

**Um estudo sobre o potencial da cinza do bagaço de cana de açúcar na
confecção de argamassas
(A STUDY ABOUT THE POTENTIAL OF THE SUGARCANE
BAGASSE ASH IN THE MORTAR PREPARATION)**

D. C. Mandaio¹; C. Gibertoni¹

¹Centro Universitário Hermínio Ometto - Uniararas
Av. Maximiliano Baruto, 500. CEP 13607-339. Araras-SP1
campiol.d@gmail.com

Resumo

A construção civil é um dos ramos que mais causa impactos ambientais. Visando minimizar os impactos causados pelo uso do agregado miúdo, o presente estudo avaliou a potencialidade da substituição parcial do agregado miúdo natural (areia) pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) in natura em argamassas. As cinzas utilizadas para a realização do estudo foram coletadas em Araras/SP e caracterizadas segundo sua distribuição granulométrica, análise macroscópica e perda ao fogo. A partir dos resultados obtidos, produziram-se argamassas com 0%, 10%, 15%, 20% e 30% de substituição da massa de areia pela de CBC, que foram avaliados quanto a resistência à compressão aos 7, 14, 21, 28, 60 e 120 dias, massa específica, absorção de água por imersão e porosidade. Os resultados indicaram viabilidade de introdução da cinza residual do processamento da cana-de-açúcar, no teor de 20%, em argamassas que não necessitam de alta resistência à pouca idade.

Palavras chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar, sustentabilidade, argamassa com adição, resistência à compressão

Abstract

Construction is one of the branches that causes the greatest environmental impacts. In order to minimize the impacts caused by the use of the fine aggregate, the present study evaluated the potentiality of the partial replacement of the natural fine aggregate (sand) for the natural sugarcane bagasse ash (CBC) in mortars. The ashes used for the study were collected in Araras/SP and characterized according to their granulometric distribution, macroscopic analysis and loss on ignition. From the obtained results, mortars were produced with 0%, 10%, 15%, 20% and 30% of substitution of the sand mass for the CBC, witch were evaluated by compressive strength at 7, 14, 21, 28, 60 and 120 days, specific gravity, water absorption by immersion and porosity. The results indicated the feasibility of introducing the residual ash from the sugarcane processing, by 20%, in mortars that do not need high resistance at the young age.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, Sustainability, mortar with addition, compressive strength

INTRODUÇÃO

O consumo de materiais e energia na construção civil é muito elevado, sendo um dos ramos que mais provocam impactos ambientais, que vão além da extração de recursos naturais ou áreas de mata que se convertem para construção, da impermeabilização de grande parte do solo; há também os resíduos sólidos, poluição do ar pelo uso de gesso e produção de cimento, o assoreamento dos rios pela retirada de areia, o uso de energia térmica e elétrica, entre outros [1, 2].

Esses fatores, aliados ao crescente aumento nos custos de produção e extração de matéria prima, fazem com que a introdução de resíduos e reciclagem para constituir novos materiais seja cada vez mais bem-vinda. Desta forma, nas últimas décadas, inúmeras pesquisas estão sendo realizadas visando o reaproveitamento das cinzas, entre eles os estudos de introdução da cinza do bagaço de cana (também conhecida como CBC) em concretos e argamassas, tanto como adição, quanto como material de substituição parcial (ou do agregado miúdo ou do aglomerante). Tais estudos vêm mostrando resultados satisfatórios [2, 3, 4].

A CBC é o resíduo final do processamento da cana de açúcar nas usinas, o qual não possui redução, e é utilizada, geralmente, para fertilização de lavouras; contudo, este uso não é adequado uma vez que não possui nutrientes minerais para este fim [5]. São gerados na produção da cana de açúcar e seus derivados, aproximadamente, 25 kg de cinza residual para cada tonelada de cana de açúcar [5], totalizando, aproximadamente, 15,83 milhões de toneladas de cinza residual na safra de 2017/2018, apenas no Brasil [6]. Por outro lado, são consumidas anualmente no Brasil de 100 a 120 milhões de toneladas de areia de rio [5], ademais das areias artificiais.

Desta forma, o presente estudo visou estudar a influência da substituição parcial da areia pela CBC em argamassas, uma vez que contribui para a introdução de um resíduo (que não seria utilizado com eficácia) em massas de concreto ou argamassas, substituindo ou parte do cimento (que causa impacto ambiental tanto pelo processo de produção, quanto extração) ou parte da areia (evitando assim o assoreamento dos rios ou a utilização de areia de pedra que inclui extração, britagem e processo de moagem, que consomem muita energia e trazem grande impacto ambiental - direto e indireto) [7].

Os experimentos realizados avaliaram a influência de substituição da areia natural pela cinza do bagaço de cana de açúcar *in natura* em argamassas, nas taxas de 10%, 15%, 20% e 30%, comparando-as ao traço de referência (0% de CBC), nas idades de 7, 14, 21, 28, 60 e 120 dias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para a realização dos experimentos foi utilizado o cimento Portland composto CP II E 32, devido aos bons resultados obtidos para este tipo de cimento nos estudos de Lima et al. (2011) e por ser, segundo Battagin e Cruz^[8], o cimento “mais encontrado no mercado (>60%) e o mais consumido”. O agregado miúdo utilizado foi a areia natural disponível no Laboratório de Solos da FHO- Uniararas. Foram estudadas três areias distintas que foram avaliadas quanto a granulometria, optando pela escolha da Areia 1.

As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar foram produzidas pela combustão em caldeira, originária da Usina São João, localizada na cidade de Araras/SP. Esta usina foi escolhida por ter o processo de combustão em caldeira controlado, com medições periódicas da relação ar x combustível.

A Usina S. João utiliza para a queima do bagaço da cana três caldeiras do tipo aquatubulares com capacidades de 115 ton/h, 140 ton/h e 200ton/h, a temperaturas de 750°C a

950°C. A usina opera aproximadamente 255 dias por ano, de abril a dezembro, na época de safra. Sendo utilizado, em 2019, 3,3 milhões de toneladas de cana de açúcar e produzindo cerca de 188,9 mil toneladas de açúcar, 142,1 milhões de litros de álcool e 16 milhões de kWh de energia.

Da cana de açúcar utilizada, cerca de 25% se torna bagaço; cerca de 1,5% a 2,0% do bagaço se torna resíduo, ou seja, em 2018 foram produzidas entre 12,37 e 16,5 mil toneladas de resíduos, sendo este resíduo formado pelos não queimados da caldeira, que englobam as cinzas, pedaços de bagaço e pontas e areia proveniente do solo em que a cana foi cultivada.

Para o estudo foram utilizadas as cinzas do processo final, pois, apesar de estudos existentes mostrarem que seu emprego não seja benéfico para a resistência mecânica, a sua facilidade de obtenção favorece a possível utilização em grande escala [7].

As cinzas foram coletadas no mês de maio de 2018 e, posteriormente, foram secas a uma temperatura média de 150°C durante uma hora em estufa de secagem marca FANEM, com o fim de retirar a umidade das cinzas, uma vez que esta possui um alto teor de umidade devido à lavagem dos gases. Assim, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) utilizada não foi moída e não passou por um processo posterior de queima. Seu uso no estado *in natura* se deve ao objetivo de poder facilitar sua aplicação até mesmo em obras de pequeno porte, se a substituição se mostrar viável.

Métodos

Os experimentos da presente investigação foram realizados, em sua maioria, no Laboratório de Solos da Fundação Hermínio Ometto (FHO– Uniararas), em Araras – SP, e foram divididos em duas partes: o primeiro consistiu na obtenção e caracterização da cinza e, o segundo, na caracterização dos corpos de prova de argamassa, avaliando a viabilidade de introdução das cinzas.

Inicialmente, analisou-se a CBC macroscopicamente (à vista desarmada). Em seguida, foram realizados os ensaios de granulometria por meio do peneiramento da CBC e das areias, seguindo a NBR NM 248 [9]. O ensaio de perda ao fogo (PF) foi realizado para uma amostra de CBC (previamente seca e peneirada), com base na NBR NM 18 [10], através do método de referência – determinação direta. O método utilizado foi escolhido em função da disponibilidade dos materiais para ensaio.

Com os resultados obtidos, optou-se por peneirar na malha #10 (abertura de 2mm) toda a CBC utilizada no estudo, devido à presença considerável de matéria orgânica (o que causa a diminuição da resistência das massas cimentícias, segundo Paula [11]). Após, realizou-se a dosagem da argamassa, determinando os traços em função da substituição de uma determinada massa de areia por sua porção de CBC correspondente, em função das distintas porcentagens analisadas.

Foram confeccionados 15 corpos de prova para cada traço utilizado (substituições de 0%, 10%, 15%, 20% e 30%). Foi adotado o traço 1:3 (cimento:areia) – conforme recomendado pela NBR 7.215 [12]. Inicialmente se utilizaria relação a/c de 0,48 (com base no estudo feito por Câmara E., Pinto R. C. A. e Rocha J. C. [13]), mas por conta de a areia possuir baixa umidade e elevada finura optou-se por se utilizar relação a/c de 0,6.

Desta forma, foram moldados corpos de prova de 4,6cm de diâmetro por 10cm de comprimento. Após as primeiras 24 horas, quando ocorre a pega inicial, os corpos de prova foram desmoldados e imersos em água para a cura por 5 dias (para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias) e 15 dias (para as idades de 60 e 120 dias), sendo, durante este período, retificados a fim de uniformizar as tensões no momento de ruptura. Após este período, permaneceram guardados em temperatura e umidade ambientes até a ruptura.

Em seguida, foi realizada a análise macroscópica dos corpos de prova confeccionados e posterior ensaio de resistência à compressão, que consistiu no rompimento dos corpos de prova

em prensa manual, procurando-se aplicar uma velocidade de ruptura constante, sendo ensaiados sempre pela mesma pessoa.

Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço e cada idade estudados, obtendo-se a carga de ruptura, que dividida pela área da seção transversal do corpo de prova, resulta no valor de resistência à compressão (ABNT NBR 7.215 [12]); sendo o valor da resistência à compressão final, composto pela média aritmética dos 3 corpos de prova de mesmas características ensaiados.

Para avaliar a durabilidade dos corpos de prova, inicialmente foi avaliada a massa específica aparente (densidade) aos 28 dias, antes de romper, e saturada, após a cura por imersão, sendo que a densidade foi obtida através dos dados do corpo de prova aos 28 dias, conforme equação a seguir (Equação A):

$$Densidade = \frac{massa}{volume} \quad (A)$$

Em seguida, realizou-se os ensaios de porosidade (índice de vazios) e absorção de água por imersão, através da utilização dos corpos de prova rompidos na idade de 28 dias, que foram reservados até a idade de aproximadamente 190 dias, para realização dos ensaios. Os ensaios foram realizados com base na NBR 9.778 [14].

A absorção de água dos corpos de prova foi feita por imersão, onde colocou-se 3 corpos de prova de cada traço em estufa por 24h a 150°C, após foram retirados, submetidos a resfriamento ao ar livre (temperatura ambiente) e pesados (M_{sec}). Posteriormente, foram imersos em água por 72 horas; ao final do período, foram retirados, secos superficialmente e pesados (M_{sat}) - sendo que os valores M_{sec} e M_{sat} foram obtidos para os corpos de prova previamente rompidos. Desta forma, pode-se medir o volume de poros da argamassa, conforme a equação (Equação B):

$$Absorção = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sec})} \quad (B)$$

A porosidade pode ser obtida consoante a equação abaixo (Equação C):

$$Porosidade = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sec} - M_{sub})} \quad (C)$$

Onde M_{sub} é Massa submersa do corpo de prova. Entretanto, devido à inviabilidade de se obter este parâmetro através do método experimental, utilizou-se o método matemático. Sabendo que a densidade encontrada anteriormente (através da Equação A) também pode ser escrita como na Equação D, pode-se obter facilmente M_{sub} .

$$Densidade = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \quad (D)$$

Os procedimentos de análise da durabilidade foram realizados para os 3 corpos de prova de cada traço estudado, sendo o resultado apresentado a média aritmética dos valores encontrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar macroscopicamente a cinza, observou-se alto grau de umidade (devido ao processo de lavagem dos gases), grande presença de grãos de granulometria refinada, aglomerações destes grãos mais finos que se desfazem quando esfregado entre os dedos e

presença de areia, solo, pequenos pedriscos, além de grande quantidade de matéria orgânica, como bagaços de cana que não foram queimados. Devido a este fato, realizou-se o peneiramento das cinzas em malha com abertura de 2mm (Figura 1), conforme mencionado anteriormente, com a finalidade de retirar estes materiais indesejados e facilitar a homogeneização.



Figura 1 – Cinza do bagaço de cana de açúcar retido e passante na peneira malha #10

Pode-se observar, ainda, que a coloração da cinza é muito escura, sendo isto resultado de uma combustão incompleta e heterogênea do material, possuindo, portanto, alto teor de carbono [15]. Embora, na forma residual, sua introdução não seja atrativa, necessitando a moagem da cinza para aumentar sua reatividade [16], no presente estudo optou-se por utilizá-la in natura (sem queima posterior ou moagem) a fim de facilitar o processo de utilização e posterior aplicação no cotidiano, em projetos com pequena e grande infraestruturas.

Quando da introdução da cinza nos corpos de prova, observou-se um escurecimento das amostras, devido a cor escura da CBC (Figura 2).



Figura 2 – Corpos de prova de argamassa com introdução de CBC, sendo o primeiro a esquerda com substituição de 30%, e na ordem os de 20%, 15%, 10% e o último de 0%.

Os resultados da distribuição granulométrica dos três tipos de areia e da CBC (Figura 3) levaram a escolha da areia 1, tipo “Rosa Mineirinho”, para utilização no estudo, uma vez que este tipo de areia foi o que apresentou a granulometria mais próxima da CBC (principalmente em relação à quantidade de grãos finos) e por ser a de maior disponibilidade no local. Observa-se, ainda, que a areia utilizada e a cinza estão fora da zona utilizável determinada pela NBR NM 7.211 [17].

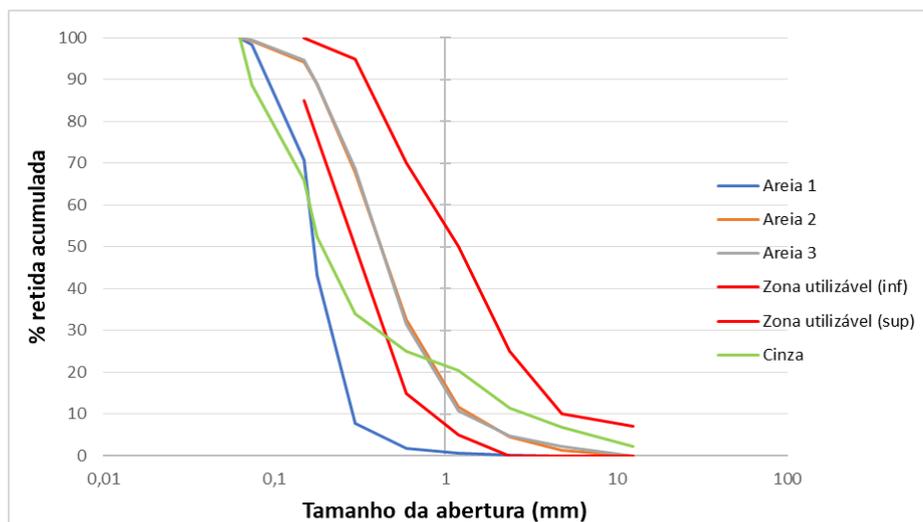


Figura 3 – Curvas granulométricas das areias e limites de zona utilizável, estabelecida pela NBR NM 7.211:2005 [17]

Os resultados de dimensão máxima e módulo de finura destes materiais (Tabela I), mostraram diâmetro máximo da cinza com valor elevado, devido à presença de bagaços de cana que não foram queimados (sendo o máximo diâmetro utilizado o de 2,0mm devido ao peneiramento das cinzas), e o diâmetro máximo da areia 1 apresentou-se baixo, por ser uma areia fina. O módulo de finura do agregado miúdo apresentou valores semelhantes aos dos obtidos em estudos anteriores.

Tabela I – Dimensão máxima e módulo de finura

	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
Areia 1	0,59	2,228
Areia 2	2,38	4,003
Areia 3	2,38	4,013
Cinza	12,5	3,068

O resultado do ensaio de perda ao fogo mostrou PF% de 12,6%, valor este superior ao critério da NBR 12.653 [18] para materiais pozolânicos, cujos valores máximos estão entre 6% e 10% (Figura 4). Portanto, a CBC utilizada não pode ser considerada como material pozolânico, e, isto pode ser causado pelo seu processo de produção com combustão incompleta e pela presença de matéria orgânica. Como seu valor de %PF é próximo ao limite estabelecido pela norma, supõe-se que um peneiramento mais fino e/ou queima, eliminando as fibras do bagaço de cana que restam na CBC, sejam suficientes para que o material seja considerado como pozolânico, em um futuro estudo.



Figura 4 – Amostra de cinza antes (a) e após queima (b)

Os resultados do ensaio de resistência a compressão da argamassa são apresentados nas figuras 5, 6 e 7. Onde A0 é a argamassa sem substituição (0% - traço de referência) e A10, A15, A20 e A30 a argamassa com substituição da areia pela CBC em porcentagens de 10%, 15%, 20% e 30%, respectivamente. Por meio dos resultados pode-se notar que:

- Até os 28 dias, para todos os teores de adição de CBC, a resistência estava abaixo do traço de referência (o que se deve à CBC ter sido utilizada *in natura*);
- Os traços A10, A15 e A30 diminuíram a resistência dos 28 até os 60 dias, e depois sofreram aumento;
- A resistência alcançada pelo traço A30 é inferior à referência, em todas as idades, resultando uma diminuição de 22,31% na resistência aos 120 dias;
- O traço A20, diferente dos outros teores de substituição, não sofreu decréscimo na resistência ao longo do tempo, apresentando considerável aumento dos 28 aos 120 dias, obtendo, ao final do intervalo, resistência à compressão 36,15% maior que a do traço de referência;
- Os traços A10 e A15 obtiveram resistência final próxima ao do traço de referência;
- A adição da CBC faz com que, em idades menores (até 28 dias), a argamassa tenha resistência abaixo da referência e, somente em idades mais avançadas, adquira maior resistência a compressão.

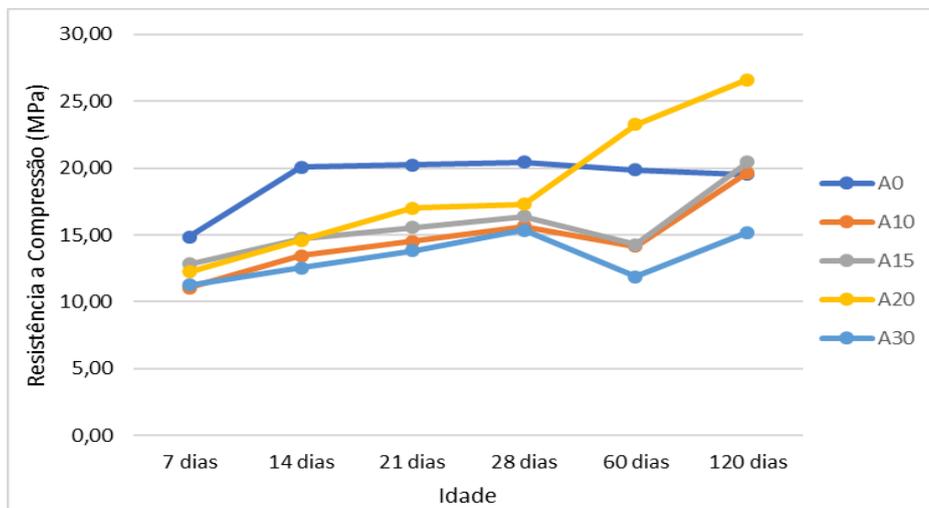


Figura 5 – Evolução da resistência a compressão com o tempo

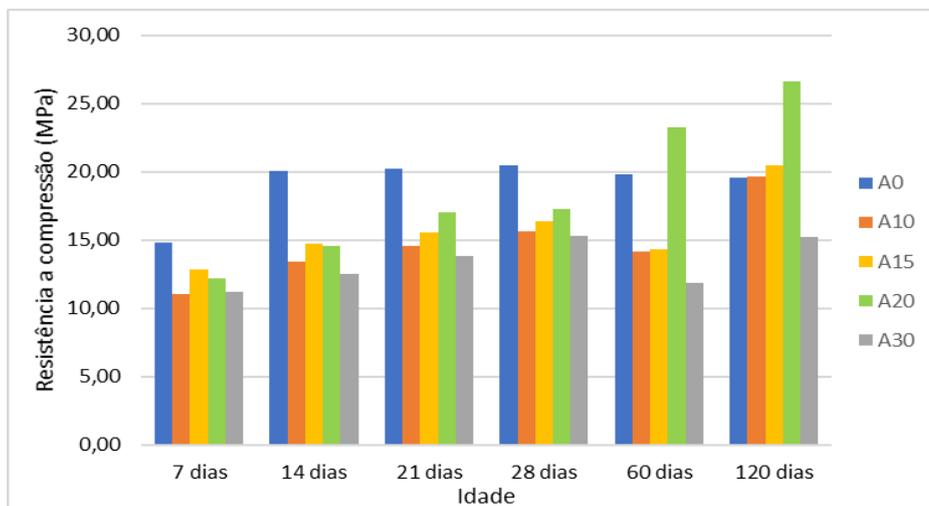


Figura 6 – Resistência à compressão em relação à idade nas argamassas com CBC

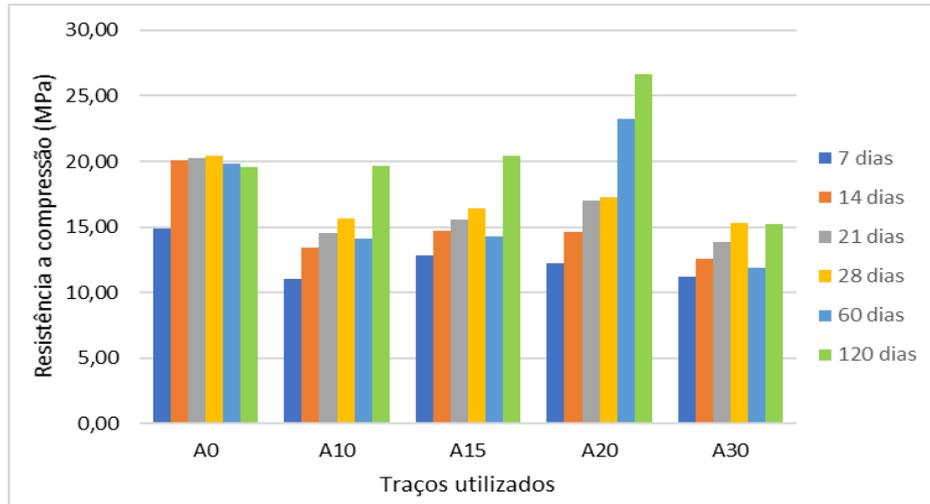


Figura 7 – Resistência à compressão em relação ao traço de argamassa, conforme a idade

Os resultados de variância e de coeficiente de variação da resistência à compressão mostraram valores superiores à 6% (recomendado pela norma NBR 7.215 ^[12]). Quanto à massa específica, os resultados podem ser observados na figura 8.

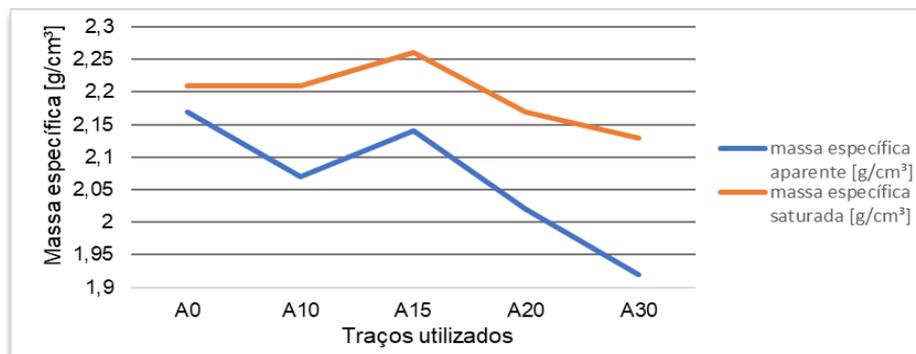


Figura 8 – Evolução dos valores de massa específica com a incorporação de CBC

Pode-se observar que o aumento da substituição da CBC é inversamente proporcional à massa específica aparente, não condizendo com o resultado encontrado por Paula ^[11] que observou um pequeno aumento da massa específica conforme se aumenta a porcentagem de substituição. Obtém-se, assim, um decréscimo na massa específica aparente de 11,52% para 30% de substituição. Já a massa específica saturada apresenta um aumento para substituição de 15% e uma diminuição para as argamassas A20 e A30, ocorrendo uma variação de, no máximo, 3,62%, em comparação com o traço de referência.

Pode-se, assim, concluir que a substituição de até 30% de areia pela CBC não causa modificação significativa na massa específica aparente das argamassas (<5,0%), causando na massa específica saturada uma leve alteração, que se deve ao fato de a areia utilizada possuir maior massa específica do que a CBC, fato este visível na dosagem dos corpos de prova.

A taxa de absorção de água por imersão e índice de vazios (porosidade) dos corpos de argamassa com a incorporação da CBC são apresentados na (Figura 9).

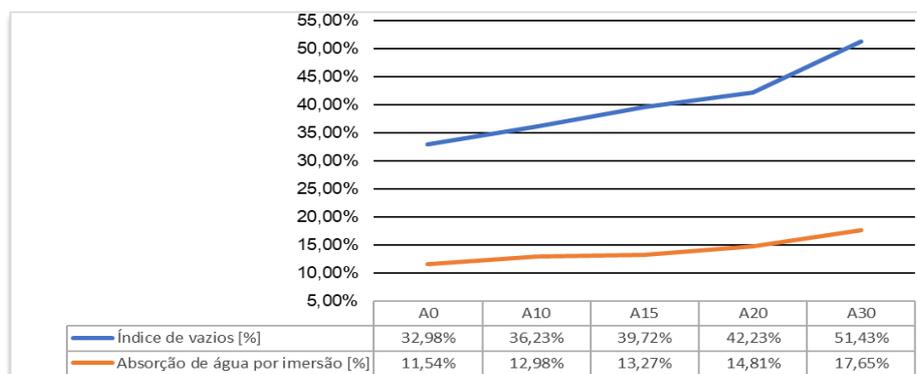


Figura 9 – Evolução da taxa de absorção e do índice de vazios

Observa-se que o aumento da absorção de água e do índice de vazios é diretamente proporcional ao aumento da introdução da CBC, com aumentos de 52,95% na absorção de água e 55,94% na porosidade da argamassa com 30% de substituição com relação ao traço de referência. Isto se deve à maior porosidade e menor massa específica da CBC *in natura* [2,7,14]; assim, quanto maior a taxa de CBC, maior a absorção de água e, conseqüentemente, maior a porosidade, prejudicando a resistência à compressão e a durabilidade (maiores profundidades no ensaio de carbonatação) [19]. Deste modo, tem-se aumento da resistência mecânica e da permeabilidade em idades avançadas, conforme observado por Rodrigues [20].

CONCLUSÕES

Consoante a ASTM – C 270-82 [21], o maior valor de resistência mínima à compressão que corpos de prova de argamassa cilíndricos devem apresentar é de 14,6 MPa, aos 28 dias, tanto para argamassa de cimento/cal, quanto para argamassa de alvenaria. Desta forma, tem-se que todos os traços estudados estão acima do exigido pela ASTM, inclusive no traço A30, no qual a substituição não foi benéfica.

Contudo, ao final das discussões realizadas, pode-se inferir que para substituições de 10% até 20% a adição é benéfica quanto à resistência à compressão, com valores próximos ao da referência ou maiores, e que substituições de 30% ou mais são danosas a resistência à compressão. Pode-se concluir, ainda, que a adição de CBC causa uma pega mais lenta, com um ganho de resistência a idades mais elevadas, como visto nos estudos de Paula [11] e Paula *et al.* [2]. Este atraso na pega pode ser devido à presença de açúcar residual [7], e/ ou pelo alto teor de carbono [11] ou, ainda, devido ao processo de combustão incompleta e heterogênea pela qual a cinza passa. Ao caracterizar a CBC *in natura*, esta não pode ser considerada como adição pozolânica quanto à perda ao fogo, o que contribuiu para baixos valores de resistência mecânica até 28 dias. Observa-se, ainda, que maior o teor de CBC nas argamassas maior é a porosidade e absorção de água.

Desta forma, em vista à quantidade de resíduos gerados, a CBC *in natura* apresenta-se como alternativa viável de adição mineral em argamassas que não necessitam de alta resistência até 45 dias e que serão utilizadas em áreas com baixo grau de agressividade ambiental, devido à sua porosidade ser 28% maior que a do traço de referência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por tudo. E a todos que me ajudaram, em especial à minha orientadora, Claudia, pelo apoio, competência e dedicação. Aos meus amigos e família pelo incentivo, amizade e compreensão da minha ausência; ao professor Paulo, pela ajuda, paciência e dedicação, e a Usina São João pelo fornecimento das cinzas para o estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] AECWEB. Os verdadeiros impactos da construção civil. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206. Acesso em: 18 maio 2017.
- [2] M. O. Paula, I. F. F. Tinôco, C. S. Rodrigues, E. N. Silva, C. F. Souza. Revista Bras. de Eng. Agr. e Amb., Campina Grande, 2009, v.13, n.3, pp. 353-357.
- [3] I. H. S. Nunes, R. D. Vanderlei, M. Secchi, M. A. Abe. Revista Tecnológica, Maringá, 2008, v. 17, pp. 39-48.
- [4] S. A. Lima, A. Sales, F. C. R. Almeida, J. P. Moretti, K. F. Portella. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2011, v.11, n. 2, pp. 201-212.
- [5] L. Kawa. Resíduos da produção de cana de açúcar. FAPESP. 2015. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/namidia/noticia/109777/residuos-producao-cana-acucar>. Acesso em: 13 mar 2019.
- [6] P. Peduzzi. Agência Brasil. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-04/conab-producao-de-cana-de-acucar-diminui-36>. Acesso em: 13 mar 2019.
- [7] F. S. J. Poggiali. Dissertação (Pós graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2010. 150 f.
- [8] A. F. Battagin, F. R. Cruz. Aecweb. Cimento: diferentes tipos e aplicações. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes_11959_0_1. Acesso em: 08 maio 2018.
- [9] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro.
- [10] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo: NBR NM 18. Rio de Janeiro.
- [11] M.O. Paula. Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG, Brasil, 77 p, 2006.
- [12] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão: NBR 7.215. Rio de Janeiro.
- [13] E. Câmara, R. C. A. Pinto, J. C. Rocha. Structures and Materials Journal, IBRACON, 2016, vol. 9, nº 4.
- [14] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica: NBR 9.778. Rio de Janeiro.
- [15] G. C. Cordeiro. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006. ((14))
- [16] V. N. Castaldelli, J. N. T. Castro, J. V. Fazzan, J. L. Akasaki, W. Manzoli Júnior, J. J. P. Bernabeu. XIII Encontro Nacional de Tec. do Amb. Construtivo, Canela, 2010.((15))
- [17] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). Agregados para concreto - Especificação: NBR 7.211. Rio de Janeiro.
- [18] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). Materiais Pozolânicos – Especificações: NBR 12.653. Rio de Janeiro.
- [19] C. D. Atis. Journal of Materials in Civil Eng., Technical Note, p. 91-94, jan./feb. 2004.
- [20] C. S. Rodrigues. Tese de Doutorado. Engenharia Civil PUC – Rio de Janeiro, 2004.
- [21] ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM C 270-82 - Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes. In: Annual Book of ASTM Standards, 1982.