ESTUDO DAS MELHORES PROPORÇÕES DE MISTURAS CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE SILÍCIO METÁLICO COMO ADIÇÃO MINERAL PARA O CIMENTO PORTLAND NA AMAZÔNIA

STUDY OF THE BEST PROPORTIONS OF CEMENT MIXTURES WITH SILICON METALLIC WASTE AS MINERAL ADDITION FOR PORTLAND CEMENT IN THE AMAZON

Rodrigo Rodrigues da Cunha
Instituto Federal do Pará | Belém – PA | rodrigo.rodrigues@ifpa.edu.br

Alcebíades Negrão Macedo
Universidade Federal do Pará | Belém – PA | anmacedo@ufpa.br

Andrielli Morais de Oliveira
Universidade Federal de Goiás | andriellimorais@ufg.br

Nathalia Cristina Nogueira Gonçalves da Cunha
Faci - Wyden | Belém – PA | ncngcunha05@gmail.com

Resumo

O processo de produção do cimento na Amazônia gera diversos impactos ambientais negativos, principalmente os relacionados a emissão de CO_2. Diante disso, diversos estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de indicar materiais que possam vir a minimizar e/ou substituir o consumo do clínquer. Neste sentido, o objetivo dessa pesquisa reside na investigação, por meio de um estudo experimental, da viabilidade técnica de utilização do resíduo de silício metálico, em substituição à pozolana comercial tradicional, para a produção de um cimento composto do tipo CPII-Z-32. Para tanto, foram formulados blends de cimento em 4 (quatro) diferentes composições, cujos resultados físico-químicos e mecânicos foram comparados com os da amostra de cimento tradicional (produzido com pozolana comercial). Os resultados dos ensaios de perda ao fogo, área específica, granulometria a laser, índice de finura e resistência à compressão axial, indicaram que a adição deste subproduto altera positivamente várias características do cimento, aumentando o seu desempenho mecânico, visto que as amostras produzidas com um percentual de até 22,5% de substituição a pozolana comercial por resíduo de silício metálico da Amazônia, apresentaram resultados superiores aos do cimento de referência.

Palavras-chave: Adição mineral; Resíduo de Ferro Silício Metálico; Cimento.

ABSTRACT

The cement production process in the Amazon generates several negative environmental impacts, mainly those related to CO_2 emissions. Given this, several studies have been developed with the aim of indicating materials that could minimize and/or replace clinker consumption. In this sense, the objective of this research lies in the investigation, through an experimental study, of the technical feasibility of using metallic silicon waste, replacing traditional commercial pozzolan, for the production of a composite cement of the CPII-Z-32 type. To this end, cement blends were formulated in 4 (four) different compositions, whose physical-chemical and mechanical results were compared with those of the traditional cement sample (produced with commercial pozzolan). The results of fire loss tests, specific area, laser granulometry, fineness index and resistance to axial compression, indicated that the addition of this by-product positively alters several characteristics of the cement, increasing its mechanical performance, since the samples produced with a percentage of up to 22.5% replacing commercial pozzolan with silicon metal waste from the Amazon, presented results superior to those of the reference cement.

Keywords: Mineral addition; Iron Silicon Metallic Waste; Cement.

1 INTRODUÇÃO

O processo de produção de cimento Portland na Amazônia gera potenciais danos ao meio ambiente, principalmente no que diz respeito aos níveis de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, decorrente da etapa de calcinação do cimento. Neste sentido, várias pesquisas foram elaboradas, visando avaliar a viabilidade técnica do uso de novas adições capazes de atender a demanda do produto e ao mesmo tempo manter as características desejáveis de desempenho do cimento Portland. Os estudos voltados a utilização do resíduo de silício metálico da Amazônia, obtido do pré-separador, indicam que este é um material promissor para ser empregado na produção de cimento Portland como adição pozolânica. O artigo publicado por [1] comprova que este subproduto, ao passar por um processo de beneficiamento (moagem por um tempo de 60 minutos), apresenta potencial para ser utilizado como adição pozolânica em misturas cimentícias. Face ao exposto, o presente trabalho é uma continuidade do estudo citado acima, cujo objetivo é descrever os procedimentos empregados para a produção e caracterização físico-química das misturas cimentícias, executadas com a substituição parcial de pozôlana comercial por resíduo de ferro silício metálico moído, e indicar a viabilidade técnica do produto para a fabricação do cimento composto do tipo CPII-Z-32.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação dos blends de cimento composto, foram utilizados os seguintes materiais: Resíduo de ferro silício metálico; água, clínquer, gipsita, adição pozolânica a base de escória de gusa e material carbonático. O resíduo utilizado neste estudo é proveniente da produção do ferro silicato da região sudeste do estado do Pará, e será identificado nesta pesquisa como Resíduo de Ferro Silício Metálico - RFSM. Este material, após a coleta, passou pelo processo de beneficiamento, conforme descrito no trabalho [1]. A areia utilizada foi a descrita pela [2]. Tanto o clínquer quanto a gipsita e a adição pozolânica foram doados pela empresa cimento verde do Brasil (CVB). As misturas de cimento fabricadas neste estudo foram comparadas com o cimento de referência (CPII-Z-32), que é produzido pela referida empresa. As composições dos cimentos que foram estudados estão especificadas na Tabela 1. Observa-se que além do cimento de referência, foram produzidas misturas cimentícias que tiveram a substituição de parte da adição pozolânica tradicional, em massa, pelo resíduo de ferro silício metálico, nas proporções de 20%, 50%, 75% e 100%.

Tabela 1 - Formulação das misturas cimentícias

NOMENCLATURA	% DOS COMPONENTES EMPREGADOS			
	CLÍNQUER+GIPSITA	ADIÇÃO POZOLANICA CONVENCIONAL	RESÍDUO RSMM	MATERIAL CARBONÁTICO
CREF	65	30	-	5
C25RSMM	65	22,5	7,5	5
C50RSMM	65	15	15	5
C75RSMM	65	7,5	22,5	5
C100RSMM	65	-	30	5

A fim de avaliar as características físico-químicas, bem como as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos com o uso de resíduo do beneficiamento do silício metálico, foram realizados os ensaios de: perda ao fogo; granulometria a laser; área específica; índice de finura e resistência à compressão axial. A perda ao fogo nas misturas avaliadas foi determinada pelo procedimento descrito na [3]. A distribuição de tamanho dos grãos das amostras foi especificada a partir do uso de um analisador de partículas a laser da marca Mastersizer 2000, acessório um da Malvern Instruments. A determinação da finura dos blends de cimento foi realizada de acordo com o procedimento descrito na [4]. O ensaio de resistência à compressão axial foi executado de acordo com a metodologia estabelecida na [5].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERDA AO FOGO

A Tabela 2 apresenta os valores de perda ao fogo, percentual de resíduo insolúvel, de Óxido de Magnésio MgO e Trióxido de enxofre SO_3. O material analisado nessa pesquisa se enquadra na classe N, descrita na norma [6]. Neste sentido, os resultados auferidos, para todas as amostras analisadas, atendem

aos limites estipulados pelo referido documento normativo, uma vez que o percentual de perda ao fogo dos blends é ≤ a 10% e o percentual de trióxido de enxofre SO_3, inferior a 4%. Deste modo, o material em questão pode ser considerado pozolânico. As amostras com menor quantidade de resíduo de silício C25RSMM, C50RSMM e C75RSMM apresentaram valores para a perda ao fogo muito próximos dos obtidos pelo cimento convencional. Todavia, para a amostra C100RSMM houve um aumento considerável dessa variável, que segundo a explicação dada por [7], se deve a decomposição do carbonato de cálcio, ocasionada pela redução do uso do clínquer e consequente liberação de CO_2.

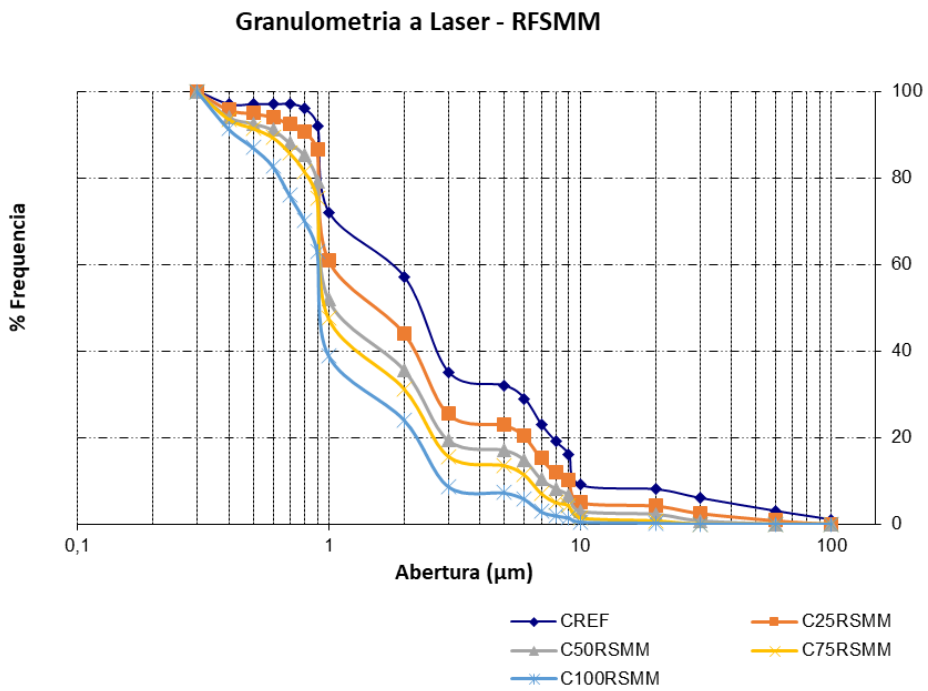
Tabela 2 – Resultados do ensaio de perda ao fogo das composições analisadas

Cimento	**Perda ao Fogo PF (%)**	**Resíduo Insolúvel RI (%)**	**Óxido de magnésio MgO (%)**	**Trióxido de enxofre SO_3 (%)**
	NBR NM 18 (ABNT 2012)	NBR NM 15 (ABNT, 2012) NBR NM 22 (ABNT, 2012)	NBR NM 18 (ABNT, 2012)	
	Limite Normativo ≤ 8,5	Limite Normativo ≤ 18,5	Limite Normativo -	Limite Normativo ≤ 4,5
CREF	4,23%	6,21%	2,23%	3,21%
C25RSMM	4,74%	6,57%	2,31%	3,40%
C50RSMM	4,65%	6,38%	2,54%	3,54%
C75RSMM	3,94%	5,26%	2,30%	2,65%
C100RSMM	7,10%	5,58%	2,30%	2,87%

3.2 GRANULOMETRIA A LASER, ÁREA ESPECÍFICA E ÍNDICE DE FINURA

Nenhuma amostra atendeu aos limites de área específica da referência [8], pois todas superaram 2800 cm²/g. No entanto, todos os blends de cimento obedeceram os critérios da referência [9], com finura ≤ 10% na peneira mesh 200. O gráfico da Figura 1 mostra que há uma relação direta entre a quantidade de resíduo incorporado e o aumento da finura do material. O resíduo de silício metálico tem maior área específica que o clínquer e a adição pozolânica, conforme mostrado por [10], o que pode aumentar a hidratação do cimento e, consequentemente, a resistência mecânica do compósito. Entretanto, a mistura pode exigir mais água devido à diminuição do índice de consistência, causada pela absorção aumentada pelos grãos finos do resíduo.

Figura 1 – Distribuição granulométrica das composições analisadas

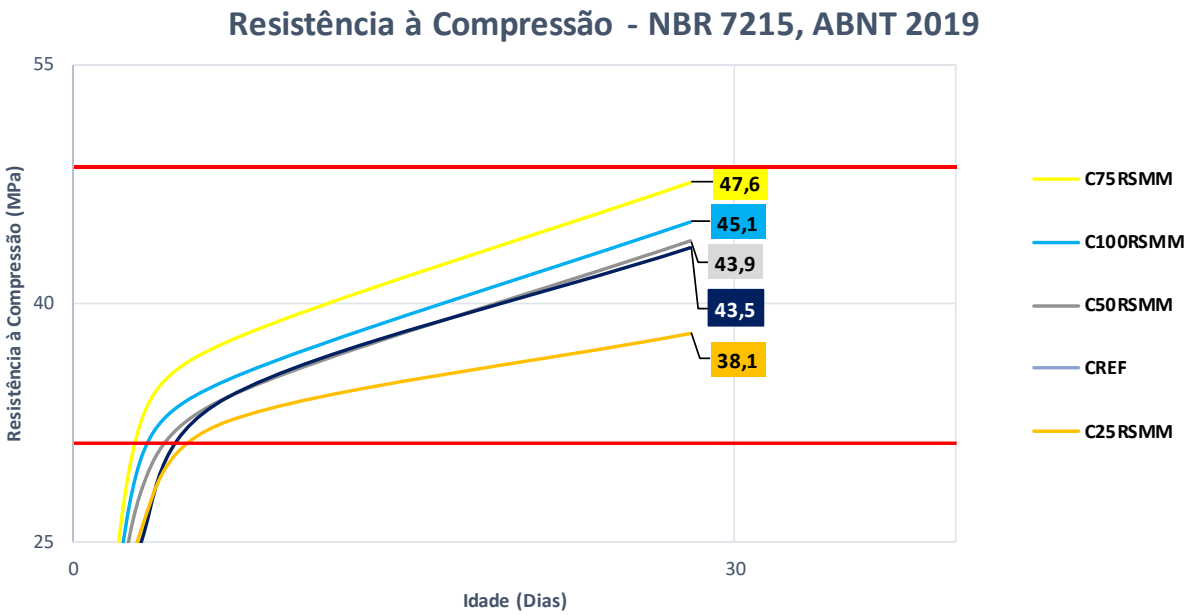


Fonte:elaborado pelo autor

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O Gráfico da Figura 2 ilustra a evolução da resistência à compressão dos cimentos em função da idade de rompimento dos corpos de prova. A norma [11] estabelece que para o cimento do tipo CP II-Z-32, a resistência mínima à compressão a ser alcançada pelo compósito, aos 28 dias de cura, deve ser de 40MPa. Observa-se que todas as amostras alcançaram este valor, com exceção da composição C25RSMM.

Figura 2 – Resultados de resistência à compressão das composições analisadas



Fonte:elaborado pelo autor

Ao substituir até 30% da pozolâna comercial por resíduo de silício metálico, a resistência mecânica dos compósitos aumentou em relação ao cimento de referência. Esse aumento foi proporcional até 22,5% de adição de resíduo (amostra C75RSMM), após o qual houve uma leve redução na resistência do material.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, por meio deste trabalho, comprovam que o resíduo de silício metálico Amazônico se mostra promissor para o uso como adição em cimento do tipo CP II-Z-32, em substituição a pozôlana comercial tradicional. Tal uso contribuiria para a mitigação dos impactos ambientais provocados pela deposição inadequada do resíduo de silício metálico, bem como pelo processo de geração do clínquer. Verificou-que a adição deste subproduto altera positivamente várias características do cimento. No que se refere a perda ao fogo, todas as amostras analisadas se enquadraram dentro do limite estabelecido pela [6] para ser considerado como material pozôlanico. Em relação a área específica, nenhuma das amostras atendeu aos requisitos dispostos na [4], pois os materiais apresentaram valores superiores a 2800 cm²/g. Foi verificado que pelo fato de o resíduo de silício metálico possuir um maior índice de finura, os blends de cimento produzidos com este material apresentam um perfil granulométrico mais fino o que impactou diretamente na velocidade de hidratação do cimento, fazendo com que houvesse uma diminuição no tempo de início de pega das pastas cimentícias. Todavia, todas as misturas apresentaram resultados de acordo com os limites estabelecidos pela [11] e [12]. Por fim, os resultados referentes a resistência à compressão dos protótipos demonstraram que todas as amostras, a exceção da amostra C25RSMM, alcançaram os limites estipulados pela [11] para rompimento dos corpos de prova, aos 28 dias de cura, alcançando uma resistência superior a 40MPa. Neste sentido, foi observado que a incorporação do resíduo de silício metálico contribui para que haja uma melhora no desempenho mecânico do cimento, visto que as amostras produzidas com um percentual de até 22,5% de substituição da pozolana comercial por resíduo de silício metálico apresentaram resultados superiores aos do cimento de referência.

REFERÊNCIAS

[1] R. R. CUNHA, Emprego de resíduo de resíduo de silício metálico na produção de cimento Portland composto, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Pará, (2017).
[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7214, Areia normal para ensaio de cimento – Especificação, Rio de Janeiro: ABNT, (2015).
[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 18: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo, Rio de Janeiro, (2012).
[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16372: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine), Rio de Janeiro, (2015).
[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, (2019).
[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos, Rio de Janeiro, (2015).
[7] G. V. SILVA, S. P. T. BORGES, A. G. BARAÑANO, Propriedades físicas, químicas e mecânicas dos cimentos tipo CPI e CPV obtidos com diferentes proporções com fíler de calcário, In: Research, Society and Development, v. 10, nº 13, (2021) 2525-3409.
[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16372: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine), Rio de Janeiro, (2015).
[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), Rio de Janeiro, (2013).
[10] R. R. CUNHA, Emprego de resíduo de silício metálico como material pozolânico na produção de cimento Portland composto, Tese de Doutorado - Universidade Federal do Pará, (2022).
[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos, Rio de Janeiro, (2018).
[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16606: Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal, Rio de Janeiro, (2018).