

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE POZOLÂNICA DE LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO

LUIZA BEATRIZ GAMBOA ARAÚJO MORSELLI¹; LARA ALVES GULLO DO CARMO²; CAROLINE MENEZES PINHEIRO³; JULIA KAIANE PRATES DA SILVA⁴; MAURÍZIO SILVEIRA QUADRO⁵; ROBSON ANDREAZZA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas - luiza_morselli@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas -lara.gullo@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas - carolsmnz3@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas - juliakaiane.prates@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – mausq@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – robsonandrezza@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Pozolana é um material que produz compostos com propriedades cimentantes na reação química de hidróxido de cálcio na presença de água (ABNT, 2014b). A atividade pozolânica surge a partir da reação de sílica amorfa (SiO_2) com hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), formando silicato hidratado de cálcio (NEVILLE, 2016). Os materiais pozolânicos se dividem entre naturais, cuja origem é vulcânica, sedimentares, ou artificiais, provenientes de processos industriais ou de tratamento térmico (ABNT, 2014b).

A pozolanidade pode ser analisada através de métodos diretos, obtidos através de análises da composição química dos materiais e do resultado final de sua ação no material cimentício, ou indiretos, que não fornecem informações sobre o material, no entanto proporcionam uma medição de propriedades, relacionando o desempenho, o tempo e o potencial do material no concreto (RIBEIRO, 2021).

O uso de materiais pozolânicos proporciona melhora no manuseio do concreto, aumenta sua durabilidade e sua resistência aos ataques de sulfatos, diminui o calor de hidratação, reduz o risco de eflorescência, reduz a permeabilidade e, conseqüentemente, a percolação de água, além de diminuir a reação álcali-agregado (ABNT, 2014b).

Conforme RIBEIRO (2021), a indústria do cimento busca novos materiais residuais para utiliza-los como materiais cimentícios suplementares, reduzindo o impacto ambiental na produção do cimento. Um resíduo com grande potencial para material cimentício suplementar é o lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) (HAGEMANN et al., 2019), cuja classificação seria como pozolana artificial (ABNT, 2014b).

O lodo de ETA é um resíduo gerado constantemente e que necessita de um descarte ambientalmente correto, no entanto, por seu tratamento ser de alto custo, é necessário proporcionar formas para sua reciclagem, evitando o impacto ambiental do seu descarte incorreto (RICHTER, 2001). Os lodos de ETA podem ser reciclados na indústria da construção civil, como matérias primas ambientalmente corretas e econômicas (ARAÚJO et al., 2015).

A dificuldade do meio acadêmico em definir uma metodologia aplicada a todas as pozolanas se dá pela grande variedade de ensaios e métodos para quantificar a atividade pozolânica de um material de forma confiável (RIBEIRO, 2021).

Esta pesquisa teve como objetivo descrever brevemente os métodos para análise de atividade pozolânica e analisar os mais empregados para análise de potencial pozolânico de lodos de ETA.

2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi feita uma revisão de literatura acerca dos métodos de análise de pozolanicidade, através de pesquisas em livros, normas e em artigos científicos publicados nos últimos cinco anos. Utilizou-se a biblioteca online no sistema *pergamum* da UFPEL, o portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Portal *Science Direct* (ELSEVIER) com as seguintes palavras-chave: “water treatment plant sludge”, “pozzolanic” e “cement materials”. Selecionou-se artigos com data de publicação para os últimos cinco anos. As normas foram pesquisadas no Sistema TARGET GEDWEB. Os métodos foram descritos e os artigos mais relevantes foram analisados conforme os métodos utilizados e a quantidade de aplicação do resíduo para a análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos diretos se relacionam com análises químicas, como difração de raios-X (DRX), análises termogravimétricas (ATG), titulação química clássica para avaliação da pozolanicidade. Na DRX se avalia a estrutura cristalina do material, através da análise da reatividade da pozolana pela distinção entre fases amorfa e cristalina da sílica, considerando que a maior reatividade das pozolanas ocorre com os materiais com maior quantidade de sílica amorfa. Na análise de termogravimetria é avaliada a perda de massa das amostras cimentícias com pozolana sob determinadas temperaturas, verificando a diminuição dos picos do material e o teor de água combinada quimicamente (RIBEIRO, 2021).

O método de Frattini, pela norma NBR 5753 (ABNT, 2016), é um exemplo de análise por titulação química, onde se determina as concentrações dissolvidas dos íons de cálcio (Ca^{+2}) e hidróxido (OH^-) em uma solução aquosa com pozolana e cimento, e a quantidade necessária para tornar uma solução saturada de íons de cálcio. Sendo o resultado positivo quando a concentração da amostra com pozolana for menor do que a solução saturada.

Outro método por titulação é o de Chapelle modificado, descrito pela norma NBR 15895 (ABNT, 2010), demonstrando a pozolanicidade pela taxa de reação com o hidróxido de cálcio em um determinado período de tempo, sendo determinada a atividade pozolânica pela quantidade de cal fixada pela pozolana por meio de suas soluções de hidróxido de cálcio, com um branco e outra com 1g de pozolana para 1g de hidróxido de cálcio.

A análise de condutividade elétrica é um método indireto de avaliação pozolânica e se baseia no princípio de que a condutividade diminui com o consumo de hidróxido de cálcio pela pozolana, sendo uma forma rápida de avaliação quando comparada a outros métodos (PAYÁ et al., 2001). Outro método indireto é a análise por evolução do calor por condução calorimétrica, indicado para a fase inicial de hidratação do cimento, pois a taxa de calor é elevada nesta etapa. Por fim, podem ser utilizados métodos indiretos por resistência à compressão da massa cimentícia com pozolana endurecida, descrito pela norma NBR 5751 (ABNT, 2015), a qual estabelece o procedimento para determinação da atividade pozolânica com hidróxido de cálcio aos sete dias, e para que seja considerada a atividade

pozolânica, o material deve apresentar resistência à compressão maior que 6 MPa ao final do ensaio, conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014b). A norma NBR 5752 (ABNT, 2014a) analisa o desempenho das pozolanas com cimento Portland aos 28 dias, e como requisito mínimo, o índice de desempenho da amostra deve ser maior que 90% em relação à amostra de controle.

De acordo com RUVIARO et al. (2020), os lodos de ETA possuem óxidos de alumínio, silício e ferro, componentes presentes na fabricação do cimento Portland, demonstrando seu potencial pozolânico. O que vai ao encontro da pesquisa de GONZÁLEZ et al. (2020), cujo lodo calcinado estudado apresentou 90% de sua constituição de óxidos de alumínio, silício e ferro e demonstrou atividade pozolânica e potencial de ser utilizado como material cimentício suplementar.

Alguns pesquisadores realizaram a incorporação de 1 a 35% lodo de ETA calcinado em peso, em concretos e verificaram seu potencial pozolânico. Os métodos mais utilizados pelas pesquisas foram o método indireto de resistência à compressão e os métodos diretos de Chapelle modificado, ATG e DRX (GODOY et al., 2019; GONZÁLEZ et al., 2020; HAGEMANN et al., 2019; RUVIARO et al., 2020; SHAMAKI et al., 2021). O valor máximo de lodo de ETA aplicado como material pozolânico é de até 35%, conforme HAGEMANN et al. (2019).

As temperaturas de calcinação variaram entre 475 a 1100°C na pesquisa de SAMADIKUN et al. (2021), no entanto a temperatura de 825°C demonstrou melhor desempenho pozolânico. GODOY et al. (2020) e GONZÁLEZ et al. (2020) realizaram calcinação do lodo de ETA entre 600 e 800°C, entretanto o lodo a 600°C de GODOY et al. (2020) proporcionou melhor potencial de atividade pozolânica. RUVIARO et al. (2020) calcinou o lodo em 700°C por uma hora, em percentuais de 10% e 25% como material cimentício suplementar. HAGEMANN et al. (2019) também calcinaram o lodo em 700°C, obtendo melhores resultados com 15% de incorporação do resíduo, o que reduziu em 38,4% o consumo de cimento.

Outras análises para avaliação do lodo como pozolana foram feitas, como análise de área superficial (BET), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e fluorescência de raios-x (FRX) (GODOY et al., 2020; GONZÁLEZ et al., 2020; SAMADIKUN et al., 2021)

4. CONCLUSÕES

Os métodos para análise de atividade pozolânica precisam ser combinados para uma avaliação apurada do material que se deseja analisar. Os métodos mais utilizados pelas pesquisas encontradas se complementam na avaliação final de desempenho da pozolana e podem ser empregados para lodos de ETA, no entanto dependendo da proporção de material a ser incorporada. A utilização do resíduo de ETA como material cimentício suplementar substituiria parcialmente as matérias primas empregadas na indústria da construção civil, além de proporcionar uma reciclagem ambientalmente correta para o lodo, evitando seu descarte incorreto e o impacto ambiental causado tanto pelo lodo quanto pela indústria do cimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**, v. 61, n. 360, p. 450-456, dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5751:** Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5752:** Materiais pozolânicos – Determinação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. **NBR 5753:** Cimento Portland - Ensaio de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 12653:** Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014b.

_____. **NBR 15895:** Materiais Pozolânicos - Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.

GODOY, L. G. G. de; ROHDEN, A. B.; GARCEZ, M. R.; COSTA, E. B. da; DALT, S. Da; ANDRADE, J. J. de. Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. **Construction And Building Materials** v. 223, p.939 950, out. 2019.

GONZÁLEZ, K. B.; PACHECO, E.; GUZMÁN, A.; PEREIRA, Y. A.; CUADRO, H. C.; VALENCIA, J. A. F.. Use of sludge ash from drinking water treatment plant in hydraulic mortars. *Materials Today Communications*, v. 23, p. 100930, jun. 2020.

HAGEMANN, S. E.; GASTALDINI, A. L. G.; COCCO, M.; JAHN, S. L.; TERRA, L. M. Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: Technical and economic evaluation. **Journal of Cleaner Production**. nº214, pg. 916-926. Passo Fundo, 2019.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2016. ISBN 978-85-8260-366-6

PAYÁ, J; BORRACHERO, M.V; MONZÓ, J; PERIS-MORA, E; AMAHJOUR, F. Enhanced conductivity measurement techniques for evaluation of fly ash pozzolanic activity. **Cement And Concrete Research**, v. 31, n. 1, p. 41-49, jan. 2001.

RIBEIRO, D. V.. **Princípios da Ciência dos Materiais Cimentícios:** Produção, Reações, Aplicações e Avanços Tecnológicos (p. 2). Editora Appris, 2021. 569p.

RICHTER, C.A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

RUVIARO, A. S.; SILVESTRO, L.; SCOLARO, T. P.; PELISSER, F.; GLEIZE, P. J. P.. Incorporação de lodo calcinado de estação de tratamento de água como material cimentício suplementar. **Ambiente Construído**, v. 20, n.4, p.243-260, dez. 2020.

SHAMAKI, M.; ADU-AMANKWAH, S.; BLACK, L.. Reuse of UK alum water treatment sludge in cement-based materials. **Construction And Building Materials**, v. 275, p. 1-15, mar. 2021.