

**Investigação do potencial catalítico do lodo de estação de tratamento de água**

/

**Investigation of catalytic potential of water treatment station**

DOI:10.34117/bjdv5n10-202

Recebimento dos originais: 20/09/2019

Aceitação para publicação: 16/10/2019

**Gean Carlos Costa e Costa**

Acadêmico de Engenharia Química, bolsista de Iniciação Científica

Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Avenida General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 1200 - Coroadó, Manaus – AM,  
Brasil

E-mail: geancarloscostaecosta@gmail.com

**Cristiane Daliassi Ramos de Souza**

Doutora Química pela Universidade Federal do Amazonas

Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Avenida General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 1200 - Coroadó, Manaus – AM,  
Brasil

E-mail: cdaliassi@yahoo.com.br

**RESUMO**

O processo de tratamento de água para consumo, embora fundamental, traz consigo consequências para o ecossistema. O lodo residual gerado nas estações de tratamento é despejado no meio sem receber o devido tratamento, proporcionando consequentes danos ao ecossistema de descarte. Tal resíduo também proporciona riscos à saúde humana devido à presença de microrganismos patogênicos, metais pesados e matéria orgânica. A pesquisa tem como objetivo um estudo da caracterização do lodo estação de tratamento de água visando seu aproveitamento em processos catalíticos. Foram utilizadas as técnicas analíticas de EDXRF, DRX, análise imediata e FTIR. Os resultados mostraram um elevado teor de umidade tornando necessário efetuar tratamento no lodo de ETA para aplicação em combustão direta. Foi identificado também um elevado teor de cinzas indicando alta concentração de materiais inorgânicos como Sílica e Alumina, confirmados por DRX e FTIR, sendo identificada uma composição mineralógica de caulinita e quartzo que dá ao resíduo de ETA um potencial para aplicação e processos catalíticos após tratamento adequado.

**Palavras-chave:** Lodo de ETA, caracterização, catálise**ABSTRACT**

The process of treating drinking water, although fundamental, has consequences for the ecosystem. Residual sludge generated at treatment plants is discharged into the environment without proper treatment, resulting in damage to the disposal ecosystem. Such residue also poses risks to human health due to the presence of pathogenic microorganisms, heavy metals and organic matter. The research aims to study the characterization of the sludge water treatment plant aiming its use in catalytic processes. Analytical techniques of EDXRF, XRD, immediate analysis and FTIR were used. The results showed a high moisture content making it necessary to perform treatment in the ETA

sludge for direct combustion application. A high ash content was also identified indicating high concentration of inorganic materials such as Silica and Alumina, confirmed by XRD and FTIR, and a mineralogical composition of kaolinite and quartz was identified that gives the ETA residue a potential for application and catalytic processes after proper treatment. .

**Keywords:** ETA sludge, characterization, catalysis

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de tratamento da água é o responsável por garantir a sua qualidade. Durante a coagulação ocorre a geração de resíduo denominado lodo, o qual apresenta em sua composição: matéria orgânica, metais pesados e, segundo Amâncio et al (2017), microrganismos patogênicos. Conforme a NBR 10.004/2004, o lodo de ETA (LETA) é classificado como um resíduo sólido não inerte, se enquadrando em classe II-A. Kloc e Laird (2017) citam que o lodo apresenta características inorgânicas, logo se mostra pouco biodegradável além de ser insolúvel, classificado como fluido não-newtoniano.

Segundo Oliveira et al (2004) e Araujo et al (2015), foram verificados picos de caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), sílica ( $\text{Si}_2\text{O}_2$ ) e gibsitita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) por meio de análise de DRX. De acordo com os autores, a composição química do lodo de ETA é composta por  $\text{Si}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  os quais correspondem a cerca de 80%.

Noval et al (2016) fala sobre a catálise heterogênea como uma alternativa econômica e estratégia tecnológica quanto aos processos produtivos, garantindo assim uma competitividade. Esses materiais apresentam ampla aplicabilidade, desde processo de produção de biodiesel a sínteses orgânicas. Uma possibilidade de novos catalisadores, é o uso de argilas que apresentam elevada área superficial, pois são propriedades relevantes para a catálise (NYCULYSHYN et al., 2012).

Conforme os trabalhos Oliveira et al (2004) e Araujo et al (2015), o lodo de ETA pode ser considerado um material com características argilosas, portanto Esta pesquisa surge com o objetivo de propor uma nova rota tecnológica para a aplicação do lodo residual das estações de tratamento de água contribuindo, posteriormente, para um processo de purificação de água bruta o qual tenha como base os três pilares do desenvolvimento sustentável (processo economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente correto) e, junto a isso, sua aplicação em processos catalíticos após um tratamento adequado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo foi coletado nos decantadores da ETA, no bairro Mauazinho, durante a etapa de limpeza dos mesmos, em Manaus-AM. O material foi submetido à secagem em estufa à 105°C por até 9 horas. Em seguida foi triturado e separado em diferentes granulometrias, em tamisador Bertel a 60 rpm por 15 minutos. O material foi caracterizado por Análise Térmica em um equipamento SDT

Q600 da Ta Instrument, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, da temperatura ambiente até 950°C, com fluxo de gás N<sub>2</sub> de 30 mL/min. As características físico-químicas foram obtidas pela Análise Imediata com base na norma NBR 8112 (ABNT, 1986). Para o cálculo do Poder Calorífico Superior foi empregada a equação, segundo Parikh (2005).

A composição foi determinada via e Fluorescência de Raios – X por Energia dispersiva (EDXRF), equipamento Panalytical® modelo Epsilon 3-X, no laboratório de ensaios físico-químicos (FT/UFAM), em condições adequadas de operação. A Difração de Raios-X (DRX) realizada em difratômetro EMPYREAN® no laboratório de materiais (LabMat/FT/UFAM). Utilizou-se também Espectrofotometria de absorção no Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) em um equipamento Shimadzu® modelo IRAffinity, com varredura de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup> e resolução de 2 cm<sup>-1</sup>. A verificação da porosidade foi feita por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em um equipamento OXFORD instrument®, modelo XAC, com stubs de alumínio e metalizadas para a captura das imagens.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

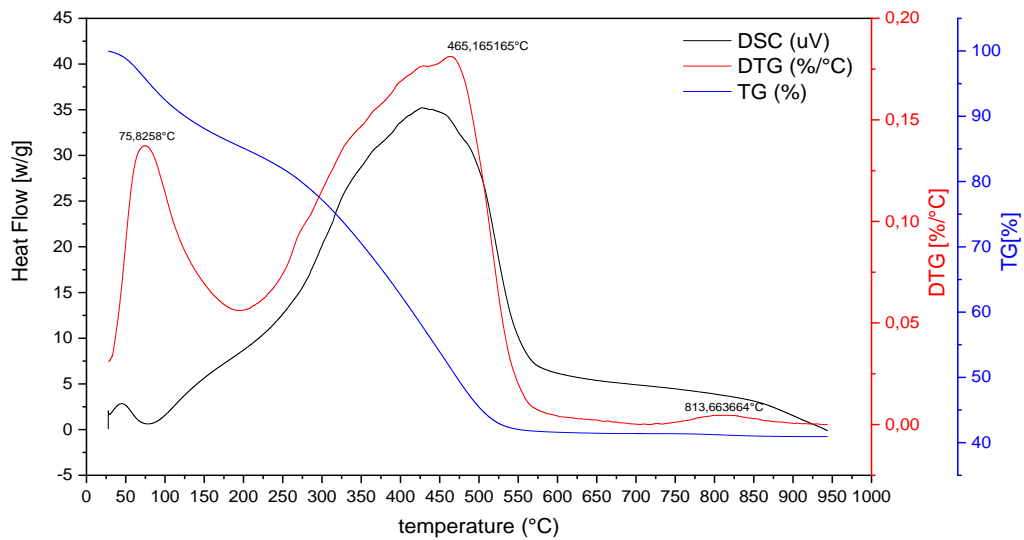
No processo inicial de secagem do lodo foram direcionados à estufa 5883,59 g de lodo úmido e, após o processo foram obtidos apenas 1358,36 g de lodo seco. Essa massa foi então triturada e encaminhada a análise granulométrica. A distribuição de tamanho das partículas ficou na faixa de 0,045 mm a 0,850 mm, como podemos verificar na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição granulométrica e diâmetro médio de partículas.

a (TY)	Peneir (% 100)	xi (% 100)	Xi (% 100)	-Di ( $\mu\text{m}$ )	+Di( $\mu\text{m}$ )	Di( $\mu\text{m}$ )
20	4	20,372	79,627	850	600	725
28	2	18,422	61,205	600	425	512,5
35	6	11,807	49,397	425	300	362,5
48	1	11,834	37,563	300	250	275
60		6,0897	31,474	250	180	215
80		7,5061	23,967	180	106	143
150		8,0987	15,869	106	75	90,5
200		4,8301	11,039	75	45	60
325		5,2394	5,7996	45	38	41,5
400		5,7996	0,0000	Fund	Fund	0

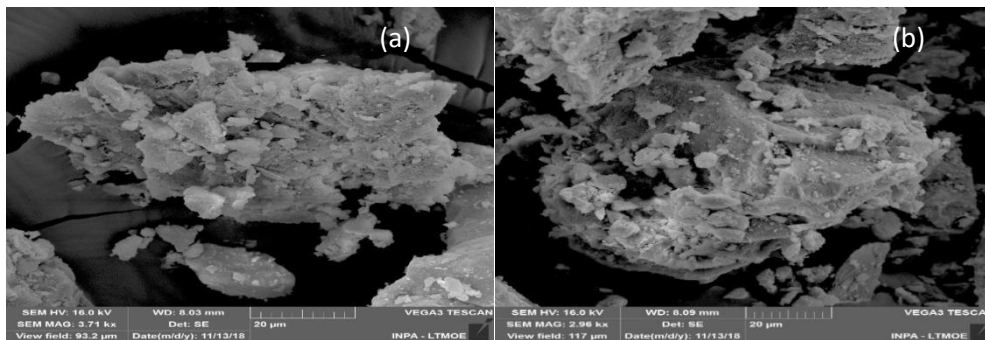
A Figura 1 apresenta a análise térmica efetuada para o lodo de ETA. Podemos notar que ocorre três perdas de massa, tal qual o estudo feito por Oliveira et al (2004). O primeiro evento na curva DTG, a 75,83°C, está relacionado à perda de água, visto que o lodo adere facilmente à umidade tal qual acontece com materiais argilosos. O evento endotérmico a 465°C se refere a uma possível desidroxilação da caulinita. Segundo Paz et al (2010), haja vista que tal fenômeno tem início a partir de 180°C e se encerra a 500°C, sendo assim, temos a transformação da caulinita em metacaulinita, transformação a qual ocorre em temperaturas entre 650 e 800°C (SHI et al., 2001; SABIR et al., 2001). No entanto, sua transformação em metacaulinita é responsável por promover um aumento de reatividade no material e, durante o fenômeno ocorre um desarranjo das estruturas do material argiloso, tornando-o amorfo com apenas picos de quartzo quando submetido à Difractometria de Raios – X (NASCIMENTO, 2009; MOTHÉ, 2004; MONTEIRO E AZEVEDO, 2017)). O último evento, também endotérmico, notado em temperatura de 813°C pode estar relacionado à quebra da estrutura da metacaulinita, relacionada diretamente ao início do processo de vitrificação onde se a formação da mulita, o qual costuma ocorrer em faixa de 900 a 950°C (SANTOS, 1975).

Figura 1 – Análise térmica do lodo de ETA.



A Figura 2 apresenta a análise de MEV. Os grãos apresentam formatos irregulares e, conforme observado em ambas as micrografias, pode ser notada uma porosidade característica na amostra LETA45 (retido na peneira de 325 TY), na Figura 2a, a qual apresenta características de silte. Pela Figura 2b observa-se que os poros presentes na amostra LETA75 (retido na peneira de 200 TY) apresentam características de areia fina devido sua classificação granulométrica.

Figura 2 – MEV do lodo de ETA: (a) amostra LETA45 e (b) amostra LETA75.



A composição semi-quantitativa apresentou concentração elevada em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 – Composição do lodo de ETA

Componente	Concentração no lodo de ETA in natura %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,696
SiO <sub>2</sub>	33,525
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,586
SO <sub>3</sub>	0,69
Cl	0,239
K <sub>2</sub> O	1,9
CaO	1,164
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,686
Ti	0,988

Tal qual os resultados obtidos por Lucena et al.(2016), a composição do lodo de ETA presente, em sua maioria, os óxidos de silício, alumínio e ferro. Os dados observados na Tabela 2 estão de acordo com Oliveira et al (2004). Tudo indica que há uma grande possibilidade de o material se apresentar rico em aluminossilicatos, que são os principais componentes das zeólitas que, segundo Cruz e Cardoso (2014) são materiais microporosos largamente utilizados como catalisadores na indústria do petróleo.

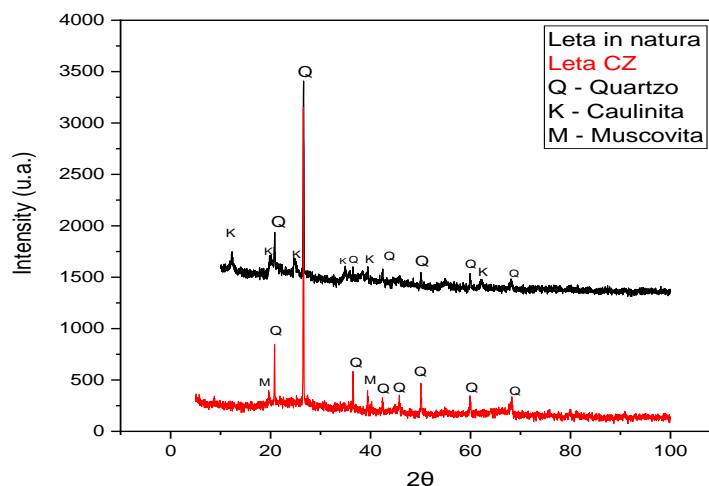
Os resultados da Análise Imediata e Poder Calorífico Superior são apresentados na Tabela 3. A umidade, segundo Brand (2010) influi de modo negativo para o processo de geração de energia de uma biomassa e, Klautau (2008) afirma que para valores acima de 65% a biomassa é considerada inapropriada para queima direta. O teor de materiais voláteis foi considerado baixo, 14,11%, já que este é responsável por manter as reações de combustão após a volatilização dos elementos (Brand, 2010). O elevado teor de cinzas indicou uma grande presença de materiais inorgânicos, o que resulta em baixo potencial para aproveitamento energético se for utilizado sem tratamento. O valor encontrado para o carbono fixo foi elevado, confirmando a não aplicação do lodo de ETA como insumo energético pois, conforme Brand (2010), quanto maior o carbono fixo, mais demorado é o processo de queima. O valor de seu PCS foi obtido conforme o método de Parikh (2005), apresentando valor de 15,48 MJ.kg<sup>-1</sup>, o qual é muito bom para biomassas destinadas à queima Direta.

Tabela 3 – Dados referentes à análise imediata e PCS.

ANÁLISE		VALOR	UNIDADE
Umidade (U)		76,913	%
Cinzas (CZ)		47,29	%
Materiais	Voláteis	14,11	%
(MV)			
Carbono Fixo (CF)		38,6	%
Poder	Calorífico	15,48	MJ.kg <sup>-1</sup>
Superior (PCS)			

A Figura 3 representa o difratograma do lodo de ETA in natura. Os resultados são semelhantes a Oliveira et al (2004) no qual revelaram picos de difração característicos às fases cristalinas de caulinita e quartzo. Para o lodo calcinado, podemos observar a ausência dos picos de caulinita, o que confirma o que fora dito por Oliveira et al (2004) com respeito da desidroxilação da caulinita dando origem à metacaulinita.

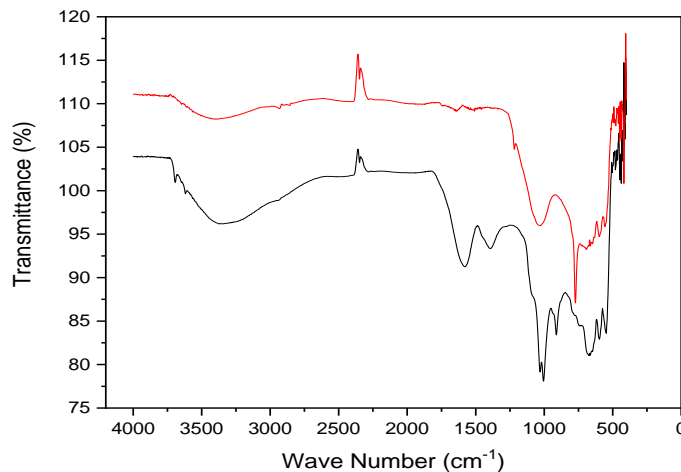
Figura 3 – DRX do lodo de ETA in natura e calcinado.



Os picos obtidos pelo difratograma reforçam a composição informada na Tabela 2, haja vista que na Figura 3 é comprovada a existência das fases mineralógicas de aluminossilicatos, principalmente caulinita e quartzo, visto que no EDXRF, as maiores concentrações referem-se à alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).

A análise de FTIR é apresentada na Figura 4. No espectro obtido para o lodo in natura foram observadas bandas na faixa de 433 a 914  $\text{cm}^{-1}$ . Conforme Machado et al (2018) afirma em seu trabalho que as bandas de Si-O-Si e Si-O-Al são obtidas na faixa de 500-750  $\text{cm}^{-1}$  para materiais argilosos e que existem bandas de Si-O em 1030  $\text{cm}^{-1}$  e bandas de Al-Al-OH em 916  $\text{cm}^{-1}$ , assim como bandas próximas à 520  $\text{cm}^{-1}$  características também de Si-O-Al. Todas estas bandas são confirmadas na Figura 4.

Figura 4 - Espectro de FTIR do lodo de ETA in natura (linha preta) e calcinado (linha vermelha).



No espectro obtido para o lodo in natura foram observadas bandas na faixa de 433 a 914  $\text{cm}^{-1}$ . Conforme Machado et al (2018) afirma em seu trabalho que as bandas de Si-O-Si e Si-O-Al são obtidas nas faixas de 500-750  $\text{cm}^{-1}$  para materiais argilosos e que existem bandas de Si-O na faixa de 1030  $\text{cm}^{-1}$  e bandas de Al-Al-OH na faixa de 916  $\text{cm}^{-1}$  e bandas próximas à 520  $\text{cm}^{-1}$  são características de Si-O-Al, as quais são confirmadas na Figura 4. Segundo Oliveira et al (2014) bandas de absorção em 3693 e 3620  $\text{cm}^{-1}$ , que podem ser atribuídas à deformação axial do grupo estrutural hidroxílico próprio da argila. Para os espectros de FTIR do lodo calcinado, podemos notar que existem bandas na faixa 449 e 774  $\text{cm}^{-1}$  que correspondem à metacaulinita, segundo Paz et al (2010) que as encontrou em 453, 803 e 1063  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas referentes à sílica permaneceram e novas foram surgindo em 1217  $\text{cm}^{-1}$ , semelhante a Capanas (2009).

As três análises de caracterização foram suficientes para verificar a semelhança do lodo de ETA com os aluminossilicatos. O FTIR, por fim, verificou bandas de ligações referentes aos elementos Si e Al em ligações características dos aluminossilicatos presentes em argilominerais.

#### 4. CONCLUSÃO

Embora o lodo não apresente potencial para queima direta devido sua elevada umidade e o elevado teor de cinzas, a presença em massa de componentes como silício e alumínio tornam esse resíduo um forte candidato às rotas catalíticas. As análises de EDXRF, DRX e FTIR comprovaram a presença, em larga escala, de quartzo e caulinita no resíduo de ETA. A elevada presença de sílica possibilita uma aplicação na produção de suportes para catalisadores, enquanto a presença da caulinita possibilita a possível síntese de zeólitas, haja vista que é uma das principais fontes de aluminossilicatos para síntese das mesmas. Sendo assim, as diversas técnicas de caracterização indicaram que o lodo de ETA apresenta grande potencial para aplicação em catálise.



**REFERÊNCIAS**

- AMÂNCIO, V. D.; RODRIGUES, N. F.; RIBEIRO, D. K.; COELHO, G. Caracterização do lodo gerado numa estação de tratamento de água, **Sustentare, Três Corações**, v. 1, n. 1, p. 29-44, 2017.
- ARAÚJO, F. C.; SCALIZE, P. S.; ALBUQUERQUE A.; ANGELIM, R. R. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção, **Cerâmica**, vol.61, no.360, São Paulo, 2015.
- BRAND. M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- CAPANAS, S. A. Caracterização e estudo do comportamento térmico de resíduo (lodo) proveniente de estações de tratamento de água e de esgotos do município de araraquara-sp. 2009. (Dissertação de mestrado em química analítica), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química. Araraquara. SP. 2009.
- CRUZ.T.F.; CARDOSO.D.; Catálise básica usando sílica mesoporosa espabilizado por acrilatos encapsulados. **Quim. Nova**, Vol. 37, No. 5, 761-765, 2014.
- KLAUTAU, J. V. P. Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.
- KLOC, P. A; LAIRD, V. Y. Avaliação de impacto de lodo de estação de tratamento de água (ETA) na qualidade das águas do arroio pilão de pedra, 2017. 75p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.
- LUCENA.C.L; JUCA.T.F.J; SOARES.B.J; BARROSO.A.S; PORTELA.G.M; Characterization and evaluation of the potencial use of sludge fromSTP and WTP in pavin. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. V.36, n.1, p.166-178. 2016.
- MACHADO, P. C. M.; LANBEHN, J. T.; OLIVEIRA, M. C.; ELYSEU, F.; CARGNIN, M.; DE NONI JR, A.; FRIZON, A. E. T.; PETERSON, M. Estudo do comportamento e caracterização de argilas bentoníticas após processo de liofilização. **Cerâmica 64** (2018) 207-213.
- MONTEIRO. S., AZEVEDO. G. R. A., Influencia da calcinação completa do metacaulim na resistência mecânica de argamassas geopoliméricas. **72º Congresso anual da ABM**, 2017.
- MOTHÉ, L. P. Avaliação das condições ideais para a produção de metacaulinita através da análise da sua atividade pozolânica. Dissertação de Mestrado. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2004.

- NASCIMENTO, R. M. Estudo da ativação do metacaulim de alta reatividade, produzido por meio do método de calcinação flash em cimento Portland. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- NBR 8112., carvão vegetal – análise imediata. *ABNT*, 1986
- NOVAL, E. V.; PUENTES, O. C.; CARRIAZO, G. J. Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): Uma estrutura inorgânica com múltiplas aplicaciones em catálisis heterogénea. Universidad Nacional de Colombia, 2016
- NYKULYSHYN, T. I.; VORONCHAK, Z.; RYPKA, A. P. **Central Eur. J. Chem.** 10 (2012) 1830.
- OLIVEIRA, R. I. V.; ROCHA, G. C. M.; VOGAS, C. A.; SILVA, N. L. A.; BERTOLINO, C. L. Caracterização estrutural para argilas bentoníticas para utilização como nanocargas. 21° **Congresso de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 2014.
- OLIVEIRA, S. M. E.; MACHADO, Q. S.; HOLANDA, F. N. J. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica** 50, 324-330, 2004.
- PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A. correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v. 84, n. 5, p. 487-494. 2005.
- PAZ, A. P. S.; ANGÉLICA, S. R.; NEVES, F. R. Síntese hidrotermal de sodalita básica a partir de um rejeito de caulim termicamente ativado. **Quim. Nova**, Vol. 33, No. 3, 579-583, 2010.
- SABIR, B. B.; WILD, S. BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement & Concrete Composites*, v. 23, p. 441-454, 2001.
- SANTOS, P. S., Tecnologia das argilas. Vol.1-2. São Paulo: Edgard Blucher. 1975.
- SHI, C.; KRIVENKO, P. V.; ROY, D. Alkaline Activators. In: *Alkali-activated cements and concretes*. 1° Ed. 377 f. Taylor & Francis, Abingdon, Oxon, Reino Unido, 2006.