

ESTUDO SOBRE O USO DE CINZA PROVENIENTE DE TERMOELÉTRICAS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Kelma Pinheiro Leite⁽¹⁾; Marcelo Henrique Alves Mendes⁽²⁾; Davi Ramalho⁽³⁾; Antônio Eduardo Cabral⁽⁴⁾

(1) UFC, e-mail: kemapinheiro@yahoo.com.br;

(2) UFC, mham.engenharia@hotmail.com; (3) UFC, daviramalho@gmail.com; (4) UFC, eduardo.cabral@ufc.br.

Resumo

As usinas termoeletricas, com força motriz a partir da queima de carvão mineral, possuem elevada quantidade de cinzas, resíduo da combustão. Estas podem ser utilizadas na construção civil em substituição aos tradicionais aglomerantes. A disseminação do reuso dos resíduos não renováveis supracitados nas empresas do ramo de construção civil trata-se de mercado com plenas condições de crescimento, daí a importância dos estudos para difundir sua adoção. O presente trabalho tem como objetivo realizar estudo de viabilidade técnica para o uso de cinzas na confecção de argamassas de revestimento. A relevância de tal estudo deve-se da necessidade da redução dos impactos ambientais negativos e ao mesmo tempo, desenvolver novas tecnologias para a construção civil, com redução de custos. Por meio de ensaios laboratoriais, comparou-se uma argamassa de revestimento de traço convencional (1:5) e diversas argamassas com percentuais de cinzas (10%, 20%, 30% e 40%), em substituição ao cimento usualmente utilizado. Foram realizados ensaios de índice de consistência, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, aderência e retenção de água. Os resultados apontam que existe viabilidade no uso da cinza com percentual de substituição de 20% para o traço 1:5.

Palavras-chave: Argamassa, cinza, resíduo.

Abstract

The power plants, with motive power from burning coal, have a high amount of ash residue from combustion. These can be used in construction to replace the traditional binders. The spread of non-renewable reuse of waste cited in the companies of the construction it is with full market growth conditions, hence the importance of research to spread their adoption. The present work aims to conduct research of technical feasibility for the use of ash in the execution of mortar coating. The relevance of this study is due to the necessity of reducing the negative environmental impacts and at the same time developing new technologies for construction, while reducing costs. By laboratory tests, compared to a mortar coating trace conventional (1:5) and mortars with different percentages of ash (10%, 20%, 30% and 40%), replacing the cement usually used. Tests of consistency index, compressive strength, tensile strength in bending, adhesion and water retention. The results indicate that there is sustainability in the use of gray with the replacement percentage of 20% for the 1:5 mark.

Keywords: Mortar, ash, waste.

1. INTRODUÇÃO

A adoção das usinas termoeletricas em todo o mundo trouxe consigo preocupações relacionadas à grande quantidade de cinza remanescente da combustão do carvão mineral pulverizado e aos problemas ambientais causados pela deposição desta. O presente trabalho

apresenta estudo da incorporação de cinzas em substituição ao aglomerante (cimento) para execução de argamassas de revestimento.

Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2009), o principal combustível usado para a geração de energia elétrica no mundo é o carvão mineral e a demanda por este mineral aumentará em média 2,2% a.a, ou seja, mais de 70% entre 2005 e 2030 (4.154 milhões tep para 7.173 milhões tep). Ainda segundo o DNPM (2009), o carvão mineral no Brasil é utilizado de duas formas: a) carvão vapor, cuja produção é nacional e cerca de 90% é usado na geração de energia elétrica, b) carvão metalúrgico, essencialmente importado. As principais jazidas encontram-se na região Sul do país. No Ceará, a termoeletrica do Pecém será implantada numa área de 300 hectares, no Complexo Industrial e Portuário do Pecém. O carvão será importado da Colômbia e de Moçambique.

Existem pelo menos duas razões básicas que induzem o uso de novos materiais na indústria da construção civil: a primeira deve-se ao grande volume de materiais consumidos, e a segunda a questão do impacto ambiental gerado pelas suas atividades. O aproveitamento de cinzas na composição de argamassas representa excelente alternativa para o problema da disposição destes resíduos gerados, bem como uma diminuição na extração de novos materiais de construção, possibilitando ainda, a redução nos custos em função de seu valor comercial ser inferior ao do cimento.

A proposta deste trabalho é, portanto, avaliar a viabilidade e as influências que o resíduo da queima de carvão mineral (cinza) promove nas propriedades físicas de argamassas para revestimento.

2. OBJETIVO

Comparar o desempenho de argamassas para revestimento mediante substituições em diferentes percentuais de cimento Portland por cinza proveniente da combustão de carvão mineral das atividades desenvolvidas pelas Termoelétricas.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

A argamassa foi produzida no laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Ceará (UFC-CE), a partir da mistura de cimento, areia proveniente do mercado de construção de Fortaleza, e cinza de uma termoeletrica de Portugal, que possui processo operacional semelhante ao maquinário implantado na termoeletrica do Pecém, portanto, com alta probabilidade de características próximas. A caracterização dos materiais utilizados segue logo abaixo:

3.1. Cimento

Utilizou-se Cimento Portland, CP II F 32, marca CSN. As características foram fornecidas pelo fabricante, conforme tabelas 1 e 2. Foram realizados ensaios em laboratório para determinação da massa específica, de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001), conforme tabela 3.

Tabela 1 – CSN: Ensaios Químicos de Cimento Portland Composto – ABNT NBR 11578

Determinações	Ref. Normativas	Limites Especificações	Resultados (%)
Óxido de Cálcio (%CaO)	NBR-NM-12	-----	64,81
Óxido de Sílica (%SiO ₂)		-----	20,56

Óxido de Magnésio (%MgO)		----	1,56
Óxido de Alumínio (%Al ₂ O ₃)		----	4,47
Óxido de Ferro (%Fe ₂ O ₃)		----	3,23
Resíduo Insolúvel (%RI)	NBR-NM-15	<= 2,5	0,52
Perda ao Fogo (%PF)	NBR-NM-18	<= 6,5	2,94
Trióxido de Enxofre (%SO ₃)	NBR-NM-16	<= 4,0	2,80
Anidrido Carbônico (%CO ₂)	NBR-NM-20	<= 5,0	1,86

Tabela 2 – CSN: Ensaio Físicos de Cimento Portland Composto – ABNT NBR 11578

Determinações	Ref. Normativas	Limites Especificações	Resultados (%)
Finura na Peneira 75 µm(%)	11579/1991	<= 12,0 %	1,09
Área Específica (cm ² /g)	NBR NM-76	>= 2600 g/cm ²	3287
Água de Consistência Normal (%)	NBR NM 43	----	25,7
Tempo de Início de Pega (h:min)		>= 01:00 h	02:50
Tempo de Fim de Pega (h:min)	NBR NM-65	<= 10:00 h	03:35
Expansibilidade à Quente	NBR 11582/1991	<= 5,0 mm	0,6
Resistência à Compressão			
Resistência 1 dia (MPa)		----	16,2
Resistência 3 dias (MPa)	NBR 7215	>= 10,0	28,6
Resistência 7 dias (MPa)		>= 20,0	35,3
Resistência 28 dias (MPa)		>= 32,0	45,4

Tabela 3 - Massa Específica do Cimento (NBR NM-23)

Volume Inicial (cm ³)	Massa de Cimento (g)	Volume Final (cm ³)	Massa Específica (g/ cm ³)
20,1	60	19,3	3,11
20,0	60	19,4	3,09
		Média	3,10

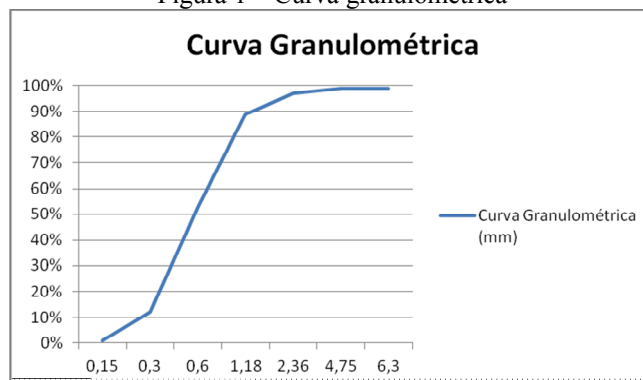
3.2. Areia

Foi utilizada areia do mercado local de Fortaleza, seca em estufa por pelo menos 24h , à temperatura de 105 +/- 5°C e resfriada à temperatura ambiente para realização do ensaio de granulometria obedecendo aos procedimentos previstos na NBR 7211 (ABNT, 2009). Os resultados obtidos são apresentados na tabela 4. De acordo com a distribuição do tamanho dos grãos, a curva granulométrica do agregado é dita contínua e bem graduada (ver figura 1).

Tabela 4 - Ensaio granulométrico da areia utilizada no experimento.

Amostra 1				Amostra 2			
M1 :	500,01	g		M2 :	500,3	g	
Peneira	Massa Retida (g)	% Retido	% Acumulado	Peneira	Massa Retida (g)	% Retido	% Acumulado
6,3	1,5	0,30%	1%	6,3	3	0,60%	1%
4,75	0,4	0,08%	1%	4,75	1,2	0,24%	1%
2,36	9,4	1,88%	3%	2,36	11,4	2,28%	3%
1,18	37,9	7,58%	9%	1,18	49,6	9,94%	13%
0,6	169,6	33,94%	44%	0,6	187,5	37,57%	51%
0,3	211,3	42,29%	86%	0,3	193,5	38,77%	90%
0,15	61,7	12,35%	99%	0,15	48,6	9,74%	99%
Fundo	7,9	1,58%	100%	Fundo	4,3	0,86%	100%
Soma	499,7	MF	2,42%	Soma	499,1	MF	2,57%
% Desvio	0,06%	DMC	2,36	% Desvio	0,24%	DMC	2,36
Módulo de Finura (M1 – M2):			2,49	DMC (M1 – M2):			2,36

Figura 1 – Curva granulométrica



3.3. Cinza

A cinza utilizada na pesquisa é proveniente da queima de carvão mineral de uma termoeletrica de Portugal, e foi acondicionada em tambores de 200l. Foram realizados ensaios para caracterização do material, obtendo-se os seguintes resultados: massa específica 2,26 (g/cm^3), conforme NBR NM 23 (ABNT, 2001), PF 16,19, conforme NBR NM 18 (ABNT, 2004) e umidade 0,93%, conforme NBR NM 24 (ABNT, 2002). Os resultados dos ensaios químico e físico foram realizados no laboratório da Companhia Industrial de Cimento Apodi S/A, onde são apresentados nas tabelas 5 e 6, respectivamente. Foi realizada a micrografia de varredura eletrônica, onde percebe-se que as partículas são esféricas (figura 2). Das exigências químicas adotadas na NBR 12653 (ABNT, 1992), que trata de materiais pozolânicos, verificou-se que a única não atendida foi o percentual de perda ao fogo, havendo as demais cumprido integralmente.

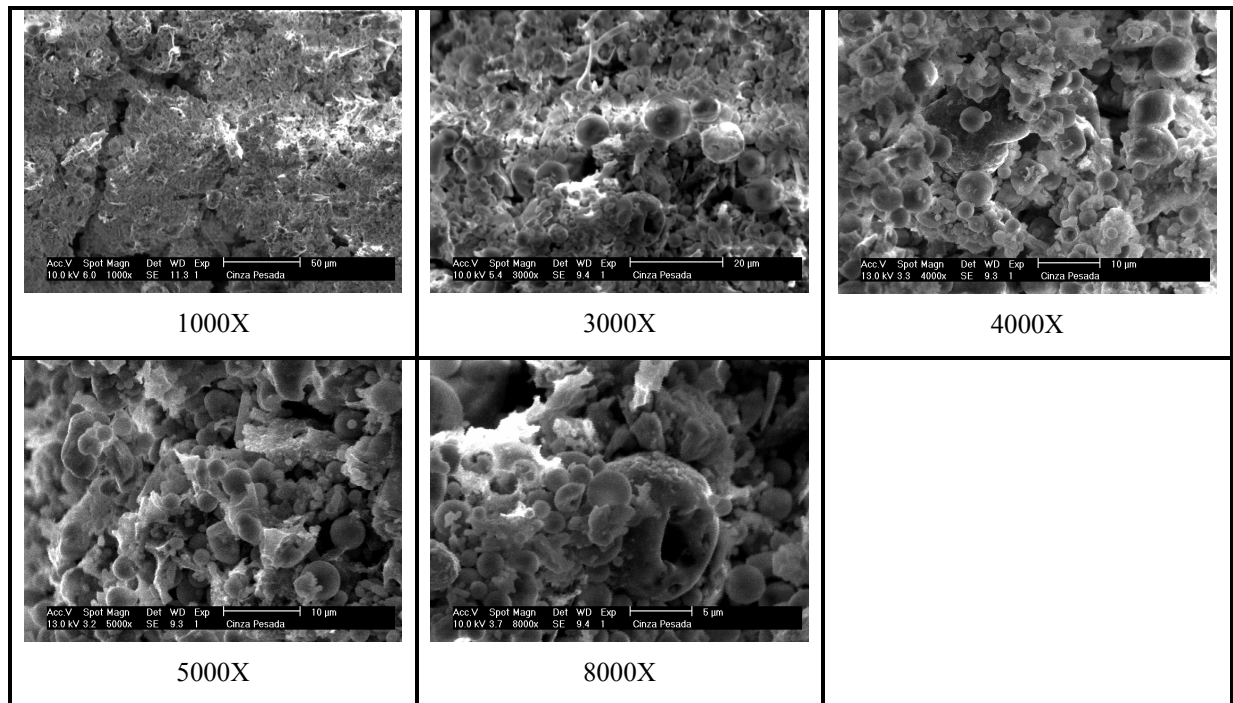
Tabela 5 – Caracterização química da cinza: RX semi-quantitativo (%)

Composição	Na2O	MgO	Al2O3	SiO3	P2O5	SO3	K2O
%	0,072	0,871	24,712	43,62	0,12	1,672	2,181

Composição	CaO	Fe2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	Rb2O
%	2,494	6,598	0,036	0,025	0,028	0,033	0,013

Composição	SrO	ZrO2	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Eu2O3
%	0,089	0,028	1,053	0,043	0,019	0,02	0,003

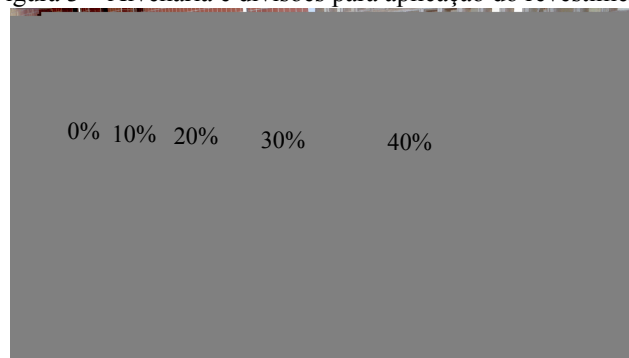
Figura 2 – Micrografia de varredura eletrônica



3.4. Alvenaria

Para realização do ensaio de aderência, foi executada uma alvenaria de tijolos cerâmicos, com dimensões 5,00m x 1,50m, e chapisco no traço 1:3, dividida em 05 espaços iguais de 1,00m de largura, utilizando espaçadores de madeira, para aplicação do revestimento (ver figura 3).

Figura 3 – Alvenaria e divisões para aplicação do revestimento



4. METODOLOGIA

Com o objetivo de analisar as argamassas, fixou-se a consistência da mistura, tomando como parâmetro a trabalhabilidade considerada ideal pelo pedreiro participante da pesquisa. Para cada argamassa foi adicionado água para atingir a consistência de 210 ± 5 mm de diâmetro de espalhamento, por meio de ensaio na mesa de queda livre da ABNT, conforme NBR 13276 (ABNT, 2005a). Foram estudadas 05 composições de argamassas dosadas no traço 1:5, empregando-se diferentes teores de substituição do cimento por cinzas, em comparação à argamassa de referência, conforme descrição abaixo:

- Argamassa de referência: 1:5 (cimento e areia)

- Argamassas com substituição do cimento por cinza: 10%, 20%, 30% e 40%

Realizou-se a secagem da areia e da cinza em estufa por pelo menos 24h, à temperatura de 105 +/- 5°C e resfriada à temperatura ambiente. Após resfriamento, ocorreu o peneiramento da cinza na malha de abertura 0,075mm (peneira de #200mm).

O traço em volume foi transformado para consumo dos materiais (cimento, cinza e areia) em massa (kg), conforme tabela 6. O material foi pesado e misturado na argamassadeira elétrica, seguindo um sequenciamento para todas as misturas. Primeiro foi posto o material seco (aglomerante e agregado) e homogeneizado manualmente e, após o acionamento do equipamento, adicionado água até que se atingisse um teor de trabalhabilidade considerado ideal pelo pedreiro e fixado no índice de consistência.

Figura 4 – Material seco na argamassadeira, homogeneizado manualmente



Tabela 6 – Composição dos traços

Mix	cimento		cinza		areia		Água/ aglomerante
	Massa (kg)	Volume	Massa (kg)	Volume	Massa (kg)	Volume	
0%	7	1,0	0	0	54,10	5	1,43
10%	6,3	0,9	0,510	0,1	54,10	5	1,84
20%	5,6	0,8	1,021	0,2	54,10	5	1,81
30%	4,9	0,7	1,531	0,3	54,10	5	1,79
40%	4,2	0,6	2,041	0,4	54,10	5	1,48

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Índice de consistência

Trabalhabilidade é a principal característica da argamassa, tendo sido definido neste trabalho pelo pedreiro. Foi mantida a proporção de 1:5, mantendo-se a massa de areia fixa e teor de água ajustado para dar a consistência especificada de 210mm +/- 5mm .

Figura 5 – Ensaio para verificação do Índice de Consistência NBR 13276



5.2. Aderência à tração

Em estudos desenvolvidos por Carasek (2007), a autora explicita “não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais”. Em nosso estudo, utilizamos um substrato composto de tijolo cerâmico e chapisco no traço 1:3, onde foram aplicadas as argamassas.

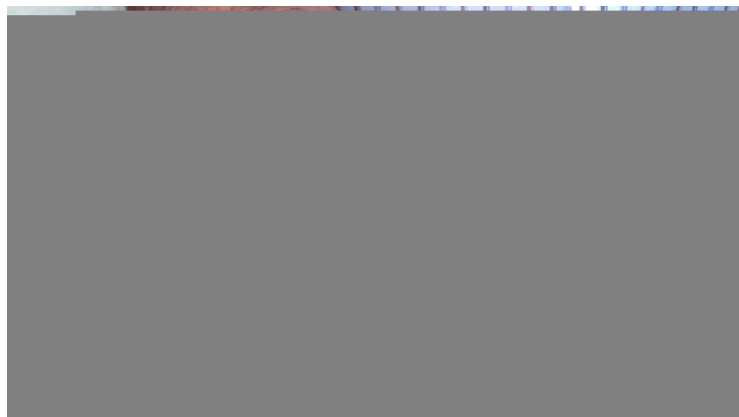
Ainda conforme a autora, a aderência também está ligada a trabalhabilidade da argamassa, a energia de impacto para aplicação, e as características mencionadas anteriormente a respeito do substrato e os fatores climáticos durante a execução. Para tanto, todas as aplicações foram acompanhadas para que não se perdesse o controle de trabalhabilidade adotado, e foram monitoradas as condições climáticas.

O ensaio de aderência à tração foi realizado após 28 dias de idade de aplicação do revestimento para cada traço, numa área de 1,00m x 1,50m, conforme NBR 13528 (ABNT, 2010). Para execução do ensaio, foram extraídos 12 corpos de prova distribuídos aleatoriamente no espaço destinado para cada traço, contendo estes as mesmas características (ver figuras 6 e 7).

Figura 6 – Ensaio de aderência NBR 13528/10



Figura 7 – Corpo de prova após extração NBR 13528/10

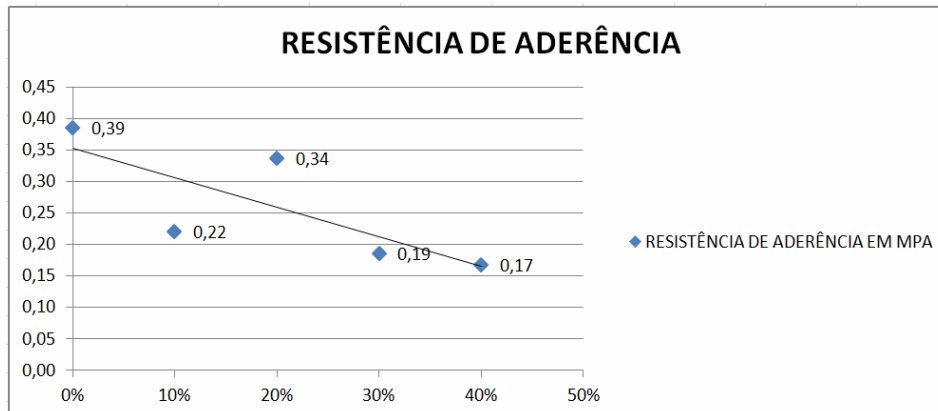


De acordo com os resultados obtidos, descritos na tabela 7 e gráfico 1, observamos que houve uma redução da resistência à aderência, de maneira geral, porém com menor perda de desempenho para o teor de substituição de 20%. Desta forma, o traço de referência e o traço 20% atendem à NBR 13749 (ABNT, 1996).

Tabela 7 – Resistência de Aderência NBR 13528

Traços	0%	10%	20%	30%	40%
Resistência (Mpa)	0,39	0,22	0,34	0,19	0,17

Gráfico 1 – Resistência de Aderência NBR 13528



5.3. Resistência à Compressão e Tração na Flexão

Segundo Silva (2007), a adição de algumas pozolanas tende a aumentar a resistência à compressão em todas as idades da argamassa. A autora afirma que isso “pode ser explicada pelo refinamento de poros e de grãos e pela melhoria da microestrutura da zona de transição.” (SILVA, 2007).

Para determinação da resistência à compressão e à tração na flexão, foram confeccionados corpos de prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16cm. Os mesmos foram moldados após teste de índice de consistência e durante a execução da argamassa de revestimento da alvenaria. A resistência à compressão foi testada em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b). Para tração na flexão foi realizado teste de força empregada ponto central de carga obedecendo a mesma norma. Os ensaios foram realizados com dispositivo universal de

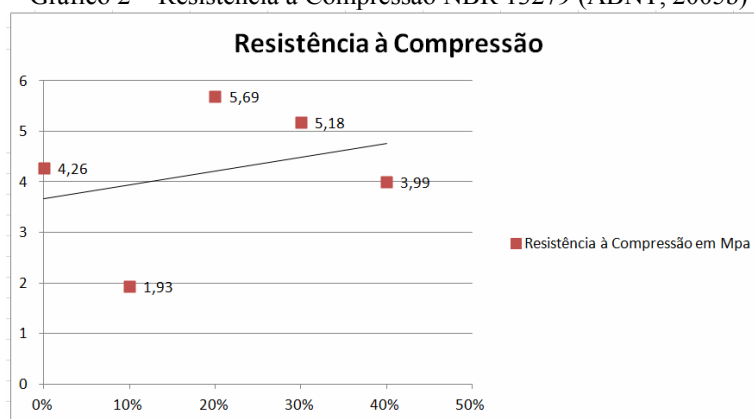
carga para ensaio de resistência, EMIC localizado no NUTEC. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 8 e Gráfico 2.

Tabela 8 – Resistência à Compressão NBR 13279

Traços	0%	10%	20%	30%	40%
Resistência (Mpa)	4,26	1,93	5,69	5,18	3,99

Verificamos que os traços 20% e 30% de teor em cinza tiveram ganho de resistência à compressão enquanto para os traços 10% e 40% houve redução. O teor de 10% apresentou resultado discrepante à tendência verificada nos ensaios. Segundo NBR 13281 (ABNT, 2005c), os teores 0%, 20% e 30% enquandram-se na classe de argamassa P4. O teor 10% na classe P2 e o teor 40% na classe P3.

Gráfico 2 – Resistência à Compressão NBR 13279 (ABNT, 2005b)



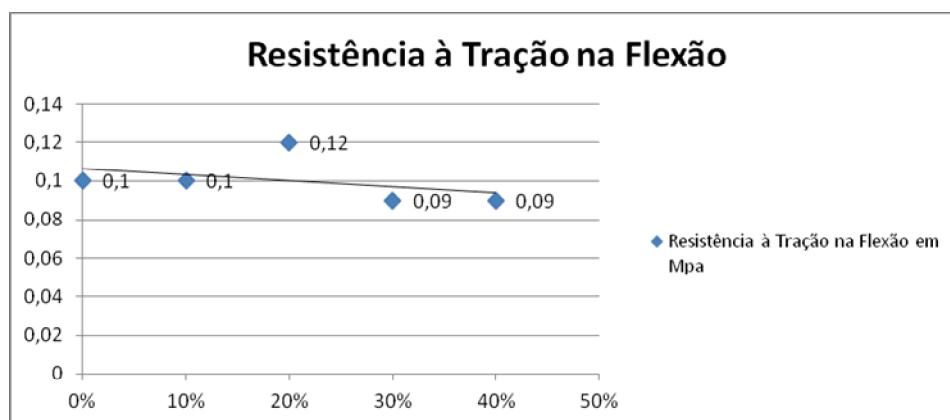
Ainda segundo Silva (2007), pela melhoria da porosidade da matriz e da zona de transição, existe a tendência ao ganho de resistência à tração mas este só é observado em idades avançadas. Os resultados dos ensaios realizados neste trabalho constam na tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Resistência à Tração na Flexão NBR 13279 (ABNT, 2005b)

Traços	0%	10%	20%	30%	40%
Resistência (Mpa)	0,1	0,1	0,12	0,09	0,09

Todas as argamassas estão dentro da faixa de classificação R1 de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005c). Entretanto, a resistência à tração na flexão elevada não é uma característica relevante para argamassa de revestimento, sendo a trabalhabilidade e a plasticidade os principais parâmetros buscados.

Gráfico 3 – Resistência à Tração na Flexão NBR 13279 (ABNT, 2005b)



5.4. Retenção de água

Segundo Carasek (2007), a retenção de água é uma característica que está diretamente ligada à capacidade da argamassa fresca "manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base." (CARASEK, 2007). Ainda segundo a autora, após o endurecimento a argamassa ainda depende de uma adequada retenção de água, característica que favorece as reações químicas dos aglomerantes.

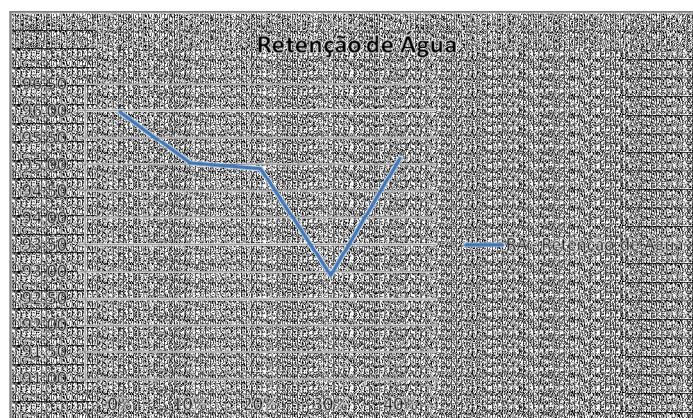
Particularmente no Estado do Ceará, localizado no Zoneamento Bioclimático 8 (ABNT, 2005d), a propriedade de retenção de água se torna muito importante devido as altas temperaturas médias e, especificamente no caso de Fortaleza, a perda de água é potencializada pelos ventos fortes. Além disso, o endurecimento precoce de argamassa em condição quente pode levar a fissuras e delaminação (descolamento) de argamassa de alvenaria de tijolos.

Na tabela 10 logo abaixo, apresentam-se as medições realizadas no ensaio. Avaliou-se a propriedade de retenção de água para cada um dos 5 traços produzidos durante a pesquisa, tendo como base no método descrito pela NBR 13277 (ABNT, 2005e) e verificado no gráfico 4.

Tabela 10 – Retenção de Água

Traço	0%	10%	20%	30%	40%
Peso do Conjunto seco (g)	2.014,00	2.020,00	2.022,00	2.020,00	2.019,00
Quantidade de água utilizada para consistência 210±5mm (ml)	760,00	780,00	780,00	780,00	800,00
Peso do Conjunto Antes da Sucção (g)	6.404,00	6.557,00	6.575,00	6.586,00	6.629,00
Peso do Conjunto Após a Sucção (g)	6.378,00	6.523,00	6.540,00	6.537,00	6.594,00

Conforme se observou nos ensaios realizados e tomando como base os requisitos descritos na NBR 13281 (ABNT, 2005c), todos os traços apresentaram retenção de água da classe U5 e houve uma redução na retenção com aumento da substituição pela cinza, tendo o teor de 40% apresentado comportamento atípico.



6. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho, indicam que a substituição de cimento por cinza é viável para argamassas de revestimento no teor de 20%. Outros estudos apontaram que a incorporação de cinza reduz a retenção de água sugerindo a adoção de cinza mais fina, porém neste estudo foi utilizado material com módulo de finura menor que o do cimento e não constatou-se a correção, permanecendo a tendência de redução da retenção de água.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Recomendamos estudos posteriores com traços 1:5 tendo em vista que o resultado foi viável para substituição de 20% e identificar, através da análise das propriedades da zona de transição, o comportamento do refinamento dos poros nos traços de 20% e 30%, no caso de ganho de resistência à compressão.

8. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Especificação**. Rio de Janeiro, 1992. p. 3

_____. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 1996. p. 6

_____. **NBR NM 76: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 1998. p. 12

_____. **NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001. p. 5

_____. **NBR NM 24: Materiais pozolânicos - Determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 2002. p. 2

_____. **NBR NM 18: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro, 2004. p. 4

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005a. p. 3

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005b. p. 9

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005c. p. 7

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005d. p. 30

_____. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005e. p. 3

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - especificação.** Rio de Janeiro, 2009. p. 9

_____. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010. p. 11

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 1712.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Economia Mineral do Brasil.** Brasília - DF, 2009. p. 764