PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS COM ESCÓRIA DE FORNO PANELA E CINZA DE CASCA DE ARROZ

Tema: Inovação em argamassas e revestimentos.

TAYNA F. SILVA[1], EVERTON F. CORDOVA DE SOUZA[2], GISLEIVA CRISTINA S. FERREIRA[3], ARMANDO LOPES MORENO JUNIOR[4]

[1] Doutoranda, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FECFAU/UNICAMP, t261851@dac.unicamp.br
[2] Doutorando, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FECFAU/UNICAMP, e233480@dac.unicamp.br
[3] Profª. Drª., Faculdade de Tecnologia – FT/UNICAMP, gisleiva@unicamp.br
[4] Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FECFAU/UNICAMP, armoreno@unicamp.br

RESUMO

A Escória de Forno Panela (EFP) apresenta propriedades hidráulicas devido sua composição química, o que viabiliza o seu uso como ligante complementar em materiais cimentícios. Mas o método de resfriamento que origina a EFP proporciona a formação de compostos cristalinos ($Ca(OH)_2$), os quais podem ser consumidos com a adição de pozolanas. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi determinar as propriedades mecânicas de argamassas cimentícias com substituição de cimento Portland por 30% de EFP e 10% de cinza de casca de arroz (CCA). Os resultados indicaram que a CCA foi fundamental para conservar as propriedades mecânicas, em relação ao traço referência.

Palavras-chave: resíduos industriais, ligante complementar, materiais sustentáveis, pozolanas.

MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENTICIOUS MORTARS WITH LADLE FURNACE SLAG AND RICE HUSK ASH

ABSTRACT

The Ladle Furnace Slag (LFS) has hydraulic properties due to its chemical composition, which enables its use as a complementary binder in cementitious materials. But the cooling method that originates the LFS provides the formation of crystalline compounds ($Ca(OH)_2$), which can be consumed with the addition of pozzolans. Therefore, the objective of this research was to determine the mechanical properties of cementitious mortars with Portland cement replacement by 30% LFS and 10% rice husk ash (RHA). The results indicated that the RHA was essential to preserve the mechanical properties, in relation to the reference mixture.

Key-words: industrial waste, complementary binder, sustainable materials, pozzolans.

1. INTRODUÇÃO

O setor siderúrgico gera anualmente cerca de 19 milhões de toneladas de resíduos sólidos([1]), entre os quais destaca-se a escória de forno panela (EFP), obtida durante o refino secundário do aço, nos fornos de aciaria. Sua composição química deriva essencialmente da matéria-prima (sucata) utilizada nas ligas metálicas e do método de resfriamento adotado([2,3]), apresentando altos teores de CaO, $Ca(OH)_2$ e SiO_2([4]). Com isso, há muitos estudos sobre o uso da EFP como ligante complementar em matrizes cimentícias([4,5]).

Entretanto, os altos teores de compostos cristalinos presentes na EFP, podem dificultar as reações químicas dos ligantes hidráulicos. Para potencializar a formação dessas reações, é comum a utilização de pozolanas, como metacaulim e cinza de casca de arroz (CCA), materiais ricos em sílica, que combinados com hidróxido de cálcio livre, formam silicato de cálcio hidratado, acarretando assim aspectos de maior resistência e durabilidade ([6]).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades mecânicas de argamassas cimentícias com substituição de cimento Portland (CP) nos teores de 30% e 10% (em massa), por EFP e CCA, respectivamente. Assim, foi possível determinar o desempenho da combinação da EFP, conjuntamente com a CCA, comparando argamassas com essa mistura e convencionais (100% CP).

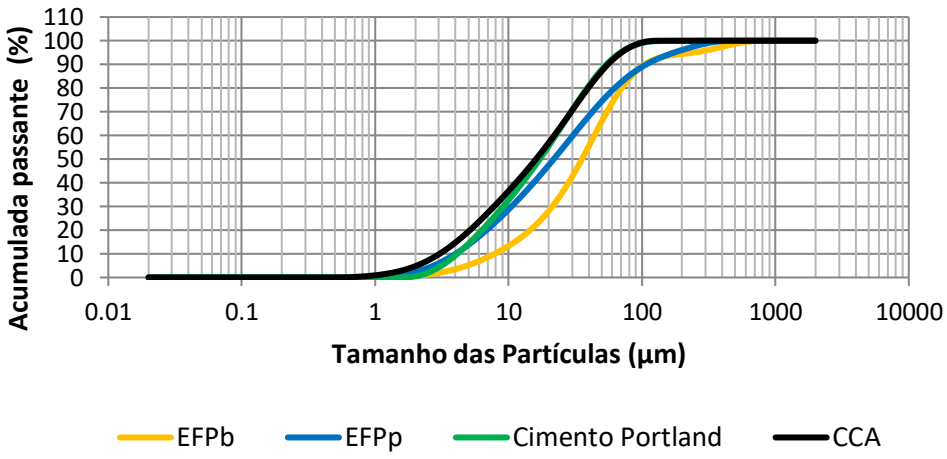
2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

A amostra de EFP foi fornecida por uma empresa do setor siderúrgico da região de Limeira, SP, obtida pelo método de resfriamento ao ar (lento). Para o seu uso como ligante complementar realizou-se um pré-processamento (moagem e peneiramento), sendo utilizado o material passante na peneira com abertura de 0,6 mm, conforme metodologia definida por Pereira([7]). Esse procedimento resultou em uma curva granulométrica semelhante àquelas do CP e CCA (Figura 1). Para essa pesquisa definiu-se o CP II-F em função da composição química, que não inclui a incorporação de outros tipos de escória. Também se obteve os valores de massa específica do CP, EFP e CCA, conforme NBR 16605([8]), sendo 3,00 g/cm³, 2,70 g/cm³ e 2,05 g/cm³, respectivamente. A densidade da EFP pode ser justificada pelas reações que ocorreram durante o seu resfriamento([2,4,9]). A areia utilizada foi do tipo quartzosa (AQ), oriunda da britagem de rochas, que apresentou massa específica de 2,65 g/cm³, conforme NBR 16916([10]). Para a caracterização química, realizou-se os ensaios de Fluorescência de Raios-X (FRX) e perda ao fogo (PF), cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que as amostras de EFP e CP apresentam alto teor de CaO (55% e 63%, respectivamente),

bem como outros elementos químicos (FeO_2; SiO_2), também importantes para se obter reações químicas hidráulicas([4]).

Figura 1 - Curva granulométrica dos materiais



Fonte: Autor

Tabela 1 – Composição química dos materiais.

Amostra	Compostos químicos (%)						PF (%)
	CaO	SiO_2	MgO	Fe_2O_3	MnO	SO_3	
EFP	54,6	9,78	5,79	7,59	7,29	0,60	12
CP	63,4	12,4	2,83	3,86	0,19	2,76	10,8
CCA	1,67	88,95	-	0,17	1,16	-	-

2.2. Métodos

Para este estudo fixou a proporção de substituição de CP por EFP em 30% em massa, apontada como teor ótimo, conforme estudos de Pereira([7]) e Najm et al.([9]). O traço das argamassas foi 1:3 (ligante:agregado) em massa, e a relação água/ligante foi definida conforme ensaio de Flow Table (NBR 13276([11])). Para verificar a eficiência da presença da CCA nas argamassas com EFP, utilizou-se 10% em substituição ao CP. A Tabela 2 apresenta os traços de argamassas, juntamente com a caracterização no estado fresco, conforme NBR 13277([12]) e NBR 13278([13]). Para a determinação das propriedades mecânicas foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão (Rt) e compressão (Rc) (NBR 13279([14])) e módulo de elasticidade dinâmico (Ed) (NBR 15630([15])), aos 28 e 180 dias de cura.

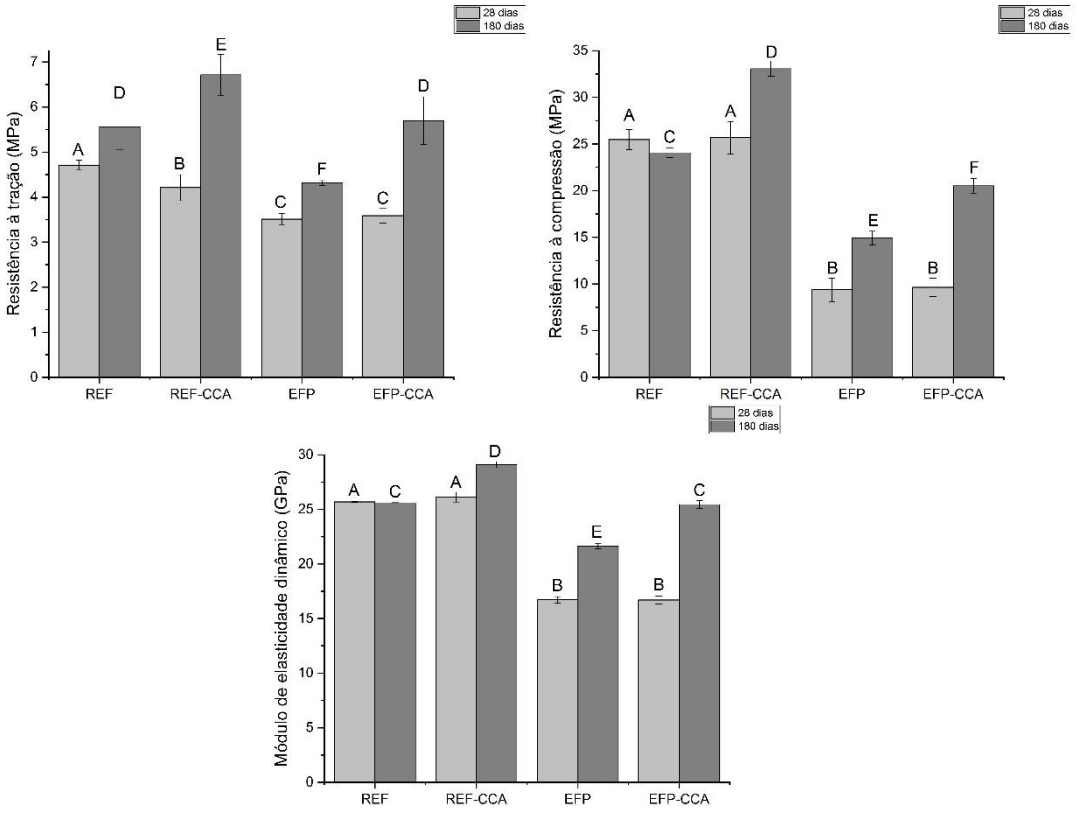
Tabela 2 – Proporções dos materiais e parâmetros do traço de argamassa 1:3, em massa.

Identificação	Ligante			Areia	Flow Table (mm)	Relação a/a	Retenção de água (%)	Densidade (kg/m^3)	Teor de ar incorporado (%)
	Cimento	EFP	CCA						
REF	1	0	0	3	260	0,63	83	2153	3
REF-CCA	0,9	0	0,1	3	261	0,65	82	2137	2
EFP	0,7	0,3	0	3	262	0,64	82	2083	5
EFP-CCA	0,6	0,3	0,1	3	258	0,66	84	2130	2

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os resultados das argamassas no estado endurecido, analisados através dos métodos estatísticos ANOVA e Fisher Test (as letras acima das barras representa os grupos homogêneos, ou seja, as letras iguais para cada traço e propriedade mecânica, indicam valores estatisticamente iguais).

Figura 2 – Resultados de determinação das propriedades mecânicas das argamassas, aos 28 e 180 dias de cura.



Fonte: Autor

Ao analisar os dados da Figura 2, verifica-se que ocorreu redução significativa nas propriedades mecânicas avaliadas (Rt; Rc; Ed), para os traços com EFP e EFP-CCA, quando comparamos com os traços REF e REF-CCA, considerando a idade de 28 dias de cura. Esse comportamento corrobora os resultados obtidos na literatura ([5]). Já para a idade de 180 dias, a adição de CCA foi fundamental, pois foi possível manter as propriedades mecânicas ou até aumentar (Rt), quando comparamos os traços REF com aqueles com EFP e CCA. Para a Rc, os traços EFP e EFP-CCA, tiveram um acréscimo de 59% e 113%, em comparação com os 28 dias, comprovando assim, que a EFP e CCA, precisam de um maior tempo para suas reações de hidratação e aumento de resistência mecânica. O efeito da CCA foi significativo nesta propriedade, mas não o suficiente para igualar os valores aos traços REF. Ao considerar o Ed, verifica-se que apenas o traço EFP-CCA apresentou resultados estatisticamente iguais ao traço REF, após 180 dias de cura. Vale destacar, que esse comportamento infere conceitos de economia circular às argamassas com EFP e CCA, pois há uma redução de 30% do consumo de CP. O aumento das propriedades mecânicas avaliadas ocorreu devido às reações pozolânicas de hidratação (CCA) e efeito filler, que proporcionam o refinamento dos poros, ou seja, aumenta a porosidade, porém diminui o tamanho dos poros([16]).

4. CONCLUSÕES

A partir dos objetivos definidos e análise dos resultados, foi possível concluir que a combinação da EFP+CCA em substituição parcial do CP, tem efeito positivo nas propriedades mecânicas em idades avançadas (180 dias), em função das reações pozolânicas e efeito filler. Portanto, a substituição de 30% de CP por EFP, juntamente com a CCA, proporcionou reações químicas e formação de compostos que melhoraram as propriedades mecânicas avaliadas, após 180 dias de cura.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem a empresa ArcelorMittal por fornecer amostra de EFP, utilizada neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INSTITUTO AÇO BRASIL. Aço e Sustentabilidade. 2022. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/09/Folder_AcoBrasil_SUSTENTABILIDADE_2022.pdf>. Acesso em 20 fevereiro de 2023.

2. CHOI, S.; KIM, J. Hydration reactivity of calcium-aluminate-based ladle furnace slag powder according to various cooling conditions. **Cement and Concrete Composites**, v. 114, p. 103734, 2020.

3. ZHAO, J.; LIU, Q.; FANG, K. Optimization of f-MgO/f-CaO phase in ladle furnace slag by air rapidly cooling. **Materials Letters**, v. 280, p. 128528, 2020.

4. MARINHO, A. L. *et al.* Ladle furnace slag as binder for cement-based composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 11, p. 04017207, 2017.

5. HERRERO, T. et al. Effect of high-alumina ladle furnace slag as cement substitution in masonry mortars. **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 404–413, 2016.

6. NASIRU, S. et al. Properties of cement mortar containing recycled glass and rice husk ash. **Construction and Building Materials**, v. 299, p. 123900, 2021.

7. PEREIRA, V. F. R. **Utilização de Escória de Forno Panela da Indústria Siderúrgica em Matrizes Cimentícias.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 146f, 2018.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

9. NAJM, O.; EL-HASSAN, H.; EL-DIEB, A. Ladle slag characteristics and use in mortar and concrete: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, p. 125584, 2021.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916:** Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

16. SIDDIQUE, R.; KLAUS, J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. **Applied Clay Science**, v. 43, n. 3-4, p. 392-400, 2009.