PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO E AGREGADO POR CINZAS DE CARVÃO VAPOR

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081140

PADILHA; LILIAN[1]; PIROLLA; DOUGLAS LEFFA[2]; PIVA; JORGE HENRIQUE[3]; SAVI; ALINE EYNG[4]; WANDERLIND; AUGUSTO[5]; ANTUNES; ELAINE GUGLIELMI PAVEI[6]
[1]UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC; [2]UNESC; [3]UNESC; [4]UNESC; [5]UNESC; [6]UNESC.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ELAINEGPA@UNESC.NET

RESUMO: Nesta pesquisa avalia-se a influência da substituição simultânea de cinza leve e cinza pesada, obtidas da combustão de carvão vapor, em argamassa, sendo a cinza leve em substituição ao cimento e a cinza pesada em substituição ao agregado miúdo. A cinza leve foi dosada para teores de substituição ao cimento, em volume, de 10 e 30%. Já a cinza pesada, substituiu o agregado miúdo nas parcelas de 5 e 7%. Foram realizados ensaios de índice de consistência, resistência à tração na flexão, compressão, além da porosidade e absorção de água por capilaridade. Foi observado um aumento na resistência da argamassa quando incorporado apenas a cinza leve.

PALAVRAS-CHAVES: Material cimentício suplementar; cinza leve; cinza pesada, resíduo.

ABSTRACT: This research evaluates the influence of the simultaneous replacement of light fly ash and heavy fly ash, obtained from the combustion of steam coal, in mortar, being the light fly ash replacing the cement and the heavy fly ash replacing the fine aggregate. The light fly ash was dosed for cement replacement levels, by volume, of 10 and 30%. The heavy fly ash replaced the fine aggregate in 5 and 7%. Tests of consistency index, resistance to flexural traction, compression, porosity, and water absorption by capillarity were performed. An increase in mortar strength was observed when only light fly ash was incorporated.

KEYWORDS: Supplementary cementitious material; light fly ash; light fly ash; heavy fly ash, waste.

1 | INTRODUÇÃO

O cimento composto utilizado desde o início da década de 1950 reduziu o uso de clínquer, reduzindo assim as emissões de dióxido de carbono, reduzindo assim as emissões totais de dióxido de carbono por tonelada de cimento produzida (BATTAGIN, 2011)[(1)]. A indústria da construção civil costuma ser a maior usuária de subprodutos do carvão. São cada vez mais utilizados como aditivos de concreto para obter melhor desempenho de produtos frescos e endurecidos (POON, 1997)[(2)].

No setor de energia, o consumo mundial de carvão é de cerca de 4 bilhões de toneladas / ano, sendo produzida em média 475 milhões de toneladas / ano de cinzas de carvão. Entre eles, cerca de 150 milhões de toneladas são utilizados principalmente

para cimento (matéria-prima mista ou substitutos), agregados leves, cargas asfálticas, bases de pavimentos ou leitos de estradas, etc. (MANZ, 1995)[3].

A presente pesquisa tem como objetivo analisar as características físicas e as propriedades mecânicas de argamassa com substituição parcial, simultânea, do cimento por cinza leve e do agregado miúdo por cinza pesada.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O cimento Portland utilizado na pesquisa foi o CP V-ARI. O agregado miúdo trata-se de uma areia quartzosa de origem natural, utilizou-se aditivo plastificante a base de resinato de sódio. A água empregada segue as prescrições da ABNT NBR 15900-1:2009[4]. Os resíduos utilizados na pesquisa são oriundos da combustão de carvão mineral para a geração de energia elétrica de uma termelétrica da região sul do Estado de Santa Catarina. A matéria prima que deu origem a cinza leve, passou por um processo de queima em uma temperatura média de 119 ºC e foi coletada diretamente de precipitadores eletroestáticos. Já para originar a cinza pesada, o processo de queima ocorreu em temperatura média de 1100 ºC e sua coleta foi realizada propriamente das bacias de cinza.

Verificou-se a composição granulométrica da cinza pesada e do agregado miúdo conforme as diretrizes da ABNT NBR NM 248:2003[5]. O ensaio de granulometria a laser foi realizado para definição do tamanho dos grãos do cimento e da cinza leve, o equipamento utilizado para o ensaio foi o Granulômetro Cilas, modelo 1064. Realizou-se os ensaios de área específica e porosimetria, pelo método de BET (Brunauer, Emmet e Teler), para tal as amostras ficaram submersas em nitrogênio líquido durante todo o ensaio para manter a estabilidade térmica.

No estado fresco fez-se o ensaio, para a argamassa, de determinação do índice de consistência, conforme a metodologia da ABNT NBR 13276:2016([6]). Para alguns traços adicionou-se aditivo, a fim de se obter o índice de 260 mm ± 5 mm. Os ensaios para a argamassa no seu estado endurecido, foram realizados ao 28º dia após a moldagem dos corpos de prova. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão e tração na flexão, conforme as diretrizes da ABNT NBR 13276:2016[6], e utilizou-se a prensa EMIC, modelo PC200CS. O ensaio do índice de porosidade foi realizado em um Banho Dubnoff modelo 304/D, seguindo os parâmetros da ABNT NBR 9778:2005[7]. O último ensaio realizado foi o de absorção de água por capilaridade, que seguiu a ABNT NBR 15259:2005[8].

Definiu-se o traço com base no estudo elaborado por De Nes (2017)[9], adotou-se como referência o traço unitário de 1:4 (cimento : areia), em massa. A quantidade de água foi definida e fixada após o ensaio do índice de consistência, segundo as diretrizes da ABNT NBR 13276:2016[6]. Os teores de substituição de 10 e 30% para cinza leve e 5 e 7% para cinza pesada, foram determinados com base em análises de pesquisas publicadas.

A Tabela 01 indica a quantidade, em massa (kg), de cada material utilizado para produção de seus respectivos traços. O primeiro e o segundo número presentes na nomenclatura do traço, representam a porcentagem de substituição de cinza pesada e leve, respectivamente.

Traço	Cimento	Areia	**Água**	Cinza Leve	Cinza Pesada
T Ref	1,00	4,00	0,58	0,00	0,00
T 0+10	0,90	4,00	0,58	0,10	0,00
T 0+30	0,70	4,00	0,58	0,30	0,00
T 5+0	1,00	3,95	0,58	0,00	0,05
T 5+10	0,90	3,95	0,58	0,10	0,05
T 5+30	0,70	3,95	0,58	0,30	0,05
T 7+0	1,00	3,93	0,58	0,00	0,07
T 7+10	0,90	3,93	0,58	0,10	0,07
T 7+30	0,70	3,93	0,58	0,30	0,07

Tabela 1 – Composição das misturas de argamassa

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme ensaio granulométrico, o agregado possui módulo de finura de 2,37 e diâmetro máximo característico de 2,4 mm. Já, a cinza pesada, apresenta diâmetro máximo de 12,5 mm e módulo de finura de 2,65. A Figura 01 apresenta os limites da curva granulométrica da areia, da cinza pesada e das zonas utilizáveis inferior e superior, conforme repassada pela ABNT NBR 7211:2009[10].

De acordo com a Figura 01, pode-se observar que a distribuição granulométrica do resíduo, cinza pesada e da areia, atendem em sua maioria os limites da zona utilizável.

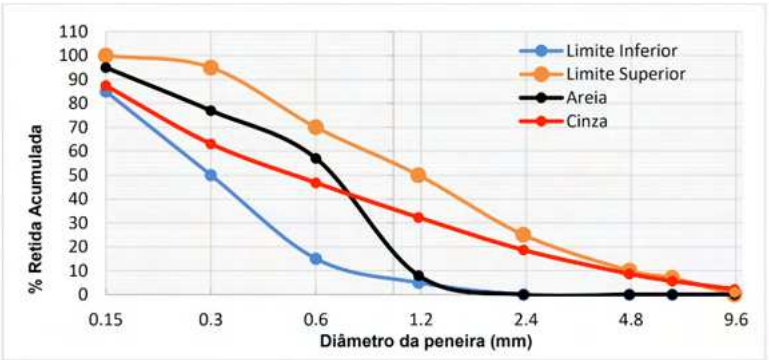

Figura 01 - Classificação das zonas, conforme NBR 7211:2009

Fonte: Autor

A Figura 02 apresenta os resultados da granulometria a laser realizada para a cinza leve. A ABNT NBR 12653:2014[11] determina que, para ser considerado um material pozolânico, a quantidade máxima de material retido na peneira 45µm deve ser de 20%. Com a análise da composição granulométrica obteve-se os valores de diâmetros efetivos

passantes nas peneiras, onde 10% das partículas possuíam granulometria inferior a 3,71 µm, 50% inferior a 24,93 µm, 90% inferior a 67,07 µm e o diâmetro médio de 31,12 µm.

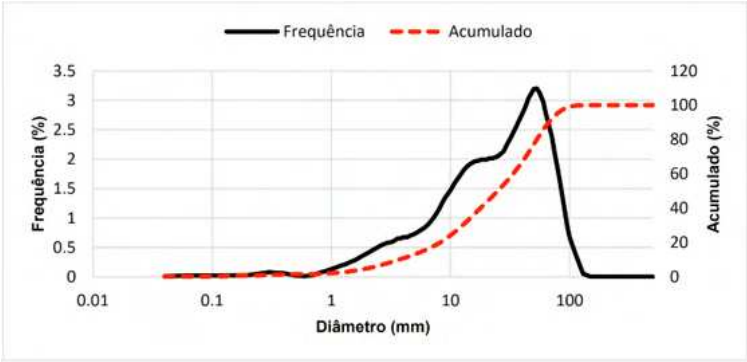

Figura 02 - Curva de distribuição dos tamanhos das partículas - cinza leve intrínseca

Fonte: Autor

Com o ensaio de área superficial específica – BET, obteve-se os resultados de 1,446 m²/g e 5,468 m²/g, para cimento e cinza leve, respectivamente. Através do ensaio de VTP (Porosimetria), observou-se que o volume total de poros presentes no cimento Portland CP V-ARI é inferior ao apresentado na cinza leve, pois o resultado do ensaio foi de 0,008356 cc/g para o cimento e 0,01378 cc/g para a cinza leve, ambos a P/P_0 de 0,978. A Tabela 02 apresenta a composição final dos traços.

Traço	Cimento	Areia	Água	Cinza Leve	Cinza Pesada	Aditivo (%)	Índice de Consistência (mm)
T Ref	1,00	4,00	0,58	0,00	0,00	0	265
T 0+10	0,90	4,00	0,58	0,10	0,00	0	255
T 0+30	0,70	4,00	0,58	0,30	0,00	0	264
T 5+0	1,00	3,95	0,58	0,00	0,05	0,0038	257
T 5+10	0,90	3,95	0,58	0,10	0,05	0,0038	264
T 5+30	0,70	3,95	0,58	0,30	0,05	0,0100	257
T 7+0	1,00	3,93	0,58	0,00	0,07	0,0053	260
T 7+10	0,90	3,93	0,58	0,10	0,07	0,0099	256
T 7+30	0,70	3,93	0,58	0,30	0,07	0,0011	256

Tabela 02 - Composição final das misturas de argamassa

Fonte: Autor

Os resultados de área específica do cimento e cinza leve, BET, indicam uma necessidade das argamassas, que continham maiores percentuais de substituição do

cimento por cinza leve, por maior quantidade de aditivo para manter-se a consistência, uma vez que, quanto maior a área específica, menor o diâmetro dos grãos e, portanto, maior a quantidade de água necessária para homogeneizar todos os grãos. No entanto, tal fato não foi verificado com efetividade, como por exemplo, citam-se o T Ref, T 0+10 e o T 0+30 em que se alterou o percentual de substituição do cimento por cinza leve e, mesmo assim, não houve a necessidade de adicionar-se aditivo plastificante para manter-se a consistência. Fato similar ocorreu com o ensaio de porosimetria do cimento e da cinza leve, pois a cinza leve, apresentou maior porosidade, entretanto, essa porosidade não ocasionou maior demanda por aditivo. Fato semelhante, ocorre com as substituições do agregado miúdo, areia, pela cinza pesada. Apesar da cinza pesada apresentar grãos maiores que a areia, os traços de argamassa com maior percentual de substituição da areia pela cinza pesada demandaram de maior quantidade de aditivo para manter-se a consistência.

A Tabela 03 apresenta os resultados acerca os ensaios da argamassa no estado endurecido, capilaridade, coeficiente de capilaridade, resistência à compressão e tração na flexão, com seus respectivos desvios padrões.

Quanto menor o coeficiente de capilaridade, menos água a argamassa irá absorver, característica positiva para as argamassas, principalmente, porque trata-se de uma prescrição para ter-se maior durabilidade. No ensaio de absorção de água por capilaridade verificou-se que os traços com inserção da cinza pesada se mostraram os com maior absorção de água por capilaridade. A mistura T0+10, apresentou o melhor resultado para o ensaio de porosidade, ou seja, possui poucos vazios para percolação de água, promovendo assim, um bom desempenho quando se tratar de infiltrações, entre outras patologias. Esse traço foi também o que apresentou maior densidade de massa, corroborando assim com o resultado de porosidade.

Visto que quanto menor o coeficiente de capilaridade, menos água o material cimentício irá absorver, para o ensaio de absorção de água por capilaridade o traço T0+10, mistura que obteve maior resistência à tração na flexão e compressão.

Traço	Coeficiente de apilaridade ($g/dm^2.min^{1/2}$)	Porosidade (%)	Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Tração na Flexão (MPa)	Desvio Padrão
Ref	0,152	7,35	23,95	1,430	5,69	0,41
T 0+10	0,117	4,51	33,52	1,730	7,50	0,50
T 0+30	0,158	4,99	26,56	1,700	5,69	0,25
T 5+0	0,121	8,38	19,78	2,090	6,07	0,75
T 5+10	0,152	6,96	18,48	2,040	5,14	0,66
T 5+30	0,215	6,02	13,71	0,960	3,61	0,16
T 7+0	0,134	9,34	14,63	0,730	4,05	0,41
T 7+10	0,085	10,97	12,9	0,880	4,27	0,16
T 7+30	0,135	7,22	14,82	0,760	4,32	0,34

Tabela 03 - Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade, porosidade, compressão e tração na flexão

Fonte: Autor

A mistura T0+10, apresentou o menor resultado para o ensaio de porosidade. O que significa que além de ter alta resistência, possui poucos vazios para percolação de água, promovendo assim, provavelmente, um bom desempenho quando se tratar de infiltrações, entre outras patologias.

O ensaio de resistência a tração na flexão, apontou um ganho de resistência de 39,96% no traço T0+10 e 10,90% no traço T0+30. Mesmo com o aumento da resistência à tração na flexão, a análise estatística mostra que o limite superior do traço referência, encontra-se dentro do desvio padrão do traço T0+30. Esta verificação demonstrou uma grande variância com demais traços, uma vez que tiveram queda significativa na resistência a compressão, ficando com valores semelhantes uns aos outros. Os melhores resultados de resistência a compressão se deram nas porcentagens de 10 e 30% de substituição, o que demonstra um resultado positivo, sendo que 10 e 30% do cimento foi substituído pelo resíduo cinza leve. A substituição influenciou também no ganho e perda de resistência à tração na flexão, das misturas em que foram realizadas as substituições, quatro apresentaram um resultado positivo quanto a esta propriedade mecânica. Os traços T0+10 e T5+0, obtiverem um ganho na resistência de 31,71 e 6,71%, respectivamente. O traço T0+30 igualou a resistência da tração na flexão do traço referência. Já a mistura T5+10, obteve uma perda na resistência média. As melhores combinações de teores de substituição para resistência a flexão são 0% de cinza pesada e 10% de cinza leve, e, 5% de cinza pesada e 0% de cinza leve.

4 | CONCLUSÕES

Conclui-se que a incorporação de cinza leve possui um grande potencial de substituição de cimento Portland em argamassas. A incorporação da cinza nas misturas de argamassa nas parcelas de 10 e 30% promoveu um aumento nas resistências à compressão e tração na flexão. O resíduo analisado nesse artigo tem potencialidade para ser utilizado como material cimentício suplementar.

A cinza pesada, mesmo com características físicas consideradas adequadas, quando utilizada na argamassa não alcançou a eficiência esperada, pois houve redução da resistência do material. No entanto, cabe salientar, que de acordo com o uso das argamassas, seja assentamento e/ou revestimento, nem sempre se necessita de elevadas propriedades mecânicas. E, portanto, deve ser analisada outras características físicas em conjunto com as propriedades mecânicas. Verificou-se, também que a combinação da substituição dos dois resíduos não funcionou com eficácia comparado ao traço referência.

Avaliando de forma conjunta os resultados, nota-se que se obteve bons resultados com as substituições, analisando que se retirou grande parte do material originalmente utilizada na produção das argamassas.

REFERÊNCIAS

1. A.F. BATTAGIN, Cimento Portland, In: G. C., ISAIA (Ed.), **Concreto: ciência e tecnologia**, Inst. Brasil. Concr., S. Paulo/SP (2011) 185-232.

2. POON, C. S., WONG Y. L., LAM, L. **The influence of different curing conditions on the pore structure and related properties of fly-ash cement pastes and mortars**. Construction and Building Materials, Vol. 11. Great Britain, p.383-393, 1997.

3. MANZ, O. E**. Worldwide Production of Coal Ash and Utilization in Concrete and Other Products**, In: 1995 INTERNATIONAL ASH UTILIZATIONS SYMPOSIUM, Lexington, Nov., 1985. Anais... Lexington, University of Kentucky Center for Applied Energy Research and the Journal FUEL. Iv., 5p.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

6. 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. 6 p.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

9. DE NES, Gabriel Furlanetto. **Análise da influência da substituição parcial do cimento portland por resíduo de rocha ornamental em argamassa**. 2017. Artigo (Curso de Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.