

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM ARGAMASSAS*

Larissa Campos Granato Botelho¹
Jonas Alexandre²
Ana Luiza Campinho Paes³
Markssuel Teixeira Marvila⁴
Afonso Rangel Garcez de Azevedo⁵
Euzébio Bernabé Zanelato⁶
Sergio Neves Monteiro⁷

Resumo

Os resíduos produzidos em diferentes atividades agroindustriais acarretam um elevado custo às empresas, seja em relação ao transporte ou em relação ao descarte. Uma forma de reaproveitamento, que beneficia não somente economicamente, mas também ao meio ambiente, é a incorporação desses resíduos nas argamassas. Esse processo torna-se vantajoso e viável, uma vez que alguns desses materiais possui alto teor de sílica (SiO₂) em sua composição. Nesta pesquisa fez-se a comparação entre o uso em argamassas de dois desses resíduos em substituição ao cimento em diferentes proporções: a cinza da casca do arroz e a cinza do bagaço da cana de açúcar. A análise dos resultados mostrou que as cinzas podem ser incorporadas às argamassas com significativo aumento na densidade de massa e na resistência mecânica à compressão.

Palavras-chave: argamassa, cinza da casca do arroz, cinza do bagaço da cana de açúcar.

INFLUENCE OF INCORPORATION OF RESIDUES IN MORTARS

Abstract

The residues produced in different agroindustry activities carry excessive cost to the companies, either in relation to the transport or in relation to the discard. One form of reuse, which benefits not only economically but also environmentally, is the incorporation of these residues into mortars. This process becomes advantageous and feasible, since some of these materials have high silica (SiO₂) content in their composition. In this research the comparison was made between the use of mortar of two of these residues in substitution of the cement in different proportions: the rice husk ash and the sugarcane bagasse ash. Analysis of the results showed that ashes can be incorporated into mortars with significant increase in mass density and mechanical resistance to compression.

Keywords: mortar, rice husk ash, sugarcane bagasse ash.

¹ Engenheira Civil, mestranda em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

² Engenheiro Civil, doutor em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³ Engenheira Civil, mestranda em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁴ Engenheiro Civil, mestre em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁵ Engenheiro Civil, doutor em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁶ Engenheiro Civil, mestre em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁷ Engenheiro Metalúrgico, PhD em Engenharia e Ciência dos Materiais, IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A argamassa é um material amplamente utilizado na indústria da construção civil nos seus vários tipos de aplicação, como em assentamento de alvenarias, revestimento de paredes, tetos e pisos, recuperação de estruturas, entre outros.

A NBR 13281:2001[1] define esse material como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Seu desempenho depende das propriedades no estado fresco e no estado endurecido e por isso é de fundamental importância o conhecimento dessas. Citam-se como exemplos:

- No estado fresco:

- a) *consistência*: é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir à deformação e é diretamente influenciada pelo volume de água na pasta e pela granulometria do agregado miúdo;
- b) *trabalhabilidade*: relacionada principalmente à consistência, influência na facilidade de manuseio e aplicação da pasta sem a ocorrência de segregação;
- c) *coesão*: segundo os autores Cincotto, Silva e Cascudo (1995) [2], refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante;
- d) *retenção de água*: é a capacidade da argamassa de reter água quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal;
- e) *teor de ar incorporado*: quanto maior o teor de ar incorporado, melhor a trabalhabilidade e por outro lado, menor a resistência mecânica, como demonstrado experimentalmente nos estudos de Romano (2013) [3].

- No estado endurecido:

- a) *resistência mecânica*: é a capacidade de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento (SELMO, 1989) [4];
- b) *permeabilidade*: caracteriza a passagem de água através da argamassa por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água.
- c) *aderência*: segundo Sabbatini (1984) [5], a aderência pode ser definida como sendo a capacidade que a interface argamassa/substrato possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper.

No Brasil, as argamassas mistas de cal e cimento *Portland* são amplamente utilizadas, principalmente porque a cura é mais rápida se comparada com a argamassa simples de cal, satisfazendo as demandas atuais de produção do mercado da construção civil.

Segundo Carasek (2011) [6], também os agregados devem ser escolhidos com cuidado, pois eles representam cerca de 60 a 80% do consumo dos materiais da argamassa pronta, resultando em significativa influência no seu comportamento no estado fresco, bem como no desempenho de sua aplicação. Geralmente o agregado empregado na argamassa é a areia natural constituída essencialmente de quartzo.

Em relação aos aditivos, um dos mais empregados nas argamassas é o incorporador de ar. Trata-se de um produto capaz de formar microbolhas de ar que conferem principalmente melhor trabalhabilidade e redução do consumo de água, o que pode ajudar a reduzir o risco de fissuração. No entanto, este aditivo deve ser empregado com cautela, pois, um teor de ar incorporado muito elevado pode prejudicar a aderência da argamassa com o substrato.

As adições são classificadas segundo a NBR 13529:2013[7] como materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades.

Através das adições nas argamassas, os resíduos do beneficiamento de diversos materiais que são descartados, quando não de forma inadequada, e que acarretam um elevado custo às empresas, podem ser reaproveitados. Nesse processo, há não somente o benefício econômico, mas também o ambiental.

Além da extração do calcário provocar a degradação do meio ambiente através da poluição e destruição do solo, há também um grande consumo de aglomerantes nas argamassas e, conseqüentemente, uma grande liberação de dióxido de carbono para a atmosfera.

Neste sentido, a redução no uso de aglomerantes torna-se de fundamental importância para combater os problemas já mencionados. E, tendo em vista que as cinzas minerais oriundas de diferentes atividades agroindustriais se destacam entre os resíduos, pois apresentam altas porcentagens de sílica. Essas cinzas podem ser utilizadas nas argamassas, em substituição ao cimento, como pozolanas que, quando reduzidas a pó fino em presença de água e à temperatura ambiente, formam silicatos de cálcio hidratados (C-S-H). A reação pozolânica tem como resultado a produção de fases químicas com maior estabilidade e poder aglomerante, sendo os principais responsáveis pela resistência das pastas de cimento hidratadas (CARMO e PORTELLA, 2008)[8].

2 DESENVOLVIMENTO

Neste artigo serão comparadas duas argamassas: uma com adição de cinza da casca do arroz proveniente do município de Caicó, RN, com suas características e propriedades obtidas nos estudos de Bezerra *et al.* (2011) [9] e a outra com adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar proveniente da região Sul do Brasil, com suas características e propriedades obtidas por Castro e Martins (2016) [10]; ambas com traço de 1:2:9 (cimento:cal:areia).

2.1 Argamassa com adição de cinza da casca do arroz

Os resultados aqui mencionados foram comprovados experimentalmente por Bezerra *et al.* (2011) [9] em seus estudos, com ensaios em 5 corpos de prova para cada proporção demonstrada na Tabela 1, utilizando os seguintes materiais:

- cimento Portland CP II F - 32 da marca CIMPOR Brasil,
- cal hidratada Megaó,
- areia do tipo média proveniente do rio Paraíba,
- cinza da casca do arroz resultante da queima a céu aberto na cidade de Caicó,

- água potável fornecida pela distribuidora local.

Tabela 1. Proporção de materiais nas argamassas com cinza da casca do arroz

Cinza da Casca do Arroz (%)	Cimento (kg)	Cinza da Casca do arroz (kg)
0,00	1,00	0,000
6,00	0,94	0,022
9,00	0,91	0,033
15,00	0,85	0,055
20,00	0,80	0,073
30,00	0,70	0,110

A composição química da cinza da casca do arroz aqui estudada foi obtida a partir da técnica de fluorescência de raios x, obtendo um valor 83,41% de sílica(SiO_2). A curva de distribuição granulométrica está apresentada na Figura 1, analisando-a observa-se que a cinza tem diâmetro de partículas variando de 0,0001mm a 1 mm.

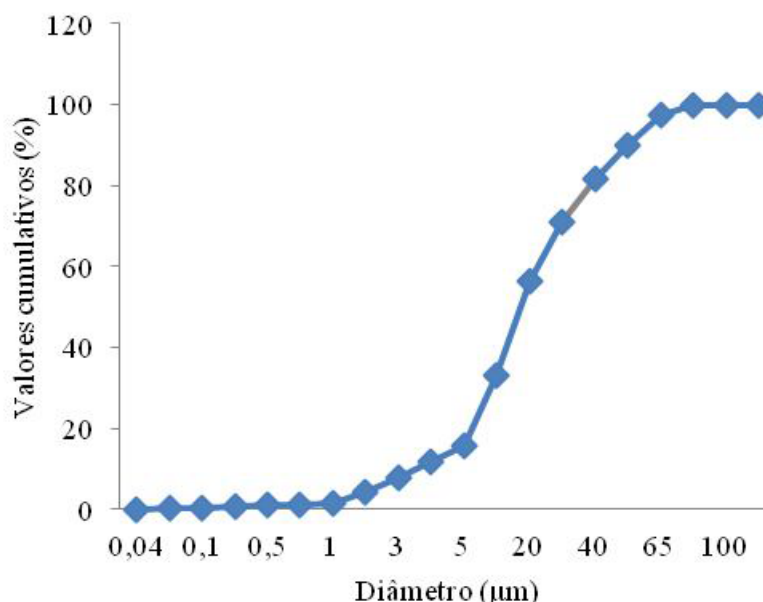


Figura 1. Curva de distribuição granulométrica da cinza da casca do arroz, (BEZERRA ET AL. (2011) [9]).

Na tabela 2 estão expostos os resultados obtidos nos ensaios realizados nas argamassas elaboradas.

Para o índice de consistência foi utilizada a *flowtable* seguindo-se as prescrições da NBR 13276:2002 [11]. O teor de água utilizado para produção dos corpos de prova teve um aumento diretamente proporcional à quantidade de finos de cada mistura confeccionada, a fim de se manter o índice de consistência desejado.

Com o ensaio de densidade de massa, conforme a NBR 13280: 2005[12], concluiu-se que os corpos de prova que continham a cinza apresentaram melhor desempenho que a argamassa de referência (sem cinza da casca do arroz). Esse resultado obtido pode ser justificado pelo fato das adições minerais agirem na argamassa e tornarem a matriz da pasta mais densa e conseqüentemente menos porosa.

A absorção de água é expressa pelo teor de água absorvida em porcentagem do peso da amostra seca na argamassa no estado endurecido, conforme a NBR 9778:1987[13]. Foi observado um melhor comportamento nos corpos de prova com 6, 9 e 15% comparados ao traço de referência. Esse fato é justificado porque há uma acomodação maior das partículas (efeito de empacotamento), constatando-se, uma diminuição da porosidade e uma conseqüente diminuição na absorção da água. O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado conforme a NBR 7215:1996[14]. Foi observado um aumento no valor da resistência para os corpos de prova contendo a cinza devido às reações pozolônicas que formam o composto C-S-H, material resistente e estável, que favorece o aumento da resistência e diminuição da permeabilidade devido ao processo de refinamento dos poros.

Tabela 2. Propriedades das argamassas com adição de cinza da casca do arroz

Cinza da Casca do Arroz (%)	Teor de Água (%)	Índice de Consistência (mm)	Densidade de Massa (g/cm³)	Absorção de Água (%)	Resistência à Compressão (MPa)
0,00	21,6	251,33	1,53	17,60	0,90
6,00	21,8	258,67	1,53	17,00	0,75
9,00	22,0	255,67	1,55	17,00	1,10
15,00	22,6	260,67	1,57	17,50	0,95
20,00	22,6	257,33	1,58	17,70	1,05
30,00	22,8	253,03	1,55	17,90	0,96

2.2 Argamassa com adição de cinza do bagaço da cana de açúcar

Os resultados aqui mencionados foram comprovados experimentalmente por Castro e Martins (2016) [10] em seus estudos, com a realização da substituição de 10% do agregado miúdo pela cinza do bagaço da cana de açúcar coletada no fundo da caldeira (cinza pesada), aqui chamada de cinza1, e de 7,5% de cimento pela cinza do bagaço da cana de açúcar proveniente de um equipamento retentor de fuligem via úmida (cinza leve), aqui chamada de cinza2. Essas proporções foram escolhidas porque, segundo Hojo (2014) [15], remetem a resistências semelhantes ao traço sem substituição, reduzindo o consumo de cimento sem alterar significativamente suas propriedades.

Para a realização dos estudos, foram utilizados os seguintes materiais:

- cimento Portland CP II Z – 32,
- cal hidratada CH III da marca Mottical,
- areia da região de Maringá, PR,
- cinzas obtidas a partir de uma usina de açúcar localizada no Sul do Brasil,
- água,
- Superplastificante SikaViscocrete.

As cinzas estudadas pelos autores possuem, principalmente, as seguintes composições químicas: a cinza 1 possui 57,41% de sílica e 21,79% de óxido de ferro e a cinza 2 possui maior presença de óxido de ferro, 47,98%, e menor grau de sílica, 25,82%.

As curvas de distribuição granulométrica das cinzas e da areia estão apresentadas na Figura 2. Analisando-as observa-se que a areia tem diâmetro de partículas

variando de 0,15 mm a 7,00 mm. Os resultados também revelaram que 51% das cinzas da amostra de cinza1 ficaram retidas nas peneiras de 0,06 mm a 0,2 mm, o que, de acordo com a classificação da NBR 6502:1995 [16], as torna semelhantes à areia fina, já a cinza2 teve 81% da amostra retida nas peneiras 0,002 mm a 0,06 mm, sendo então semelhante ao silte.

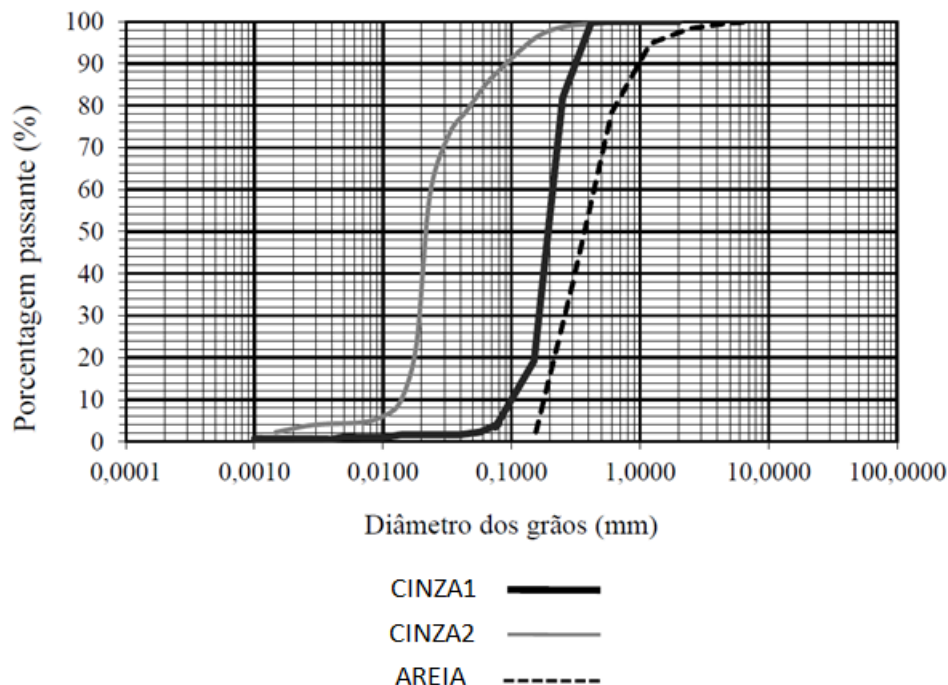


Figura 2. Distribuição granulométrica das cinzas 1 e 2 e da areia, (CASTRO e MARTINS, 2016) [10].

Na tabela 3 estão expostos os resultados obtidos nos ensaios realizados nas argamassas elaboradas.

No ensaio de retenção de água prescrito pela NBR 13277:2005 [17], pode ser observado um melhor comportamento na argamassa com adição de cinza, fato justificado porque há uma acomodação maior das partículas, constatando-se, uma diminuição da porosidade e um conseqüente aumento da retenção de água. Vale ressaltar que a retenção de água refere-se à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.

Com o ensaio de densidade de massa, obtida segundo as prescrições da NBR 13278:1995[18], pôde ser observado que houve um aumento significativo do empacotamento com a adição da cinza, isso se deve ao fato de que suas partículas são bem pequenas, aumentando a densidade da pasta.

O teor de ar incorporado foi encontrado segundo a NBR 13278:1995[18]. A partir dos valores encontrados, conclui-se que os finos da cinza preencheram os poros da argamassa, pela substituição de grãos maiores por menores. Silva e Campiteli(2006) [19] ressaltam que, à medida que aumenta o teor de finos, diminui o teor de ar aprisionado nas argamassas.

A resistência à compressão das argamassas foi determinada através da tração à flexão segundo a NBR 12142:2010 [20]. Os resultados obtidos confirmaram que a substituição aqui estudada aumenta nas argamassas a resistência mecânica à compressão. Esse fato ocorre porque a pasta apresentou, como citado anteriormente, menor teor de ar incorporado. Esse resultado justifica-se pelo fato de,

segundo a NBR 13278:1995[18], o teor de ar incorporado ser a quantidade de ar presente em determinado volume de argamassa. Dessa forma, menor teor de ar incorporado leva ao aumento de sua resistência mecânica.

Tabela 3. Propriedades das argamassas com adição de cinza do bagaço da cana de açúcar

Cinza do Bagaço da Cana de Açúcar	Retenção de Água	Densidade de Massa	Teor de ar incorporado	Resistência à Compressão
(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
0,00	90,50	1,90	9,87	0,83
7,50	91,15	1,99	5,56	1,25

3 CONCLUSÃO

A utilização das cinzas da casca do arroz e do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de argamassas é uma interessante forma de reaproveitamento desses resíduos, reduzindo a necessidade de áreas para destiná-los. Ao mesmo tempo, diminui o consumo do agregado miúdo e do aglomerante nas produções de argamassa, diminuindo também o impacto ambiental da extração desses materiais.

As duas cinzas estudadas neste artigo mostraram possuir alto teor de sílica (SiO₂), componente que confere propriedades cimentantes às pastas de argamassa.

Além disso, mostrou-se bastante vantajosa a incorporação desses resíduos nas argamassas, pois em ambas houve um aumento na densidade de massa e na resistência à compressão axial, em comparação à argamassa de referência (argamassa sem adição da cinza).

A substituição do cimento pelas cinzas provocou uma diminuição na trabalhabilidade das argamassas, devido à sua natureza química e elevada área específica, porém isso pôde ser corrigido com o aumento do teor de água para o caso da cinza da casca do arroz e com o uso de superplastificante para o caso da cinza do bagaço da cana de açúcar.

Agradecimentos

À UENF por disponibilizar a infraestrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho, em especial à equipe do Laboratório de Materiais de Construção Civil. Agradeço também à FAPERJ pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2001.
- 2 CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. (Boletim Técnico n. 68).

- 3 ROMANO, R. C. O. Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2013.
- 4 SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios. [Tese de Mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 1989.
- 5 SABBATINI, F. H. O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Silicocalcária. [Tese de mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 1984.
- 6 CARASEK, H. Patologia das Argamassas de Revestimento. Livro Materiais de Construção Civil: Instituto Brasileiro do Concreto; 2011.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- 8 Carmo, J. B. M.; Portella, K. F. Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. Cerâmica, v.54, p.309-318; 2008.
- 9 BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.15, n.6, p.639–645. Campina Grande; 2011.
- 10Castro, T. R., MARTINS, C. H. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. Ambiente Construído, v. 16, n. 3, p. 137-151. Porto Alegre; 2016.
- 11ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.
- 12ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- 13ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.
- 14ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- 15HOJO, L. Y. C. P. Análise da atividade pozolânica da cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar para substituição parcial do cimento Portland.[Tese de Mestrado]. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Maringá; 2014.
- 16ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- 17ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

- 18 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.
- 19 SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Influência dos finos de cal nas propriedades das argamassas. Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis; 2006.
- 20 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.