

Caracterização e avaliação do índice de atividade Pozolânica de lama vermelha e resíduo de manganês para produção de misturas ternárias cimentícias

Characterization and evaluation of the Pozolanic activity index of red mud and manganese waste for the production of cementitious ternary mixtures

DOI:10.34117/bjdv7n8-686

Recebimento dos originais: 07/07/2021

Aceitação para publicação: 31/08/2021

Mariana Domingues von Paumgarten

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: R. Augusto Corrêa, 01. Guamá, Belém, Pará. Cep: 66075-110

E-mail: mari.paumgarten@gmail.com

Felipe José Losada Reis

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: R. Augusto Corrêa, 01. Guamá, Belém, Pará. Cep: 66075-110

E-mail: Felipe_jlreis@hotmail.com

Marcelo de Souza Picanço

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: R. Augusto Corrêa, 01. Guamá, Belém, Pará. Cep: 66075-110

E-mail: marcelosp@ufpa.br

Alcebíades Negrão Macedo

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: R. Augusto Corrêa, 01. Guamá, Belém, Pará. Cep: 66075-110

E-mail: anmacedo@ufpa.br

David dos Santos Rocha da Costa

Graduado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade da Amazônia

Endereço: Av. Alcindo Cacela, 287 - Umarizal, Belém - PA, 66060-000

E-mail: davi-santos.liv@hotmail.com

Ana Célia Monteiro dos Santos

Graduado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade da Amazônia

Endereço: Av. Alcindo Cacela, 287 - Umarizal, Belém - PA, 66060-000

E-mail: ana.ms29@outlook.com

RESUMO

Durante os últimos anos, o mundo todo vem sofrendo com as variações ambientais causadas pelo aquecimento global. Um dos fatores preponderantes para o aumento das temperaturas da atmosfera e oceanos são as emissões produzidas a partir de processos de queima industrial. Com largo potencial ainda em atividade, a indústria do cimento é uma das que mais contribui para esse processo, fato que vem fomentando a busca por alternativas tecnológicas menos agressivas ao meio ambiente. Nesse contexto, este artigo apresenta as características físico-químicas de duas potenciais alternativas: lama vermelha e rejeito de manganês. Após ensaios laboratoriais são apresentados resultados relevantes que mostram comportamentos distintos para os dois materiais, com um destaque para a lama vermelha, que apresentou um nível de pozolanicidade muito próximo daquele requisitado por norma.

Palavras-chave: lama vermelha, manganês, pozolanas, rejeitos, misturas ternárias cimentícias.

ABSTRACT

During the past few years, the whole world has been suffering from environmental variations caused by global warming. One of the main factors for the increase in the temperatures of the atmosphere and oceans is the emissions produced from industrial burning processes. With a large potential still in operation, the cement industry is one of the biggest contributors to this process, a fact that has been encouraging the search for technological alternatives that are less aggressive to the environment. In this context, this article presents the physicochemical characteristics of two potential alternatives: red mud and manganese reject. After laboratory tests, relevant results are presented that show different behaviors for the two materials, with an emphasis on the red mud that presented a level of pozzolanicity very close to that required by the standard.

Keywords: red mud, manganese, pozzolana, rejects, cementitious ternary mixtures.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores dos recursos naturais existentes, como água e energia, além de ser um dos grandes responsáveis pela imensa quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente. Atualmente, vem se discutido de forma mais frequente a questão do desenvolvimento sustentável, a fim de minimizar as emissões de gases poluentes ao meio ambiente e que provocam o efeito estufa.

Pesquisas internacionais estimam que 5% da emissão de CO² de origem antrópica, vem da produção do cimento. Segundo o Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (2010), no Brasil, esse valor corresponde à metade da média mundial (1,4%). O decréscimo da emissão tem se justificado pela busca de melhor eficiência energética, com a utilização de combustíveis alternativos e a busca por adições minerais que substituam o clínquer.

Para Mehta e Monteiro (2008), a diminuição do custo de produção foi a razão precursora para o desenvolvimento de cimentos Portland com adições. Fonseca (2010), analisa que as adições minerais têm sido utilizadas como insumo para a produção de materiais cada vez mais nas últimas décadas, sendo sua grande maioria composta por resíduos provenientes de siderúrgicas, usinas termelétricas, indústrias e mineradoras – como a sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto-forno e filler.

Magalhães (2012), cita que na indústria de alumínio primário, na transformação da bauxita em alumina através do processo Bayer, na fábrica da ALUNORTE, situada no Município de Barcarena no Estado do Pará, a 45 km de Belém, a geração de resíduo é da ordem de 6,5 milhões de toneladas/ano de lama vermelha.

Nesse sentido, várias pesquisas ao longo dos anos têm sido desenvolvidas para a utilização de lama vermelha para diferentes materiais, bem como seu uso como adição mineral. Destacam-se estudos com este material componente de misturas cimentícias (SINGH et al., 1996; TSAKIRIDIS e LEONARDOU, 2004; LIU e ZHANG, 2011; DÍAZ et al., 2015; GHALEHNOVI et al., 2019).

No Brasil, pesquisas observaram a influência da lama no tempo de pega do cimento (Ribeiro e Morelli, 2008), índice de pozolanicidade (Montini et al., 2009) e Manfroi (2009), avaliou a propriedade pozolânica da lama vermelha brasileira seca e calcinada em diferentes temperaturas.

Além do alumínio, outro mineral que se destaca no panorama da mineração brasileira é o manganês. Dados do IBRAM (2016), mostram que a produção anual no país em 2016 foi de 2.400.00 toneladas, gerando assim, altas quantidades de rejeito. Os estados que se destacam na exploração deste mineral são Minas Gerais, Mato Grosso e Pará (BRASIL, 2018).

De acordo com Drummond e Pereira (2007), durante 4 décadas, a mina de manganês localizada em Serra do Navio, no estado do Amapá, foi uma das maiores minas do mundo, tornando o Brasil, uma potência siderúrgica de primeira classe. Porém, segundo Brito (1995), na década de 90, a exploração entrou em fase de encerramento devido ao esgotamento do minério e 9,7 milhões de toneladas de rejeito encontram-se estocadas no local da mina.

Estudos realizados por Viveiros (2017), demonstram que o rejeito de manganês usado como filler nos cimentos Portland de argamassas obteve comportamento satisfatório.

Diante disto, o presente trabalho busca complementar as pesquisas já realizadas, a fim de caracterizar a lama vermelha e o manganês, através de análises físicas, químicas e verificação do Índice de Atividade Pozolânica com Hidróxido de Cálcio e cimento Portland, para futura utilização em misturas ternárias cimentícias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para os ensaios de determinação do índice de atividade pozolânica (NBR 5752, 2014), utilizou-se o cimento CP II-F 32, onde suas propriedades são apresentadas na Tabela 1

Tabela 1 - Propriedades do cimento CP II-F 32.

Ensaios Físicos	Unidade	Média	Máximo	Mínimo	Desvio
Expansão a quente	mm	0,26	0,42	0,10	0,11
Tempo de pega (Início)	minutos	238	259	215	13
Tempo de pega (Fim)	minutos	287	314	264	15
Água de consistência normal	%	27,0	27,5	26,7	0,2
Blaine	cm ² /g	3.378	3.444	3.335	36,34
Peneira #200	%	1,13	1,48	0,67	0,26
Peneira #325	%	7,14	9,28	5,39	1,12
Resistência à compressão (1 dia)	MPa	15,8	17,1	14,8	0,8
Resistência à compressão (3 dias)	MPa	30,1	32,7	28,1	1,4
Resistência à compressão (7 dias)	MPa	35,8	37,8	34,4	1,1
Resistência à compressão (28 dias)	MPa	42,3	43,4	40,9	0,8
Massa Específica	g/cm ³	3,06			
Ensaios Químicos	Unidade	Média	Máximo	Mínimo	Desvio
Al ₂ O ₃	%	4,28	4,47	4,13	0,09
SiO ₂	%	18,30	18,75	17,78	0,35
Fe ₂ O ₃	%	2,94	3,08	2,80	0,06
CaO	%	61,35	61,75	60,81	0,31
MgO	%	2,49	3,38	1,80	0,54
SO ₃	%	2,59	2,70	2,51	0,07
Perda ao Fogo	%	6,70	6,94	6,48	0,14
CaO Livre	%	0,85	1,00	0,69	0,08
Resíduo Insolúvel	%	1,38	1,64	1,18	0,15
Equiv. Alcal.	%	0,66	0,69	0,63	0,02

Fonte: Laudo Técnico Votorantim.

A areia utilizada para a o ensaio de índice de pozolanicidade possui característica de agregados comumente encontrados nos leitos dos rios próximos à região metropolitana

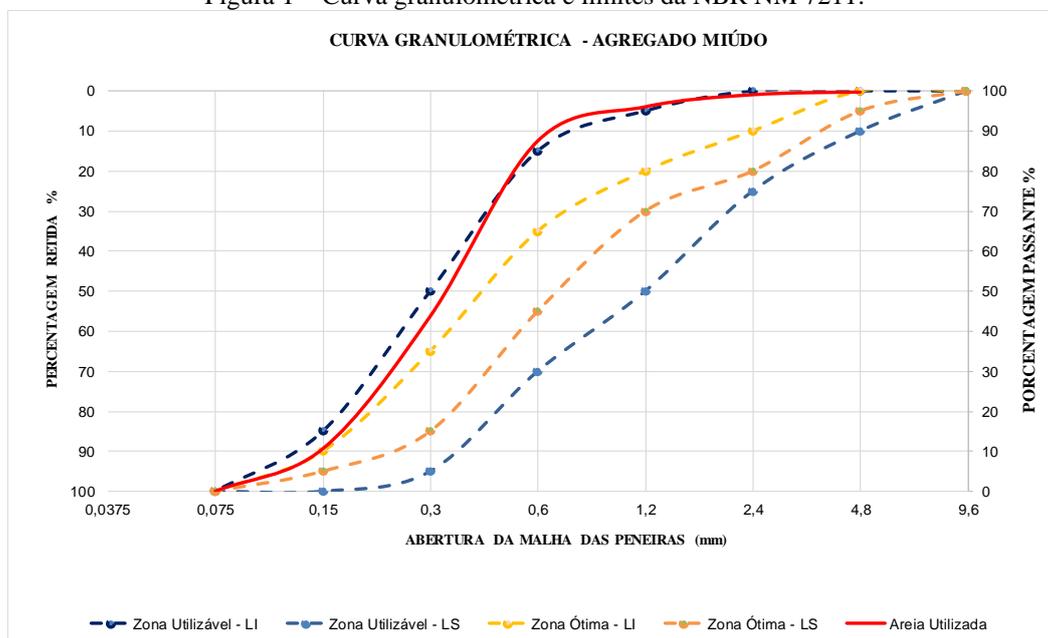
de Belém do Pará, onde passou por secagem em estufa por 24h em temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$. A Tabela 2 mostra a caracterização da areia utilizada e a Figura 1 mostra a curva granulométrica do material.

Tabela 2 – Caracterização do Agregado Miúdo Natural

Areia				
Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Norma de Ensaio
4,75	0,53	0	0	
2,36	2,06	1	1	
1,18	9,07	3	4	
0,6	25,62	8	12	NBR NM 248
0,3	131,40	44	56	(ABNT, 2003)
0,15	99,30	33	89	
Fundo	31,81	11	100	
	299,79	100		
Massa Específica		2,50 g/cm ³		NBR NM 52 (ABNT,2009)
Massa Unitária		1,47 g/cm ³		NBR NM 45 (ABNT,2006)
Módulo de Finura		1,63		NBR NM 248 (ABNT,2003)
Dimensão Máxima		1,18 mm		NBR NM 248 (ABNT,2003)
Índice de Vazios		41%		NBR NM 45 (ABNT,2006)
Fator de empacotamento		59%		NBR NM 45 (ABNT,2006)

Fonte: Autores.

Figura 1 – Curva granulométrica e limites da NBR NM 7211.



Fonte: Autores.

A Cal Hidratada utilizada no ensaio de índice de pozolanidade foi a do tipo CH-I, onde a Tabela 3 mostra suas características químicas.

Tabela 3 – Caracterização da Cal Hidratada.

Ensaio	Resultados (%)
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	0,09
Dióxido de silício (SiO_2)	0,28
Trióxido de enxofre (SO_3)	0,02
Óxido de potássio (K_2O)	0,04
Óxido de cálcio (CaO)	99,23
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	0,24
Óxido de estrôncio (SrO)	0,08

Fonte: Fabricante.

A amostra de lama vermelha estudada foi obtida através de rejeito do processo Bayer realizado na bauxita, proveniente de uma indústria produtora de alumina, localizada na região de Barcarena, no estado do Pará. O material foi seco em estufa à uma temperatura de $100\pm 5^\circ C$ durante 24 horas, e posteriormente queimado à temperatura de $600^\circ C$, em forno tipo Mufla Microprocessado da marca QUIMIS, modelo Q318M, para a escolha na produção das pastas.

Após a secagem inicial em estufa, as amostras foram levadas à um moinho de bolas da marca QUIMIS, modelo Q298, para quebra dos torrões, durante um período de 6 horas, para subsequente queima e peneiramento em peneira com abertura de 0,15mm. A figura 15 mostra a lama após o processo de queima e peneiramento.

Figura 1 – Lama vermelha após calcinação e peneiramento.



Fonte: Autores.

O rejeito de manganês utilizado para esta pesquisa é procedente da exploração deste mineral na região de Serra do Navio, localizadas nas margens do Rio Amapari, no estado do Amapá, de uma mina desativada, entretanto, ainda existem pilhas deste material estocado aos arredores do local de exploração.

O material passou primeiramente pelo processo de secagem em estufa à uma temperatura de $100\pm 5^\circ C$ durante 24 horas, após isto, foi utilizado um almofariz para trituração manual do

mesmo e posteriormente peneirados para obtenção de granulometria abaixo de 0,15mm. A figura 2 mostra o rejeito de manganês após o processo de secagem, trituração e peneiramento.

Figura 2 – Rejeito de manganês após secagem, trituração e peneiramento



Fonte: Autores.

2.2 MÉTODOS

A metodologia do trabalho consistirá na caracterização dos materiais utilizados nas misturas ternárias, realizando ensaios de caráter químico, físico, mineralógico, bem como a análise do índice de pozolanicidade.

A caracterização química do material será do tipo quantitativa realizada por fluorescência de raios X (FRX); e a mineralógica por difração de raios X por intermédio do método do pó. O FRX e o DRX do manganês foram realizados no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) situado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e a o FRX e o DRX da Lama Vermelha foram realizados no Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI), da Universidade de Goiás (UFG).

As medidas de fluorescência de raios X (FRX) da Lama Vermelha foram realizadas em um espectrômetro WDS Bruker S8 Tiger, equipado com tubo de Rh. Para análise dos óxidos maiores, a calibração foi realizada com o pacote GeoQuant M[®] da Bruker composto por padrões de rochas e minerais naturais. Os valores obtidos para os óxidos maiores são representados em porcentagem (%) de massa, em base úmida. Para análise dos elementos menores, os resultados foram obtidos por pacote de curvas GeoQuant T[®] da Bruker. Os elementos menores estão representados em partes por milhão (ppm). As medidas do rejeito de Manganês foram realizadas em espectrômetro de

fluorescência de raios-X (XRF) WDS equipado com tubo de raios-X de Rh, o seu modelo é RIX 2000 da marca Rigaku.

A medida de difração de raios X (DRX) da Lama Vermelha foi realizada em um difratômetro Bruker D8 Discover. Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador Johansson para $K\alpha_1$ operando em 40kV e 40mA, configuração BraggBrentano θ - 2θ , detector unidimensional Lynxeye[®], 2θ de 5° a 100° e passo de 0,01°. A composição e proporção modal foi obtida pelo método de Rietveld, utilizando o software TOPAS[®] Versão 4.2, em que se baseia no ajuste de uma composição calculada ao difratograma experimental.

No Manganês, a medida foi realizada em um difratômetro de raios X marca Siemens (BRUKER AXS), modelo D-5000 (θ - 2θ) equipado com tubo de ânodo fixo de Cu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), operando a 40 kV e 25 mA no feixe primário e monocromador curvado de grafite no feixe secundário.

A caracterização física dos rejeitos se deu pela determinação da massa específica, através do ensaio de norma NBR 16605 (ABNT, 2017) – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, onde foram realizados no Laboratório Materiais de Construção da Universidade da Amazônia (UNAMA).

Para a análise do índice de pozolanicidade dos materiais, foram utilizados os métodos: Índice de atividade pozolânica com cal (NBR 5751, 2015) e Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (NBR 5752, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 MASSA ESPECÍFICA

Os resultados da massa específica da lama vermelha e do rejeito de manganês estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de massa específica.

Material	Massa Específica (g/cm ³)
Lama Vermelha	3,11
Resíduo de Manganês	2,99

Fonte: Autores.

As massas específicas dos materiais se aproximaram da massa específica do cimento CP II-F, de 3,06 g/cm³, onde a lama vermelha teve maior proximidade.

3.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

A Tabela 5 mostra o resultado do ensaio de FRX da lama vermelha calcinada à 600°C e do rejeito de manganês.

Tabela 5 – Teores de Óxidos obtidos no FRX – Lama Vermelha.

Óxidos Analisados (%)	Lama Vermelha	Rejeito de Manganês
SiO ₂	19,72	6,85
TiO ₂	4,86	1,06
Al ₂ O ₃	24,12	22,20
Fe ₂ O ₃	29,27	29,22
MnO	< LQ	24,00
MgO	< LQ	0,37
CaO	0,87	0,13
Na ₂ O	11,35	< LQ
K ₂ O	0,37	0,49
P ₂ O ₅	< LQ	0,12
SO ₃	0,23	-
LOI (%)	8,28	15,28
Soma (%)	99,06	99,73

Os óxidos de maior percentual na composição química da lama vermelha calcinada à 600°C são o ferro (Fe₂O₃), a alumina (Al₂O₃), a sílica (SiO₂) e sódio (Na₂O). A presença dos três primeiros óxidos, são consequência da composição química da bauxita, assim como a presença do Na₂O deve-se à utilização de hidróxido de sódio na etapa da digestão do processo Bayer. Já no manganês, seus óxidos principais são o ferro (Fe₂O₃), manganês (MnO), alumina (Al₂O₃), e sílica (SiO₂).

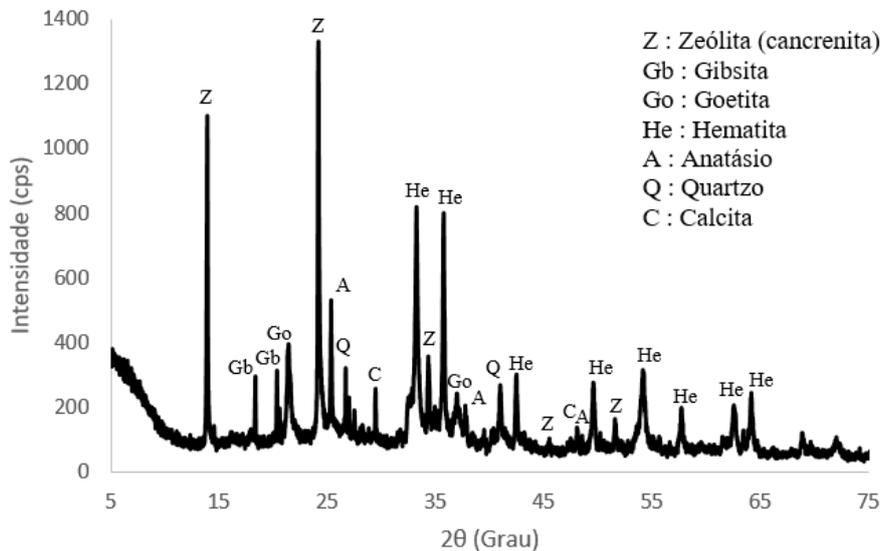
A partir deste ensaio, podemos inferir que a lama vermelha atende em sua maioria os critérios químicos da norma NBR 12653 (ABNT, 2015) que prescreve os requisitos para um material ser considerado pozolânico, onde sua somatória de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ é de 73,11%, e o critério para classificação de pozolana da classe N, C e E é de ≥ 70%. Bem como, seu teor de SO₃ é de 0,23% atendendo o limite normativo da classe N de ≤ 4%, e sua perda ao fogo de 8,28%, adequando-se ao limite da classe N que é de ≤ 10%. Todavia, a presença de 11,35% de Na₂O, excede o limite de das classes.

Já o rejeito de manganês, deixa de atender dois requisitos mínimos, o da somatória dos óxidos principais, tendo um valor de 58,27%, abaixo do mínimo de 70%, bem como o de perda ao fogo, tendo um valor de 15,28%, acima do estabelecido de ≤ 10% na classe N. Portanto, pode-se afirmar que o rejeito de manganês não se classifica como material pozolânico.

3.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

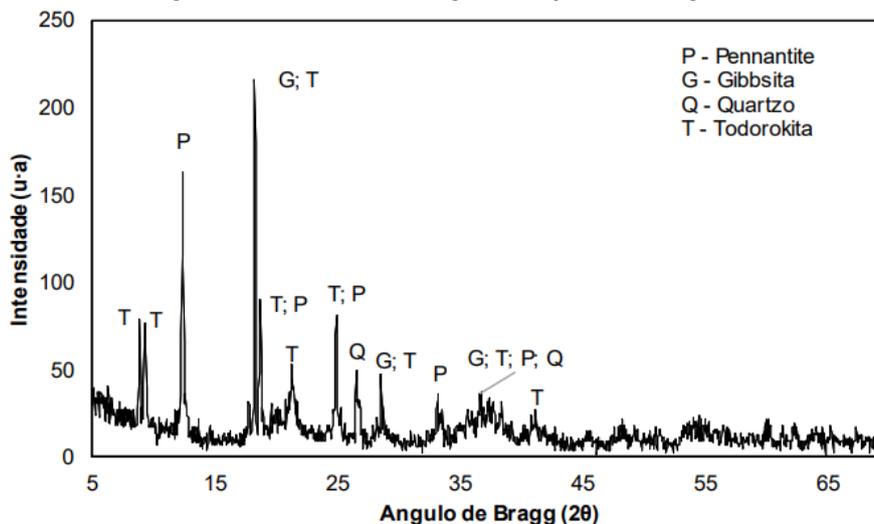
A Figura 3 apresenta a análise mineralógica da lama vermelha calcinada à 600°C e a Figura 4 a análise mineralógica do rejeito de manganês.

Figura 3 – Análise mineralógica da lama vermelha calcinada à 600°C.



As fases detectadas na lama vermelha calcinada à 600°C mostra picos de cancrenita, gibsita, goetita, hematita, anastásio, quartzo e calcita. Também há presença de ténue halo amorfo, considerando-se assim, a possibilidade de comportamento pozolânico.

Figura 4 – Análise mineralógica do rejeito de manganês.



O diagrama mineral indica a presença dos minerais Penantita $(\text{Mn}_{5+2}\text{Al})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, Gibbsite $(\text{Al}(\text{OH})_3)$, Todorokita $(\text{Mn}_6\text{O}_{12}(\text{H}_2\text{O})_2)$, quartzo

(SiO₂) e a identificação de halos amorfos, podendo assim apresentar uma possível reatividade quando em contato com o hidróxido de cálcio.

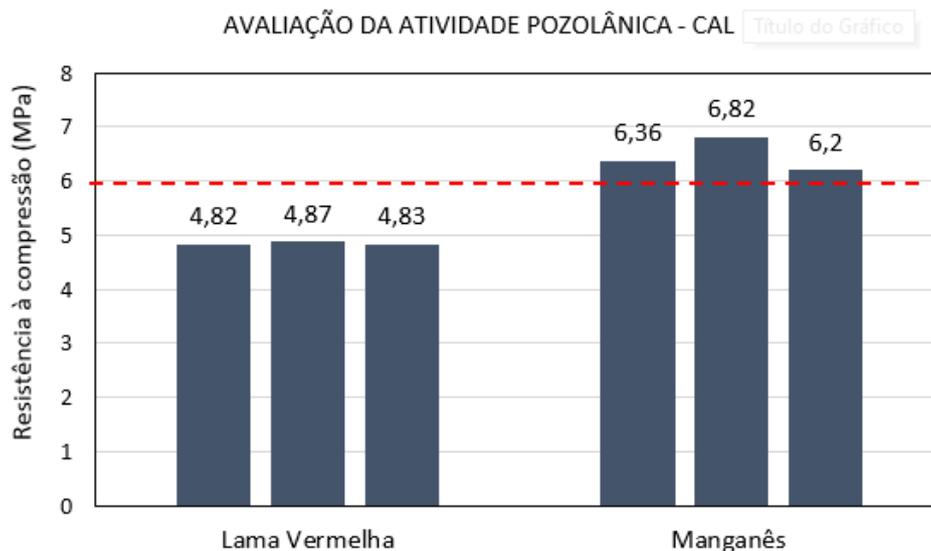
3.4 ÍNDICE DE POZOLANICIDADE COM CAL

Para o ensaio de Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal da NBRR 5751 (ABNT,2015), foram moldados 6 corpos de prova dosados em proporções de cal e areia de 1 pra 9, sendo 3 com adição de lama vermelha e 3 com manganês nas proporções da Tabela 6. Os resultados do rompimento sob compressão simples aos 7 dias de idade são apresentados na Figura 5.

Tabela 6 – Dosagem das argamassas para análise de atividade pozolânica com cal.

Amostra	Cal (g)	Pozolana (g)	Areia (g)
Lama Vermelha	104	235,20	936
Manganês	104	226,15	936

Figura 5 – Resultados do ensaio de atividade pozolânica com cal.



Observa-se que o manganês obteve resultados melhores que da lama vermelha, tendo sua média de resistência à compressão de 6,46 MPa, atendendo aos requisitos físicos mínimos da NBR 12653 (ABNT, 2015), de valores maiores ou iguais a 6,0 MPa. Em contrapartida, a média de resistência mecânica da lama vermelha foi de somente 4,8 MPa, atingindo 80% do valor requerido, não atendendo os requisitos normativos.

3.5 ÍNDICE DE POZOLANICIDADE COM CIMENTO

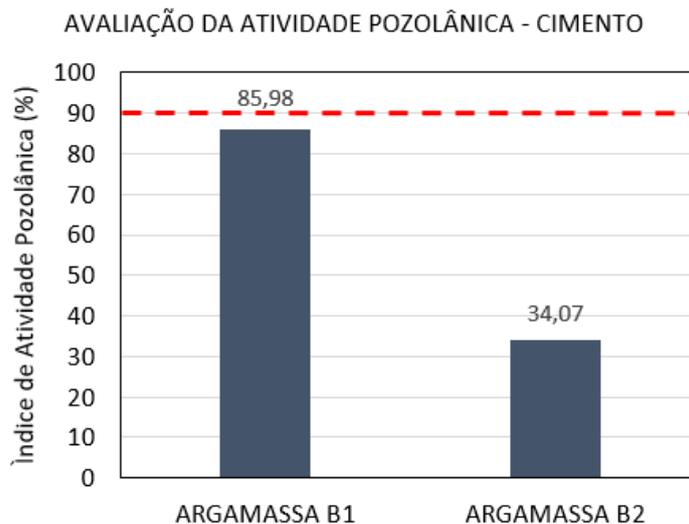
No ensaio de Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland aos 28 dias, da NBR 5752 (ABNT,2014), foram produzidos 4 corpos de prova da Argamassa A, a de referência, e duas Argamassas B, sendo a B1 com lama

vermelha e a B2 com manganês. Os corpos de prova foram submetidos a ruptura aos 28 dias de idade como prescrito na norma e duas dosagens são apresentadas na Tabela 7. Os resultados são mostrados na Figura 6.

Tabela 6 – Dosagem das argamassas para análise de atividade pozolânica com cimento.

Amostra	Cimento (g)	Pozolana (g)	Areia (g)	Água (ml)
ARGAMASSA A	624	-	1872	300
ARGAMASSA B1	468	156	1872	300
ARGAMASSA B2	468	156	1872	300

Figura 6 – Resultados do ensaio de atividade pozolânica com cimento aos 28 dias.



Os resultados dos índices de atividade pozolânica demonstram que tanto a amostra de lama vermelha calcinada à 600°C, quanto o manganês, não apresentam o índice de atividade pozolânica mínimo de 90%, quando avaliadas pela metodologia da NBR 5752 (ABNT, 2014). Entretanto, faz-se necessário um estudo complementar da lama vermelha, uma vez que seu índice de 85,98% obteve valor muito próximo ao requerido por norma. Bem como, foi constatado uma divergência nos resultados em relação ao material manganês, onde o mesmo atendeu critérios da análise com cal, porém, não atendeu os critérios com o cimento.

4 CONCLUSÕES

Em relação à caracterização física dos materiais, tanto a lama vermelha quanto o manganês apresentaram massa específica próxima do cimento Portland e de outros tipos de pozolanas utilizadas em confecção de cimentos.

Na análise química dos materiais, o ensaio de fluorescência de raios X mostrou que a lama vermelha possui o teor dos óxidos principais acima do requerido pela norma, assim como o teor de SO₃ e a propriedade de perda ao fogo ficou abaixo do limite

prescrito na normatização. Entretanto, seu teor de álcalis ficou quase 8 vezes acima do limite, portanto, a lama vermelha não pode ser considerada um material pozolânico. Todavia, necessita-se avaliar melhor esta característica a fim de determinar a influência deste teor em misturas cimentícias.

No manganês, a avaliação das propriedades químicas somente teve resultados positivos em relação ao limite de SO_3 e teor de álcalis, portanto, não podendo ser considerada um material pozolânico.

A difratometria de raios X dos materiais apresentou resultados de um tênue halo amorfo, tendo a lama vermelha picos de cancrenita, gibsita, goetita, hematita, anastásio, quartzo e calcita, enquanto que o managês apresentou picos de penantita, gibbsita, todorokita e quartzo.

Na determinação do índice de atividade pozolânica com cal e cimento Portland, a lama vermelha apresentou comportamento abaixo do requerido nos dois ensaios, mesmo alcançando resultados bem próximos aos prescritos em norma. Entretanto, o manganês apresentou comportamento satisfatório no ensaio com a cal, porém, no ensaio com cimento Portland ficou muito abaixo do mínimo requerido., evidenciando assim, seu comportamento não pozolânico.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 5752**. Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 12653**. Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 16605**. Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. **Brasil, 2010**.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Mineração. **Relatório Anual do IBRAM**. Brasil, 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral - Ministério de Minas e Energia. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.dnpm-pe.gov.br/Detalhes/Hematita.htm>>. Acesso em 18 de Ago. 2019.

BRITO, D. C. **Mineração, desinvolvimento e impacto sócio-ambiental**: uma experiência de exploração de manganês na Amazônia, Papers do NAEA, V. 38, 1995.

DÍAZ, B., F. L.; RAMÓN NÓVOA, X.; PÉREZ, M.C. Chloride and CO₂ transport in cement paste containing red mud. **Cement & Concrete Composites**, United Kingdom, v. 62, p. 178-186, 2015.

DRUMMOND, J. A.; PEREIRA, M. DE A. P. **O Amapá nos tempos do manganês**: Um estudo sobre o desenvolvimento de um estado amazônico - 1943-2000. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil**: uma abordagem epistêmica. Orientador: Abdias Magalhães Gomes. 2010. 105 f. Dissertação (Construção Civil)-Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GHALEHNOVI, M; SHAMSABADI, E. A.; KHODABAKHSHIAN, A.; SOURMEH, F.; BRITO, J. de; Self-compacting architectural concrete production using red mud. **Construction and Building Materials**, EUA, v.226, p. 418-427, 2019.

MAGALHÃES, Edilson Marques. **Estudo da Extração de Compostos de Ferro da Lama Vermelha Visando a Concentração e/ou Extração de Compostos de Titânio**. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

MANFROI, Eliz Paula. **Avaliação da Lama Vermelha como Material Pozolânico em Substituição ao Cimento para Produção de Argamassas**. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MEHTA, P. K, MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2008. São Paulo: IBRACON, 1a Edição, p. 289-307.

MONTINI, M.; GALLO, J.B; MARTINS, L.T; MAIA, E.L; YAMAMOTO, C.F.; LOURENÇO, R.R; RODRIGUES, J. A. **Aplicações do resíduo de bauxita e da cinza pesada da indústria do alumínio na fabricação de cimento Portland**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica ,53, 2009, Guarujá, SP.

RIBEIRO, D.V; MORELLI, M.R. **Estudo da viabilidade da utilização do resíduo de bauxita como adição ao cimento Portland**. In: In: CBECiMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 18, 2008, Pernambuco.

SINGH, M; UPADHAYAY, S. N; PRASAD, P. M. Preparation of special cements from red mud. **Waste Management**, EUA, v.16, n. 8, p. 665-670, 1996.

TSAKIRIDIS P.E; LEONARDOU, S. A. Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker. **Journal of Hazardous Materials**, Netherlands, v. 116, p. 103-110, 2004.

VIVEIROS, Danielle de Cássia Santos de. **Rejeito do minério de manganês como material de construção civil**. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.