

## **SUSTENTABILIDADE DE HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES DE $Mg_xAl-CO_3$ , X= 2 E 3: AVALIAÇÃO DE CUSTO.**

Lucas Vieira de Souza<sup>1</sup>  
João Mario Neto Brito<sup>2</sup>  
Rayane Souza Soares<sup>3</sup>  
Luiza Cristina de Moura<sup>4</sup>  
Jussara Lopes de Miranda<sup>5</sup>

### **Química Ambiental**

#### *Resumo*

Atualmente existem diversos materiais que podem desempenhar várias funções em nossa sociedade, sendo um deles o Hidróxido Duplo Lamelar (HDL) que possui diversas aplicações, como por exemplo, no tratamento de água e na captura de gases estufa. Com isso, é necessário realizar a avaliação energética e econômica de sua produção de forma a estudarmos seu custo com matérias-primas, transporte e energia. Logo, o objetivo deste trabalho é realizar a avaliação energética e econômica da produção de Hidróxidos Duplos Lamelares de  $Mg_xAl-CO_3$ ,  $x=2$  e  $3$  obtidos pelo método de coprecipitação produzidos com pH não controlado e a pH 8,5, de forma a destacar as principais contribuições para seu custo e consumo de energia relacionados a sua síntese. Por meio deste estudo, nota-se a maior contribuição para o custo da síntese são os sais de nitrato, por serem importados e necessitarem de um alto grau de pureza, seguido pelo consumo de energia. Logo, de forma a torná-lo economicamente mais atraente e sustentável, melhorias em relação ao projeto precisam ser tomadas de forma a baratear sua síntese, além disso uma maior eficiência energética dos equipamentos utilizados na síntese junto ao desenvolvimento de uma matriz energética mais limpa contribuiria benéficamente ao processo e ao ambiente.

**Palavras-chave:** HDL; Coprecipitação; Impacto; Hidrotalcita.

---

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas, UFRJ, departamento de química inorgânica, lvsouza1999@gmail.com.

<sup>2</sup>Aluno do Curso de Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas, UFRJ, departamento de química inorgânica, joamarioneto.brito@gmail.com.

<sup>3</sup>Aluna do Curso de Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas, UFRJ, departamento de química inorgânica, rayanesouzasouares55@gmail.com.

<sup>4</sup>Prof. Dr. UFRJ – Departamento de Química Inorgânica, lcmoura@acd.ufrj.br

<sup>5</sup>Prof. Dr. UFRJ – Departamento de Química Inorgânica, jussara@iq.ufrj.br

## INTRODUÇÃO

Os Hidróxidos Duplo Lamelares (HDL), também conhecidos como argilas aniônicas, são compostos que possuem diversas aplicações em nossa sociedade, inclusive aplicações voltadas para a conservação do meio ambiente como por exemplo na captura de gases estufa, no tratamento de gases e na produção de hidrogênio, sendo este utilizado para produção de energia (GAINI, 2009; LIN, 2015). Tanta aplicabilidade desses materiais se justifica por propriedades vantajosas, com os HDL possuindo alta área superficial, alta estabilidade térmica e química, uma grande quantidade de sítios básicos que são fundamentais para a adsorção de CO<sub>2</sub>, além de serem compostos bastante baratos de serem produzidos e estão altamente disponíveis no mercado (BUKHTIYAROVA, 2019; BHATTA, 2015).

Os HDL são materiais semelhantes à hidrotalcita, formado por lamelas constituídas por uma mistura de cátions di e trivalentes, e intercaladas com ânions. Com isso, as sínteses desses materiais podem ser realizadas com diversas opções de cátions e ânions, sendo utilizada a seguinte fórmula geral para identificar a composição desses materiais:  $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+}A^{m-}_{x/m} \cdot nH_2O$ , sendo M<sup>2+</sup> referente ao cátion divalente (Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, etc.), M<sup>3+</sup> ao cátion trivalente (Al<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, etc.), A<sup>m-</sup> ao ânion intercalado (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, etc.) e x referente a razão molar entre os cátions utilizados M<sup>2+</sup>/M<sup>3+</sup> (MOURA, 2001).

No entanto, mesmo apresentando ótimas características e sendo um bom candidato para inúmeras funções, é necessário avaliar a sustentabilidade dos HDL. Logo, este trabalho tem como objetivo a avaliação energética e econômica da produção de HDL de Mg<sub>x</sub>Al-CO<sub>3</sub> nas razões molares de 2 e 3, pelo método de coprecipitação, mantendo o pH constante em 8,5 ou não o controlando.

## METODOLOGIA

Os HDL foram obtidos pelo método de coprecipitação, que consiste na adição de uma solução de metais di e trivalentes, com Mg<sup>2+</sup>/Al<sup>3+</sup> = 2 e 3, em uma solução alcalina de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, sendo realizada a pH não controlado e a pH 8,5.

Realização



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sul de Minas Gerais  
Campus Muzambinho



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sudeste de Minas Gerais  
Campus Santos Dumont

Apoio Institucional

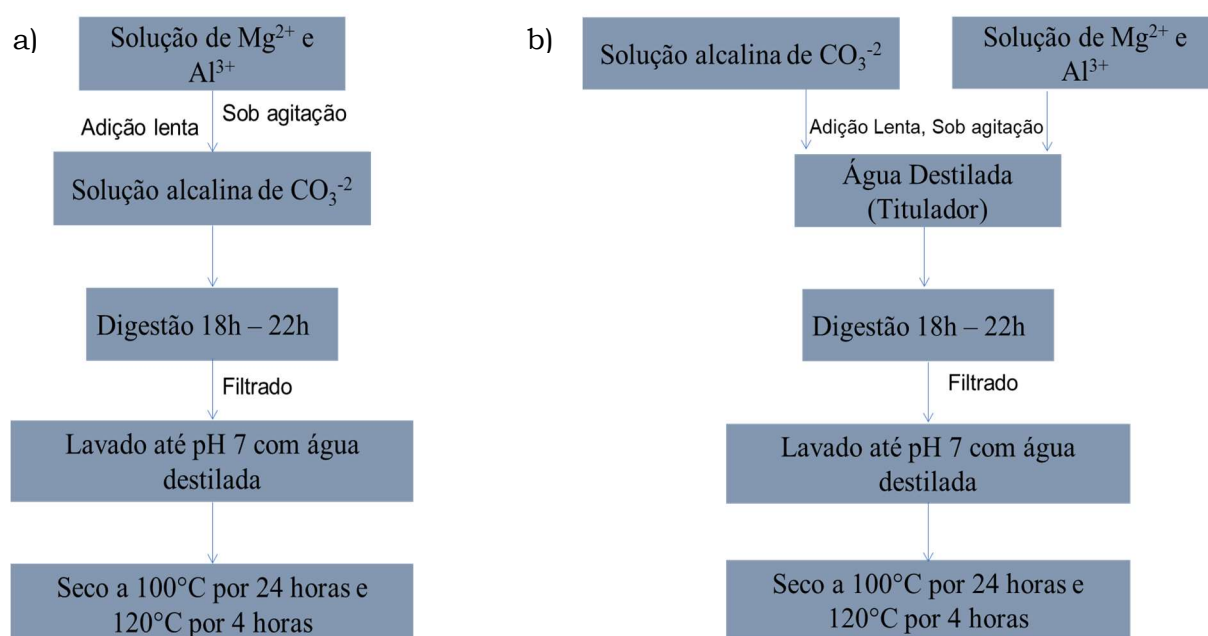


- **Síntese a pH não controlado**

Foi adicionada lentamente e sob agitação uma solução de  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  e  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  em uma solução de NaOH e  $Na_2CO_3$ . Em seguida, a mistura é posta em digestão por 18 a 22 horas a  $76^\circ C$ , filtrada, lavada até pH 7 com água destilada e seca a  $100^\circ C$  por 24 horas seguidas por 4 horas a  $120^\circ C$  (Fig. 1a).

- **Síntese a pH 8,5**

Em pH 8,5, a solução de NaOH e  $Na_2CO_3$  é adicionada simultaneamente a solução de nitratos com o auxílio de um titulador automático para que o pH desejado seja mantido, sendo feita esta adição de forma lenta e sob agitação. Após a adição, o método segue as mesmas etapas que a síntese em pH não controlado (Fig. 1b).



**Figura 1:** Fluxograma das sínteses dos HDL  $Mg_xAl-CO_3$ : a) pH não controlado b) pH 8,5.

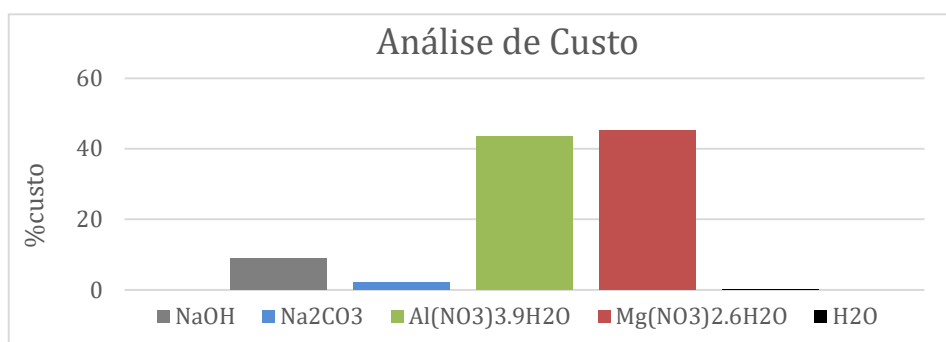
- **Avaliação de Custo**

Para avaliarmos o impacto econômico que a metodologia utilizada causa, utilizou-se dados da base Ecoinvent 3.7v, a qual apresenta dados da indústria brasileira e internacional.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

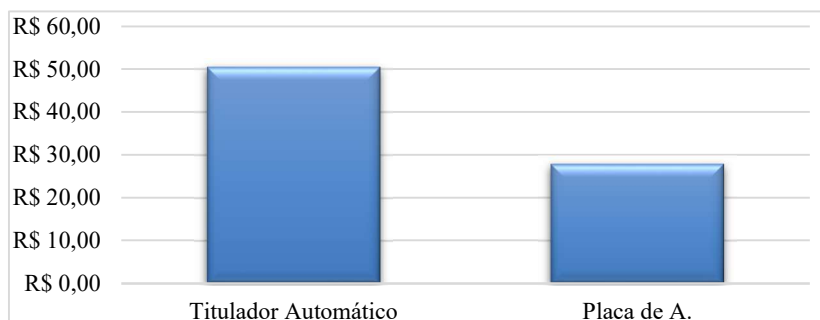
Foram gerados resultados sobre o custo de reagentes ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $Al(NO_3)_3$ )

.  $9H_2O$ ,  $NaOH$  e  $Na_2CO_3$ ) e água para a produção de HDL (Fig 2). O gráfico apresentado na Figura 2 demonstra a elevada participação dos sais de nitrato utilizados no custo de produção do HDL. Isso é observado devido ao fato desses materiais serem importados e demandarem alto grau de pureza, sendo necessário considerar custos de transporte, que geralmente é realizado por navios e assim gerando o consumo de óleo combustível que são poluentes, e o investimento em equipamentos mais sofisticados para atender as demandas de pureza dos sais.



**Figura 2:** Análise de custo dos reagentes na síntese dos HDL

Do ponto de vista energético, a principal diferença é a utilização do titulador automático na etapa de precipitação. Desta forma, o emprego deste equipamento contribui com o acréscimo de 45% no custo comparado com o procedimento que apenas usou da placa de aquecimento. Este custo está relacionado com o valor da energia no Brasil, onde com a recente crise hídrica, houve a necessidade do uso de energia a partir de usinas termoeletricas que além de serem mais caras utilizam combustíveis fósseis como matéria prima (Fig. 3).



**Figura 3:** Custo da energia utilizada nas sínteses em pH 8,5 e não controlado

## CONCLUSÕES

Os Hidróxidos Duplos Lamelares possuem propriedades vantajosas para a sua aplicação em diversas frentes de defesa ao meio ambiente. Contudo, de forma a torná-lo economicamente mais atraente e sustentável, melhorias em relação a aquisição de seus reagentes para sua extração, refino e transporte são necessárias de forma a baratear esse processo, além do aumento da eficiência energética dos equipamentos utilizados na síntese junto ao desenvolvimento de uma matriz energética mais limpa contribuiria benéficamente ao processo e ao ambiente.

## REFERÊNCIAS

- BHATTA, L. K. G. *et al.* Progress in hydrotalcite like compounds and metal-based oxides for CO<sub>2</sub> capture: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 171-196, 2015.
- BUKHTIYAROVA, M. V. A review on effect of synthesis conditions on the formation of layered double hydroxides. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 269, p. 494-506, 2019.
- CREPALDI, Luis Eduardo; VALIM, João Barros. Hidróxidos duplos lamelares: síntese, estrutura, propriedades e aplicações. **Química Nova**, Ribeirão Preto, v. 3, n. 21, p. 300-311, 1997.
- GAINI, L. El *et al.* Removal of indigo carmine dye from water to Mg–Al–CO<sub>3</sub>-calcined layered double hydroxides. **Journal of Hazardous Materials**, v. 161, n. 2-3, p. 627-632, 2009.
- LIN, Xingyi *et al.* Carbon dioxide reforming of methane over Ni catalysts prepared from Ni–Mg–Al layered double hydroxides: influence of ni loadings. **Fuel**, v. 162, p. 271-280, dez. 2015.
- MENDES, Natalia Crespo *et al.* Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2015.
- MOURA, Luiza Cristina de. **Intercalação de Polioxometalatos em Hidróxidos Duplos Lamelares**. 2001. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química Inorgânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- RADHA, S.; NAVROTSKY, A. Energetics of CO<sub>2</sub> Adsorption on Mg–Al Layered Double Hydroxides and Related Mixed Metal Oxides. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 118, n. 51, p. 29836-29844, 2014.
- ROCHA, Cláudio *et al.* Doping of hydrotalcite-based sorbents with different interlayer anions for CO<sub>2</sub> capture. **Separation And Purification Technology**, v. 235, p. 116140, 2020.

Realização



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sul de Minas Gerais  
Campus Muzambinho



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sudeste de Minas Gerais  
Campus Santos Dumont

Apoio Institucional

