

Aniele Domingas Pimentel Silva
(Organizadora)

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Teoria e prática 2



Aniele Domingas Pimentel Silva
(Organizadora)

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Teoria e prática 2



Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^o Dr^o Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^o Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^o Dr^o Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^o Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^o Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^o Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Aniele Domingas Pimentel Silva

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) | |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C569 | Ciências exatas e da terra: teoria e prática 2 / Organizadora Aniele Domingas Pimentel Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1044-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.447232402 1. Ciências exatas e da terra. I. Silva, Aniele Domingas Pimentel (Organizadora). II. Título. CDD 507 |
| Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166 | |

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.






A coleção “Ciências exatas e da terra: Teoria e prática 2” traz em sua coletânea a reunião de cinco artigos científicos de pesquisadores de algumas universidades brasileiras e também de instituições estrangeiras do México e do Uruguai. Os textos discutem sobre temas nas áreas de educação, engenharias e tecnologias.

O objetivo é publicizar os trabalhos desenvolvidos pelos pesquisadores destas instituições de ensino, respeitando as diferentes investigações e criando espaços de diálogo, visto que os autores buscaram responder questões importantes dentro de suas áreas de atuação

Desejo que as leituras dos trabalhos que compõem essa obra, possam ser proveitosas e que agucem a curiosidade para incitarem novas pesquisas nos arredores dos diferentes cenários de investigação visto que os temas discutidos nesse volume reforçam a importância do conhecimento científico nos diversos campos educativos.

Boa leitura!

Aniele Domingas Pimentel Silva

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN LA FORMACIÓN DOCENTE | |
| Ana Paula Corrales Casaravilla | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4472324021 | |
| CAPÍTULO 2 | 12 |
| ASIMILACIÓN DE CONTENIDOS Y APRENDIZAJE MEDIANTE EL USO DE VIDEOTUTORIALES EN LOS PROCESOS DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO | |
| José Tapia Luisa | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4472324022 | |
| CAPÍTULO 3 | 21 |
| MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE POZOLÂNICA DE LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO | |
| Luiza Beatriz Gamboa Araújo Morselli | |
| Lara Alves Gullo Do Carmo | |
| Caroline Menezes Pinheiro | |
| Julia Kaiane Prates Da Silva | |
| Jessica Torres dos Santos | |
| Josiane Pinheiro Farias | |
| Luisa Angelo Dos Anjos | |
| Julia Mendes | |
| Mariela Vieira Peixoto da Silva | |
| Luísa Andina | |
| Robson Andrezza | |
| Maurizio Silveira Quadro | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4472324023 | |
| CAPÍTULO 4 | 28 |
| A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: JOIAS | |
| Rafaela Baldi Fernandes | |
| Karina Salatiel do Nascimento | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4472324024 | |
| CAPÍTULO 5 | 36 |
| REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM: PHYSICAL COMPONENTS, EMBEDDED SYSTEMS AND THE ACTUAL REGULATIONS IN BRAZIL | |
| Mário Ezequiel Augusto | |
| Paulo Henrique Tokarski Glinski | |
| Alex Luiz de Sousa | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4472324025 | |
| SOBRE A ORGANIZADORA | 53 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 54 |

CAPÍTULO 3

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

Data de submissão: 09/12/2022

Data de aceite: 01/02/2023

Luiza Beatriz Gamboa Araújo Morselli

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Desenvolvimento Tecnológico
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2217724221930510>

Lara Alves Gullo Do Carmo

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7834385871356318>

Caroline Menezes Pinheiro

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5984557031030431>

Julia Kaiane Prates Da Silva

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8043172936883765>

Jessica Torres dos Santos

Universidade de Lisboa
Lisboa - Portugal
<http://lattes.cnpq.br/8535897129145784>

Josiane Pinheiro Farias

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Desenvolvimento Tecnológico
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9548569790288183>

Luisa Angelo Dos Anjos

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4577027175697472>

Julia Mendes

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1280242396515862>

Mariela Vieira Peixoto da Silva

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7341626184906896>

Luísa Andina

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9587506623893946>

Robson Andreazza

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Desenvolvimento Tecnológico
Pelotas- Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5706766977817721>

Maurizio Silveira Quadro

Universidade Federal de Pelotas, Centro
de Engenharias
Pelotas- Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1749935262841216>

RESUMO: Pozolanas são materiais que produzem compostos com propriedades cimentantes na reação química de hidróxido de cálcio na presença de água, sendo muito importantes para a indústria cimentícia. A utilização de materiais pozolânicos é vantajosa pois proporciona melhora de algumas propriedades do concreto, tais como trabalhabilidade, aumento da durabilidade, da resistência e diminuição do risco de patologias. Devido à necessidade de redução de impactos ambientais causados pelo setor da construção civil, a indústria do cimento busca por novos materiais residuais para utilizá-los de forma suplementar. Dentro dos resíduos possíveis para esse uso, tem-se o lodo residual proveniente das Estações de Tratamento de Água (ETA), o qual, por sua vez, acarreta danos ambientais quando disposto incorretamente no meio ambiente. Considerando que o lodo de ETA possui propriedades químicas que justificam sua aplicação como pozolana, essa pesquisa teve como objetivo a realização de uma revisão de literatura acerca dos trabalhos científicos com o uso desse resíduo e metodologias de avaliação pozolânica mais aplicadas para o material. Pode-se concluir que há a possibilidade de reutilização desse resíduo na indústria de construção civil como pozolana, no entanto, os métodos para análise de atividade pozolânica precisam ser combinados para uma avaliação apurada. 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 dependem da proporção de material a ser incorporada. A utilização do resíduo de ETA como pozolana substitui parcialmente as matérias primas empregadas na indústria da construção civil, proporcionando benefícios ambientais tanto para a indústria cimentícia como para o setor sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais cimentícios suplementares; Lodo de ETA, Pozolana, Construção civil.

METHODS OF EVALUATION OF POZZOLANIC ACTIVITY OF WATER TREATMENT PLANT SLUDGE: A REVIEW

ABSTRACT: Pozzolans are compounds with cementing properties in the chemical reaction of calcium hydroxide in the presence of water, which is very important for the cement industry. The use of pozzolanic materials is advantageous because it provides improvements in various concrete properties, such as workability, increased durability, strength, and reduced risk of pathologies. Due to the need to reduce the environmental impacts caused by the construction industry, the cement industry is looking for new waste materials to use in a supplementary way. Among the possible residues for this use, there is the residual sludge from the Water Treatment Plants (WTP), which, in turn, causes environmental damage when disposed incorrectly in the environment. Considering that WTP sludge has chemical properties that justify its application as a pozzolan, this research aimed to conduct a literature review of the scientific works using this waste and the most applied pozzolanic evaluation methodologies for the material. It can be concluded that there is a possibility of reusing this waste in the construction industry as a pozzolan, however, the methods for pozzolanic activity analysis need to be combined for an accurate evaluation. The methods most used by the researchers were found to complement each other in the final evaluation of the pozzolan performance and can be used for the WTP sludge, however, depending on the proportion of material to be incorporated. The use of WTP waste as a pozzolan partially replaces the raw materials used in the construction industry, providing environmental benefits for both the cement industry and

the sanitary sector.

KEYWORDS: Complementary cementitious materials, WTP sludge, pozzolanic, Civil Construction.

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. Para ter atividade pozolânica, a sílica precisa ser amorfa, ou seja, vítrea, pois a sílica cristalina tem baixíssima reatividade (NEVILLE, 2016).

Os materiais pozolânicos se dividem entre naturais (Classe N), cuja origem é vulcânica, sedimentares (Classe C), ou artificiais (Classe E), provenientes de processos industriais ou de tratamento térmico. As pozolanas artificiais se dividem em argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais (ABNT, 2014b).

A pozolanicidade 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 é vantajoso pois proporciona melhora no manuseio e trabalhabilidade 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 utilizá-los de forma suplementar, reduzindo o impacto ambiental na produção do cimento. Um resíduo com grande potencial para material cimentício suplementar é o lodo das Estações 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 anteriores ao mês de agosto de 2022, quando foi realizada a pesquisa. 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), e 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 determinam 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 Ruviano *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% de 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 Chappelle 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. Ruviano *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 dependem da proporção de material a ser incorporada. A utilização do resíduo de ETA como material cimentício suplementar substitui 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.

REFERÊNCIAS

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.

_____. **NBR5753:** 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.

A

ANAC 37, 38, 45, 46, 48, 49, 50, 51

Aprendizaje 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Aprendizaje basado en proyectos 1, 2

Asimilación 12, 16, 18, 19, 20

Asimilación de contenidos 12, 16, 18, 20

Atividade pozolânica 21, 22, 23, 24, 25, 26

B

Brazilian legislation 36

C

Construção civil 22, 23, 26

D

DECEA 38, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

Drones 36, 37, 38, 39, 46, 51, 52

E

Embedded system 36, 38, 39, 44

Enseñanza 1, 2, 7, 12, 13, 14, 20

Enseñanza de la Física 1

Estrategia 12, 14, 15, 16

F

Física 1, 2, 4, 10, 26, 34, 53

Formación docente 1

G

Gemas 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35

I

Indústria do cimento 22, 23, 26

Interdisciplinariedad 1, 2

J

Joias 28, 29, 30

L

Lodo de ETA 22, 23, 25

M

- Matemática 1, 2, 6, 53
- Materiais cimentícios suplementares 22
- Métodos de avaliação 21
- Mineração 28, 30
- Minerais 28, 29, 32, 34
- Mineral 28, 29, 32
- Multimedia 12, 13, 14, 19

P

- Pedras preciosas 28, 29, 30, 31, 32, 34
- Pozolana 22, 23, 24, 25, 26
- Profesorado 1
- Proyectos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10

R

- Recubrimiento electrolítico 12, 15, 16
- Remotely piloted aircraft 36, 37, 38, 46, 47, 49, 50, 52
- Remotely piloted aircraft system 36, 37, 38, 47, 49, 52
- Remotely piloted station 46
- Rocha 28, 30
- RPAS 36, 37, 38, 45, 47, 48, 49, 50, 52

T

- Technology 10, 36, 37, 42, 46, 50
- Tratamento de água 21, 22, 23, 26, 27

U

- Unmanned aerial vehicles 36, 38, 45, 46, 47, 50, 52

V

- Videotutorial 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Teoria e prática 2



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Ano 2023

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Teoria e prática 2



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora
Ano 2023