

# AVALIAÇÃO DO LODO DE ETA COMO MATERIAL PRECURSOR EM GEOPOLÍMEROS

Leonel Nadal de Oliveira<sup>1</sup>; Djalmo Dutra dos Santos Neto<sup>2</sup>; Rogério Ferreira Júnior<sup>3</sup>; Carina Rosa<sup>4</sup>; Ricardo Nadal de Oliveira<sup>5</sup>; Richard Thomas Lermen<sup>6</sup>; Rodrigo de Almeida Silva<sup>7</sup>.

1 Mestrando em Engenharia Civil e Bolsista CAPES. IMED. [leonelnadal10@gmail.com](mailto:leonelnadal10@gmail.com).

2 Acadêmico de Engenharia Civil e Bolsista PITI. IMED. [1112250@imed.edu.br](mailto:1112250@imed.edu.br).

3 Acadêmico de Engenharia Civil e Bolsista PITI. IMED. [1116701@imed.edu.br](mailto:1116701@imed.edu.br).

4 Acadêmico de Engenharia Civil. IMED. [1109724@imed.edu.br](mailto:1109724@imed.edu.br).

5 Mestrando em Engenharia Civil. IMED. [Ricardonadal\\_oliveira@gmail.com](mailto:Ricardonadal_oliveira@gmail.com).

6 Professor Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. IMED. [richard.lermen@imed.edu.br](mailto:richard.lermen@imed.edu.br).

7 Professor orientador Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. IMED. [rodrigo.silva@imed.edu.br](mailto:rodrigo.silva@imed.edu.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia utilizada atualmente para o tratamento de água potável é baseada na coagulação-floculação (sistema convencional), esta é a forma mais eficiente e barata de alcançar bons resultados, porém a produção de resíduos na forma de lodo é inevitável. O lodo gerado possui um nível de umidade que pode alcançar 95%, desta forma gera-se um grande volume de material o que torna o processo de descarte honroso, levando muitas vezes ao descarte no próprio corpo hídrico, esta pratica além de ilegal é extremamente danosa ao meio aquático. (REALI, 1999; WAGNER; PEDROSO, 2014; NASCIMENTO et al., 2017).

Em vistas a grande pressão que a indústria da construção aplica sobre os recursos naturais o desenvolvimento de tecnologia de baixa emissão de CO<sub>2</sub> e menor consumo de energia se faz imprescindível. A produção de cimentos poliméricos e cerâmicas geopoliméricas vem sendo uma alternativa discutida, produzindo ótimos resultados de desempenho com baixa demanda de recursos energéticos e emitindo 90% menos CO<sub>2</sub> em comparação com a produção de cimento Portland (PINTO, 2006).

Os geopolímeros são polímeros inorgânicos produzidos através da ativação alcalina de um material precursor rico em alumina e sílica, dentre os materiais mais utilizados temos as pozolanas naturais e resíduos industriais que é o caso metacaulim e das escorias respectivamente. O resultado desta polimerização é um núcleo sólido com boa resistência mecânica e bom desempenho ao fogo, porém estas características dependem muito dos materiais e da dosagem utilizada. (BITENCOURT et al., 2012; VASSALO, 2013; ROSETTO, 2017).

A elaboração de uma proposta metodológica com a finalidade de produzir um geopolímero utilizando o lodo como material precursor é uma possibilidade muito interessante, pois apresenta reduzido tempo de cura, resistência mecânica similar ou superior aos materiais produzidos com ligantes hidráulicos convencionais, e é um material com baixo impacto ambiental. Outro aspecto positivo que justifica o

desenvolvimento da pesquisa é a questão energética, uma vez que a produção de geopolímeros (utilizando metacaulim como precursor) demandam cerca de 54,2% da energia utilizada empregando cimento Portland (BORGES et al., 2014) e 32% da energia despendida na queima dos blocos cerâmicos convencionais (PINTO, 2006).

Embasado nos fatos apontados o trabalho tem como objetivo a avaliação do emprego de lodo de ETA da cidade de Passo Fundo na produção de um composto precursor para sintetização alcalina de um geopolímero

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS**

A amostra de lodo foi coletada na ETA da cidade de Passo Fundo/RS, a qual recebe as águas do Rio Passo Fundo e utiliza um sistema de tratamento convencional de floco-decantação empregando Sulfato de Alumínio como agente coagulante. O material sólido sedimentado nos decantadores foi coletado em sacos plásticos e armazenados em recipientes fechados. Aproximadamente 3 kg do material foi seco em estufa por 48 h a 100 °C. Após a secagem o material foi parcialmente destorroado, a metade foi calcinada a 700°C por 2 h. Ambos os materiais passaram separadamente por moagem em moinho de bolas por 1 h a uma rotação de 25 RPM e na sequência peneiramento em peneira ABNT nº 200, o material retido na peneira passou por nova moagem e peneiramento. Deu-se origem a dois precursores, o lodo bruto e o lodo calcinado, ambos com diâmetro de partícula inferior a 0.075 mm.

O ativador foi produzido com a mistura do silicato de sódio e uma solução de hidróxido de sódio 12 M, as proporções da mistura atenderam um módulo de sílica de 0,50 medido em massa molar e uma taxa de silicato/hidróxido de 0,27.

A definição da melhor dosagem se deu pela confecção e pequenos moldes piloto. O melhor resultado piloto continha uma taxa líquido/sólido de 0,31 (em massa) onde os sólidos compreendem a massa de precursor, sílica e hidróxido de sódio, já o líquido é representado pela água, tanto da solução de hidróxido de sódio quanto do silicato de sódio.

### **2.2 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA**

Para o preparo dos corpos de prova, os quais possuíam uma forma cilíndrica com altura de 10 cm e diâmetro de 5 cm, utilizou-se tubos de PVC do referido diâmetro como fôrma, onde o fundo foi fechado utilizando plástico filme fixado com fita adesiva, em sua lateral foi realizado um corte longitudinal a fim de facilitar a retirada do corpo de prova após a secagem. Ainda foram preparadas duas formas em MDF com dimensões de 2x2x2 cm para a verificação da efluorescência.

A mistura foi realizada com a introdução do silicato de sódio e da solução de hidróxido de sódio, após uma mistura de 5 min o precursor foi adicionado em pequenas quantidades. A massa foi vertida e sofreu um adensada. O processo de adensamento consistiu em 20 golpes na lateral da fôrma.

### **2.3 CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO**

A determinação dos teores de óxidos maiores do precursor foi feita através da análise de fluorescência de raios X, este procedimento foi realizado no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus Vale utilizando um equipamento modelo RIX 2000 marca Rigaku. O grau de cristalinidade das amostras de precursor foi determinado pela Difração de raios X.

O ensaio de resistência mecânica a compressão axial dos corpos de prova foi realizada nos laboratórios da faculdade IMED campus Passo Fundo utilizando uma prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200C, e foi realizado nos corpos de prova com idades de 7, 14 e 28 dias.

A quantificação da eflorescência se deu por diferença de massa, onde um corpo de prova de 2x2x2 cm, moldado com a referida massa geopolimérica, teve seu peso controlado semanalmente, a cada pesagem o elemento era lavado com água destilada e tinha a camada de eflorescência removida, após seco era pesado novamente. O resultado da lavagem era armazenado em capsula de porcelana e seco em banho maria para posterior pesagem.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Até o momento do desenvolvimento do trabalho foram feitas análises dos óxidos maiores e determinação do traço base para a confecção dos corpos de prova.

A análise de fluorescência de raios X (FRX) apresentada na tabela exposta na Figura 1 corresponde apenas ao lodo calcinado, visto que o lodo bruto, mesmo seco em estufa, apresenta certo teor de material orgânico ficou impossibilitado de ser caracterizado por esta análise, porém é possível considerar que o processo de calcinação degrada a matéria orgânica e elimina a água, proporcionando teores similares, influenciando apenas nas características micro estruturais.

Figura 1: Teor de óxidos maiores presentes na amostra de lodo calcinado.

Elemento	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
Amostra S'	±0,23	±0,13	±0,00	±0,04	±0,00	±0,00	±0,02	±0,01	±0,11	±0,04		
lodo ETA LAB792	50,26	30,66	1,37	14,47	0,15	0,78	0,41	0,00	0,38	0,57	0,96	100,01

S' Desvio Padrão da metodologia para o Padrão de Granito AC-E tabelado pelo Geostandards

Ao analisar os dados expostos é possível identificar que o material possui teores de sílica e alumina significantes, sendo estes constituintes de mais de 80% da amostra, valores similares aos já encontrados na literatura (SANTOS; MELO FILHO; MANZATO, 2018). A faixa ideal de sílica e alumina que caracteriza um material como um bom precursor já foi amplamente discutida na literatura, para o metacaulim usualmente se aplicam materiais com uma faixa de 47% a 60% de sílica e 20% a 45% de alumina, porém um fato muito importante é quanto ao potencial de liberação deste material para o meio (SEVERAO et. Al., 2013).

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CORPO DE PROVA PILOTO

A série de corpos de prova piloto foram confeccionadas de acordo com os dados apontados no quadro da Figura 2, neste é possível identificar a nomenclatura adotada para cada um. Variou-se o modulo de sílica (MS) entre 0,31 e 0,50 e com isso as proporções dos ativadores.

Figura 2: Quadro de dosagem dos corpos de prova piloto utilizados.

Quadro de resultados dos pilotos									
NOME	Precursor		Ativador					Geopolímero	
	Tipo	Massa (g)	Silicato	Soda		Mistura		Líquido /Sólido	precursor /ativador
			Massa (g)	Água (g)	Soda (g)	MS	Silicato/hidróxido		
L7-1	Lodo calcinado a 700°/2h	10	1,4	3,5	1,68	0,31	0,27	0,3	1,52
L7-2	Lodo calcinado a 700°/2h	15	1,4	4,5	1,68	0,31	0,27	0,3	1,97
L7-3	Lodo calcinado a 700°/2h	10	1,84	3,61	1,25	0,5	0,38	0,4	1,49
L7-4	Lodo calcinado a 700°/2h	10	1,92	2,71	1,3	0,5	0,27	0,31	1,77

Os testes pilotos apresentaram características similares, em todos os casos há ganho de resistência o que indica a formação do geopolímero, já no primeiro dia de cura os elementos apresentaram resistência podendo ser desenformados e manuseados, após 3 dias de cura os elementos se solidificaram completamente, suportando impactos contra a bancada, não deformidade ao pressionar com os dedos e apresentavam som metálico característico de cerâmicas, porém nesta etapa identificou-se o surgimento de eflorescência na superfície da amostra. Aos 7 dias de cura os elementos apresentaram o aspecto apontado na Figura 3, sendo os elementos L7-1, L7-2 e L7-3 ricos em eflorescência destacando o L7-4 com menor surgimento desta.

Figura 3: Estado dos corpos de prova piloto após 7 dias de cura.



A partir dos resultados preliminares encontrados a dosagem mais indicada fica com a utilizada no piloto L7-4 o qual apresentou ganho de resistência e formação da estrutura geopolimérica e menor formação de eflorescência.

#### 4 CONCLUSÕES

Na etapa atual de desenvolvimento do trabalho é possível afirmar que o uso do lodo de ETA como precursor para geopolímeros ativados com silicato de sódio e hidróxido de sódio é possível.

O lodo apresenta características semelhantes a precursores comumente utilizados para este tipo de ativação.

Até o momento apenas foram feitos testes pilotos de dosagem para o lodo calcinado, onde a dosagem do piloto L7-4 apresentou-se mais indicada.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Faculdade IMED por disponibilizar a estrutura e equipamentos bem como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superiora (CAPES) pela bolsa concedida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITENCOURT, C. S. et al. A geopolimerização como técnica para a aplicação do resíduo de bauxita. **Cerâmica**, [s.l.], v. 58, n. 345, p.20-28, mar. 2012.

BORGES, Paulo Henrique Ribeiro et al. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 14, n. 2, p.153-168, jun. 2014.

NASCIMENTO, Valdilei Camilo do et al. Quantificação e proposta de destinação final do lodo de decantador da Estação de Tratamento de Água (ETA) em Itabirito, MG. **Petra**, Itabirito, v. 1, n. 3, p.38-56, jan. 2017.

PINTO, Amândio Teixeira. **Introdução ao Estudo dos Geopolímeros**. Vila Real, SC. Geo-Pol, 2006.

REALI, Marco Antonio Penalva et al (Org.). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: Rima, 1999. 225 p.

ROSSETTO, Matheus. **Desenvolvimento de Geopolímeros com a Incorporação do Lodo de Estações de Tratamento de Água**. 2017. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

SANTOS, G. Z. B.; MELO FILHO, J. A.; MANZATO, L.. Proposta de uma cerâmica obtida por meio de geopolimerização de lodo de ETA calcinado. **Cerâmica**, [s.l.], v. 64, n. 370, p.276-283, jun. 2018.

SEVERO, C. G. S. et al. Características, particularidades e princípios científicos dos materiais ativadas alcalinamente. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [s.l.], v. 2, n. 8, p.55-67, jul. 2013.

VASSALO, Érica Antunes de Souza. **Obtenção de Geopolímero a Partir de Metacaulim Ativado**. 2013. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

WAGNER, Luiz Fernando; PEDROSO, Keylla. Disposição de Resíduos das Estações de Tratamento de Água. **Technoeng**, Ponta Grossa, v. 9, n. 1, p.1-16, jul. 2014.