S. M. (2004) Handbook of industrial mixing science and practice. Editora John Wiley & Sons, Inc.
- PEITER, A. S., LINS, P. V.S., MEILI, L., SOLETTI, J.I., CARVALHO, S.H.V., PIMENTEL, W.R.O., MENEGHETTI, S.M.P. (2020), Stirring and mixing in ethylic biodiesel production. Journal of King Saud University - Science, Vol. 32, p. 54–59.
- REIS, M. J. (2009), Síntese e caracterização de hidróxidos duplos lamelares preparados na presença de polímeros orgânicos ou com macromoléculas intercaladas. PPGQ/USP - Ribeirão Preto – SP, 111p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de São Paulo.
- REYES, I. C. et al. (2014), Transesterification of canola oil catalyzed by calcined Mg – Al hydrotalcite doped with nitratine.



Chemical Engineering Science, Vol. 119,  
p. 174–181.

SANTOS, S.S; CORRÊA, J.A.M; MARTINS,  
T. A. (2008), Síntese de hidróxidos  
duplos lamelares do sistema CuZnAlCO<sub>3</sub>.  
Congresso Brasileiro de Química.

SANTOS, S. S.; CORRÊA, J. A. M. (2011),  
Síntese de hidróxidos duplos lamelares  
do sistema Cu, Zn, Al-CO<sub>3</sub>: propriedades  
morfológicas, estruturais e  
comportamento térmico (Synthesis of  
layered double hydroxides of the Cu, Zn,  
Al-CO<sub>3</sub> system: morphological and  
structural properties and th. Cerâmica,  
Vol. 57, p. 274–280.

SUN, X.; NEUPERGER, E.; DEY, S. K.  
(2015), Insights into the Synthesis of  
Layered Double Hydroxide (LDH)  
Nanoparticles: Part 1. Optimization and  
Controlled Synthesis of Chloride-  
Intercalated LDH. Journal of colloid and  
interface science, Vol. 459, p. 264–272.