



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 23 – Ano XI – 05/2023
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Estudo da pozolanicidade do resíduo de mineração proveniente da Companhia Brasileira de Lítio (CBL) para incorporação ao cimento Portland

Pedro Henrique Amaral Lima
Graduado em Engenharia Civil - UFVJM/MG - Brasil
Discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/3128359296518109>
E-mail: pedrohenriqueamaral11@hotmail.com

Prof. DSc. Marcio Coutinho de Souza
Doutor em Engenharia de Produção - UNIMEP/SP - Brasil
Docente dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade e
Administração Pública da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
- UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/4954759031108819>
E-mail: marcio.souza@ufvjm.edu.br

Prof. DSc. Leonardo Gonçalves Pedroti
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais - UENF/RJ - Brasil
Docente na área de Materiais de Construção Civil para os cursos de Engenharia
Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro - UENF
<http://lattes.cnpq.br/8770106216994640>
E-mail: leonardo.pedroti@ufv.br

Prof. DSc. Stênio Cavalier Cabral
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais - UENF/RJ - Brasil
Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/2452889693767673>
E-mail: stenio.cavalier@ufvjm.edu.br

Resumo: O estudo teve como objetivo analisar os aspectos químicos referentes à pozolanicidade dos resíduos provenientes da CBL para serem utilizados como adição mineral ao cimento Portland. O resíduo gerado é resultante dos processos de extração de sais de lítio (carbonato de lítio e hidróxido de lítio) para comercialização, sendo proveniente do concentrado de espodumênio que inicialmente é calcinado para torná-lo suscetível ao ataque ácido, e em seguida é moído e sulfatado com ácido sulfúrico. Este material é lixiviado com água, sua polpa é filtrada e o resíduo sólido é um aluminossilicato/silicato de alumínio (SA). Nesse sentido, o SA foi avaliado seguindo os parâmetros da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12653:2015, que estabelece os requisitos para materiais pozolânicos destinados ao uso com cimento Portland em argamassa, pasta e concreto. Os resultados indicam que o SA obedeceu parcialmente aos requisitos químicos para ser considerado um material pozolânico. Entretanto, torna-se necessária a avaliação dos requisitos físicos do material, tendo em vista que no índice de desempenho pozolânico de um determinado material, o efeito além de químico, também é físico.

Palavras-chave: Adição Mineral. Cimento Portland. Silicato de Alumínio. Desempenho Pozolânico.

Introdução

O setor da indústria de mineração encontra-se presente em grande parte do mundo. Entretanto, o descarte incorreto dos resíduos industriais e o aumento da sua produção inconsciente tem acentuado significativamente os problemas nos grandes centros urbanos (PEDROSO, 2020).

Uma das alternativas encontradas para disposição adequada dos rejeitos é a sua associação em matrizes cimentícias como adição mineral, permitindo a experimentação de novos materiais como pozolanas em adição ou substituição parcial ao cimento Portland (BARBOSA, 2017; LANA, 2017).

Na presença de água, a pozolana reage com o hidróxido de cálcio, que é resultante da hidratação do cimento Portland, formando uma quantidade de silicato de cálcio hidratado a mais. Esse silicato de cálcio hidratado possui função essencial no processo de enrijecimento de matrizes cimentícias e comumente é designado como principal composto formado pela hidratação do cimento Portland (VAZZOLER, 2015).

No Brasil, a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) é responsável pela lavra subterrânea de pegmatito litífero e no beneficiamento do espodumênio – mineral esverdeado do qual é retirado o lítio – nos municípios de Araçuaí e Itinga, em Minas Gerais.

Nesse contexto, uma grande quantidade de resíduos sólidos ricos em sílica

e alumina oriundos do processo de obtenção de sais de lítio (carbonato de lítio e hidróxido de lítio) através do minério de espodumênio é gerada e acumulada em virtude da inutilização por parte da indústria mineradora supracitada. Em síntese, o resíduo é proveniente do concentrado de espodumênio que inicialmente é calcinado para torná-lo suscetível ao ataque ácido, e em seguida é moído e sulfatado com ácido sulfúrico. Este material é lixiviado com água, sua polpa é filtrada e o resíduo sólido é um aluminossilicato/silicato de alumínio (SA) (CBL, 2022).

Destarte, o estudo teve como objetivo analisar os requisitos químicos voltados à pozolanicidade dos resíduos provenientes da CBL para serem utilizados como adição mineral ao cimento Portland. Para atingir esse objetivo, tomou-se como base os parâmetros da ABNT NBR 12653:2015 “Materiais Pozolânicos – Requisitos” e demais normas complementares.

Revisão de Literatura

O elevado grau de reconhecimento de que as características dos materiais cimentícios apresentam capacidade de serem melhoradas a partir da adição de alguns elementos tem sido responsável pelo amplo avanço da indústria de aditivos e adições nas últimas décadas (ANDRADE, 2017).

Esse avanço está atrelado à implantação de novos materiais seja no que se refere à substituição ou adição no concreto ou no próprio cimento visando o aprimoramento das propriedades mecânicas e na redução dos impactos ambientais gerados na fabricação do clínquer (MARTINS, 2018).

Devido ao efeito de enchimento das partículas de sílica contida nessas adições e à reação pozolânica da sílica com Ca(OH)_2 gerado pela hidratação do cimento, as adições minerais podem efetivamente melhorar a microestrutura, propriedades mecânicas e durabilidade do concreto produzido (LI *et al.*, 2017).

De acordo com Dal Molin (2011), as adições minerais são classificadas quanto à sua reação físico-química, sendo elas: materiais pozolânicos, cuja composição apresenta sílica e/ou alumina, e que quando moídos e expostos à água, reagem com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento exibindo aspectos aglomerantes; materiais cimentantes, que se caracterizam em decorrência da ausência de hidróxido de cálcio no cimento para constituírem produtos como C-S-H

(silicato de cálcio hidratado) – no entanto, a hidratação acontece lentamente e a qualidade dos produtos cimentantes confeccionados é inviável para uso do material com finalidades estruturais; e *filler*, que se apresenta como um material finamente moído e ausente de atividade química, em que sua reação está vinculada ao efeito físico de empacotamento granulométrico.

Em relação aos materiais pozolânicos, estes são frequentemente utilizados para substituir parcialmente o cimento Portland comum, uma vez que a sua finalidade principal consiste na obtenção de melhores propriedades de concretos ou argamassas dependendo da necessidade de um usuário, além de diminuir o custo em razão da redução no uso de cimento na mistura de concreto. Vários materiais pozolânicos, tais como cinza volante, cinza de bagaço, cinza de óleo de palma e cinza de casca de arroz foram estudados e analisados o potencial de utilização no setor da indústria cimentícia (ABDULMATIN; TANGCHIRAPAT; JATURAPITAKKUL, 2018).

A ABNT NBR 12653:2015 - Materiais pozolânicos – Requisitos, por sua vez, estabelece a definição de materiais pozolânicos como:

Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes (NBR 12653:2015, p. 2).

A ABNT NBR 12653:2015 também estabelece os requisitos para materiais pozolânicos destinados ao uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Nela estão definidas a classificação de uma pozolana (Quadro 1); os requisitos químicos (Tabela 1); e os requisitos físicos (Tabela 2).

Quadro 1 – Classificação das Pozolanas

Classe	Materiais que obedecem aos requisitos
N	Pozolanas naturais e artificiais, como materiais vulcânicos petrográficos ácidos, <i>cherts</i> silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas
C	Cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoeletricas
E	Qualquer pozolana cujos requisitos difiram das classes anteriores

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2015). Adaptado.

Tabela 1 – Requisitos Químicos dos Materiais Pozolânicos

Propriedades (%)	Classe de Material Pozolânico		
	N	C	E
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70,0	≥ 70,0	≥ 50,0
SO ₃	≤ 4,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Teor de umidade	≤ 3,0	≤ 3,0	≤ 3,0
Perda ao fogo	≤ 10,0	≤ 6,0	≤ 6,0
Álcalis disponíveis em Na ₂ O	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2015). Adaptado.

Tabela 2 – Requisitos Físicos dos Materiais Pozolânicos

Propriedade	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 µm (%)	< 20,0	< 20,0	< 20,0
Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle (%)	≥ 90,0	≥ 90,0	≥ 90,0
Atividade pozolânica com cal aos 7 dias (MPa)	≥ 6,0	≥ 6,0	≥ 6,0

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2015). Adaptado.

É válido enfatizar que existem ainda ensaios não indicados pela ABNT NBR 12653:2015 comumente utilizados na avaliação de pozolanidade dos materiais. Dentre eles estão: o ensaio de Chapelle modificado, regido pela NBR 15895 (ABNT, 2010) – que indica o teor de hidróxido de cálcio fixado pela pozolana; o ensaio de Luxán, Madruga e Saavedra (1989) – que está relacionado à medição da variação da condutividade elétrica do material; e o ensaio de Fratini, normatizado pela NBR 5753 (ABNT, 2016) – que avalia a pozolanidade de cimentos pozolânicos.

Metodologia Experimental

Para esse artigo foram aplicados diversos métodos experimentais, que serão discutidos nas próximas seções.

Fluorescência de Raios-X (FRX)

Através desta técnica foi realizada a análise química semi-quantitativa no resíduo de SA. Em síntese, a Fluorescência de Raios-X (XRF do inglês X-Ray

Fluorescence) é uma técnica de análise multielementar não destrutiva que consiste em medir a intensidade de energia dos raios-X característicos emitidos por uma amostra a fim de obter a composição química da mesma por meio de espectros (LUIZ *et al.*, 2019). Para isso, foram necessários 100 g de material passante em peneira de 200 *mesh*, e foi utilizado um espectrofotômetro de fluorescência de raios-X da marca UNICAM, modelo Solar 969, do SENAI – Unidade de Criciúma/SC – Centro de Tecnologia em Materiais – Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais.

Perda ao Fogo

Os valores de perda ao fogo estão relacionados à oxidação de matéria orgânica, decomposição de carbonatos, sulfetos e hidróxidos presentes em um determinado material (VIEIRA; SÁNCHEZ; MONTEIRO, 2008). Nesse sentido, a perda ao fogo do SA foi determinada através da obtenção das massas antes e depois de aquecimento. Para isto, a amostra seca foi aquecida em um forno tipo mufla até 1000°C, com uma taxa de 10°C/min e mantido por 1h no patamar. Ao final do ensaio e já em temperatura ambiente, a massa foi medida para avaliar a perda ao fogo.

Teor de Álcalis disponíveis em Óxido de Sódio (Na₂O)

Esse ensaio teve como objetivo determinar o teor de álcalis liberados pelos materiais pozolânicos quando em reação com o hidróxido de cálcio, conforme preconiza a ABNT NBR NM 25:2003 – “Materiais pozolânicos – Determinação do teor de álcalis disponíveis.” A partir das porcentagens obtidas no ensaio FRX, pôde-se determinar os percentuais de álcalis disponíveis em Na₂O por meio da Equação 1:

$$Na_2O_{resultante} = Na_2O + 0,658.K_2O \quad (1)$$

Onde:

Na₂O_{resultante} – corresponde ao percentual de álcalis disponíveis em Na₂O no material pozolânico (%);

Na₂O – corresponde ao teor de óxido de sódio presente na amostra (%);

K_2O – corresponde ao teor de óxido de potássio presente na amostra (%);

0,658 – corresponde ao fator de transformação estequiométrico de K_2O em Na_2O .

Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade do resíduo de SA foi realizada a partir da metodologia prescrita pela ABNT NBR 17051:2022. Cerca de 1 g da amostra foi acomodada em recipiente de porcelana de massa conhecida. Posteriormente, o recipiente com a amostra foi colocado em estufa a uma temperatura de 110°C e mantido até que a diferença entre duas determinações sucessivas fosse menor do que 0,001 g, respeitando um período mínimo de secagem inicial de 30 minutos e um intervalo de 10 minutos entre as medições consecutivas posteriores, até não haver variação da massa maior que 0,001 g. Logo, o teor de umidade do material pozolânico foi calculado a partir da Equação 2, a seguir:

$$U = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

U – corresponde à umidade da amostra (%);

m_1 – corresponde à massa da amostra, antes da secagem (g);

m_2 – corresponde à massa da amostra, após a secagem (g).

Resultados e Discussões

Os resultados e discussões tomaram como base os ensaios discutidos na metodologia experimental e serão detalhados nas próximas seções.

Fluorescência de Raios-X

A Tabela 3 mostra a composição química em óxido do resíduo SA (% em peso) analisado. É válido destacar que o ensaio de Fluorescência de Raios-X foi necessário para avaliar o atendimento do silicato de alumínio (SA) quanto aos requisitos químicos

estabelecidos pela ABNT NBR 12653:2015.

Tabela 3 – Composição em óxidos do SA (% em peso) por FRX

Componente químico	SA (%)
SiO ₂	57,821
Al ₂ O ₃	23,653
CaO	7,436
SO ₃	3,182
Na ₂ O	0,720
Fe ₂ O ₃	0,569
K ₂ O	0,314
P ₂ O ₅	0,220
MgO	0,077
SrO	0,074
MnO	0,068
TiO ₂	0,055
Perda ao Fogo	7,573

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando a Tabela 3, enfatiza-se a porcentagem de dióxido de silício - SiO₂ (57,821%), óxido de alumínio - Al₂O₃ (23,653%) e óxido férrico - Fe₂O₃ (0,569%), sendo que o somatório desses valores corresponde a um percentual de 82,043%. O valor elevado desta soma abre a possibilidade de aplicação desse rejeito como material pozolânico de classe N, C ou E, visto que a somatória das porcentagens dos óxidos citados acima é maior que 50% (para classe E) e 70% (para classe N ou C).

Ressalta-se que o resultado da soma dos óxidos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ presentes na composição do SA ficou dentro do intervalo obtido pela literatura para outros materiais silicosos e/ou silicoaluminosos. A exemplo, Moraes (2019) obteve um valor de 78,84% para a cinza da folha de bambu. Para o mesmo material, o autor Menegat (2020) apresentou em seu trabalho um percentual de 79,78% para a soma dos óxidos mencionados.

Para mais, de acordo com os dados da Tabela 1, para ser considerado um material pozolânico de classe N, a porcentagem de óxido sulfúrico (SO₃) no material deve ser igual ou inferior a 4%, enquanto para ser considerado um material pozolânico de classe C ou E, a porcentagem de SO₃ no material deve ser igual ou inferior a 5%,

haja vista que a presença desse componente químico em quantidades superiores às indicadas na norma pode afetar as matrizes cimentícias.

Sendo assim, o material analisado (SA) atende ao requisito químico mencionado, uma vez que o percentual encontrado de SO_3 foi de 3,182% através da análise química por FRX. A priori, o material poderia ser aplicado como material pozolânico de classe N, C ou E, visto que o percentual de SO_3 é menor que 4%.

Perda ao Fogo

De acordo com o que estabelece a ABNT NBR 12653:2015, para um material ser considerado como pozolânico de classe N, este deve apresentar valor de perda ao fogo igual ou inferior a 10%, e valor de perda ao fogo igual ou inferior a 6% para pozolanas de classe C ou E.

Através da Tabela 3 pôde-se constatar que o resíduo em análise apresentou uma perda ao fogo equivalente a 7,573%. Esse valor, de acordo com os requisitos químicos apresentados na Tabela 1, encontra-se dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 12653:2015. Dessa forma, considerando o parâmetro perda ao fogo, o rejeito de SA poderia ser aplicado como material pozolânico de classe N.

O autor Tashima (2006) encontrou resultado de perda ao fogo para a cinza da casca de arroz e para a sílica ativa, objetos de estudo da sua pesquisa, de 5,28% e 4,61%, respectivamente. Ambos os materiais abriram possibilidade de aplicação como pozolana do tipo N, C ou E. Num estudo recente desenvolvido por Silva (2020), a perda ao fogo obtida para a cinza da casca de arroz foi de 5,35%.

Teor de Álcalis Disponíveis em óxido de sódio (Na_2O)

A partir do ensaio de Fluorescência de Raios-X tem-se que o percentual de óxido de sódio (Na_2O) equivale a 0,720% e o percentual de óxido de potássio (K_2O) corresponde a 0,314%. Pela Equação 1, o teor de álcalis disponível no resíduo de SA é igual a 0,93%. O valor encontrado obedece aos limites estabelecidos pela ABNT NBR 12653:2015, que preconiza para as três classes de material pozolânico (N, C e E) um teor desejável igual ou inferior a 1,5% de álcalis disponíveis em Na_2O .

Em comparação com outros trabalhos apresentados na literatura, o resíduo de

cerâmica vermelha (RCV) analisado no trabalho de Fernandes (2018) apresentou teor de álcalis disponíveis em Na_2O abaixo do limite estabelecido por norma, atingindo um valor de 1,20%. Laureano (2014) encontrou o mesmo resultado para a lama vermelha em seu estudo. Em Aguas (2014), esse teor foi de 0,17% para a sílica ativa.

Teor de Umidade

Tanto a nível nacional quanto internacional, é requisitado para materiais pozolânicos um teor de umidade inferior ou igual a 3%. Para essa análise, duas amostras dispostas em cadinhos de porcelana (1 e 2) foram ensaiadas para avaliação da umidade do resíduo de SA, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Amostras 1 e 2 para o ensaio de teor de umidade



Fonte: Acervo digital dos autores.

Tabela 4 – Ensaio de teor de umidade para o SA

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2
Massa do cadinho (g)	37,270	45,072
Massa da amostra antes da secagem (g)	10,015	10,330
Massa do cadinho (g) + massa da amostra depois da secagem (g)	46,624	54,734
Umidade (%)	6,60	6,47

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Tabela 4, o SA apresenta teor de umidade médio equivalente a 6,535%. Em comparação à Tabela 1, o rejeito apresenta umidade superior ao limite

estabelecido pela ABNT NBR 12653:2015. Sendo assim, para que o material possa ser empregado como material pozolânico, é necessário que o rejeito seja submetido a etapas de secagem para que a porcentagem de umidade esteja reduzida em até 3%, que é o teor limite estipulado pela norma.

No estudo de Mitri *et al.* (2018), voltado para análise da caracterização pozolânica do resíduo de rochas ornamentais, o respectivo material passou pelo processo de secagem em estufa a $100 \pm 5^\circ\text{C}$ para retirada de toda a umidade e atingir o percentual de 0,0%, apresentando resultado satisfatório em relação ao limite preconizado pela ABNT NBR 12653:2015.

Considerações Finais

A partir dos ensaios laboratoriais e análises realizadas pode-se concluir que o resíduo silicato de alumínio (SA) em estudo atendeu parcialmente aos requisitos químicos definidos pela ABNT NBR 12653:2015.

O somatório dos óxidos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ obtido por FRX foi de 82,043%. Conforme a norma para material pozolânico de classe N ou C, o somatório de tais óxidos deve ser igual ou superior a 70%, e de classe E, igual ou superior a 50%. Já em relação ao percentual de SO_3 , para o SA foi encontrado um teor de 3,182%. Quanto ao teor de álcalis disponíveis em Na_2O , o valor encontrado foi igual a 0,93%. Nesse sentido, os critérios supracitados foram atendidos.

A perda ao fogo do material (7,573%) é maior que o limite estabelecido pela norma para materiais pozolânicos de classe C ou E, que é de 6%. No entanto, devido ao resultado obtido, o SA apresenta possibilidade de ser aplicado como pozolana de classe N, que exige um percentual de perda ao fogo menor ou igual a 10%.

O SA apresentou teor de umidade médio igual a 6,535% e o limite máximo estabelecido é de 3% para materiais pozolânicos de classe N, C ou E. Entretanto, é possível atingir este valor com operações de secagem do material. Em síntese, caso este último requisito químico citados atendesse às exigências da ABNT NBR 12653:2015 em conjunto aos outros parâmetros químicos obtidos, o resíduo de SA poderia ser aplicado como material pozolânico de classe N.

Convém salientar que embora o resíduo SA tenha atendido parcialmente aos requisitos químicos estabelecidos por norma, a pozolanidade também deve ser

avaliada através dos requisitos físicos preconizados, uma vez que no índice de desempenho pozolânico de um material, o efeito além de químico, também é físico. Nesse sentido, outros aspectos são levados em consideração, tais como: tamanho das partículas, reatividade, resistência mecânica, além de outros.

Em suma, pode-se afirmar que o material não atende a todas as demandas normatizadas pela ABNT NBR 12653:2015 quanto aos requisitos químicos, no entanto, suas características físicas podem permitir sua utilização em associação aos parâmetros químicos. À vista disso, sugere-se a necessidade de estudos complementares a fim de otimizar o desempenho desse material em compósitos com potencial uso em pastas, argamassas e concretos visando a sua durabilidade.

Referências

ABDULMATIN, Akkadath, TANGCHIRAPAT, Weerachart, JATURAPITAKKUL, Chai. An investigation of bottom ash as a pozzolanic material. *Construction and Building Materials*, v. 186, p. 155-162, 2018.

AGUAS, Marcia Ferreira Fortes. *Influência da adição de cinza de bagaço de cana na reação álcali-sílica*. 2014. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, Daniel da Silva. *Microestrutura de pastas de cimento Portland com nanossílica coloidal e adições minerais altamente reativas*. 2017. 319 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 25: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de álcalis disponíveis*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5753: Cimento Portland – Ensaio de pozolanidade para cimento Portland pozolânico*. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12653: Materiais Pozolânicos – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15895: Materiais Pozolânicos - Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 17051: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro, 2022.

BARBOSA, Jairo Mendes. *A influência da moagem na atividade pozolânica do resíduo de granito*. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO (CBL). Conheça a CBL – Companhia Brasileira de Lítio. 2022. Disponível em: <https://cblitio.com.br/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1. p. 261-310.

FERNANDES, Ana Júlia Maciel Marinho. *Influência do teor de sílica e alumina no comportamento pozolânico de materiais cimentícios suplementares*. 2018. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

LANA, Sâmyla Cotta. *Avaliação da atividade pozolânica do resíduo de corte de ardósia*. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

LAUREANO, Jorge Luíz. *Redução da alcalinidade disponível da lama vermelha mediante composição com argilas para uso como aditivo suplementar ao cimento portland*. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

LI, L. G. et al. Combined effects of micro-silica and nano-silica on durability of mortar. *Construction and Building Materials*, v. 157, p. 337-347, 2017.

LUIZ, Leandro da Conceição et al. Uso de Fluorescência de Raios X (XRF) para fins de comparação entre a composição elementar da barba de timão [*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville] com outras pomadas cicatrizantes. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, v. 23, n. 2, p. 173-178, 2019.

LUXÁN, M. P. de, MADRUGA, F., SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. *Cement and Concrete Research*, v. 19, n. 1, p. 63-68, 1989.

MARTINS, Gabriel Lima Oliveira. *Influência do teor de sílica amorfa na atividade pozolânica de adições minerais altamente reativas*. 2018. 131 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MENEGAT, Isabelli. *Produção e análise da cinza da folha de bambu como um potencial material pozolânico para fins geotécnicos*. 2020. 93 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2020.

MITRI, S. H. M. *et al.* Assessment of the pozzolanic activity of ornamental stone waste after heat treatment and its effect on the mechanical properties of concretes. *IBRACON*, v. 11, n. 6, p. 1186-1207, 2018.

MORAES, Maria Júlia Bassan de. *Estudo do potencial da cinza de folha de bambu para sua utilização como material pozolânico e sustentável em matrizes cimentantes*. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

PEDROSO, Daniela Evaniki. *Aproveitamento do rejeito de minério de ferro em compósitos para construção civil*. 2020. 115 f. Tese (Doutorado na área de concentração de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SILVA, Juliana Oliveira da. Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 14, n. 1, p. 17-23, 2020.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi. *Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland*. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

VAZZOLER, Janaína dos Santos. *Investigação de potencialidade pozolânica do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais após tratamento térmico para produção de pasta cimentícia*. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

VIEIRA, C. M. F.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Construction and building materials*, v. 22, p. 781-787, 2008.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424