

DESEMPENHO DE ARGAMASSAS FABRICADAS COM ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

F. S. J. Poggiali¹, M. M. N. S. Soares¹, A. C. S. Bezerra², P. G. L. Pádua³,
R. B. Figueiredo⁴, M. T. P. Aguiar⁴ e P. R. Cetlin⁵

1 - DEMET - Universidade Federal de Minas Gerais.

2 - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

3 - DEES – Universidade Federal de Minas Gerais.

4 - DEMC - Universidade Federal de Minas Gerais.

5 - DEMEC - Universidade Federal de Minas Gerais.

Escola de Engenharia, sala 1947, UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha,
Cep.31270-901, Belo Horizonte, Brasil. e-mail: spitale@ufmg.br.

RESUMO

O cimento Portland é um dos materiais mais utilizados na construção civil, mas no seu processo de fabricação são emitidos vários gases que intensificam o efeito estufa. Para minimizar esse impacto, diferentes resíduos provenientes da indústria e da agricultura tem sido utilizados como substitutos de parte do cimento na confecção de argamassas e concretos. As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) podem ser utilizadas como material cimentício suplementar dependendo da sua composição química e granulometria. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de argamassas fabricadas com CBCA nas porcentagens de 10, 15, 20 e 30% em substituição ao cimento, com fator água/materiais cimentícios (a/c) de 0,5. O desempenho mecânico dos corpos de prova confeccionados com os diferentes teores de cinza foi avaliado por ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água. As argamassas confeccionadas com 10% e 15% de cinzas apresentaram o melhor desempenho mecânico.

Palavras-chave: cinza de bagaço de cana-de-açúcar, materiais cimentícios suplementares, desempenho de argamassas.

INTRODUÇÃO

Diferentes materiais são utilizados como materiais cimentícios suplementares na fabricação do cimento Portland, dentre os quais se destacam a sílica ativa, cinza volante, *filler* calcário, escória granulada de alto-forno, metacaulim e cinza da casca de arroz ^(1,2,3,4,5,6,7,8).

Entre os objetivos da utilização de adições minerais em concretos estão a melhoria da trabalhabilidade, o aumento da plasticidade sem acréscimo do consumo de água, a modificação do tempo de pega, a redução da exsudação e segregação, o aumento da resistência final e da impermeabilidade devido ao refinamento dos poros, a intensificação da resistência à ação do congelamento, a melhora da resistência à fissuração térmica devido ao baixo calor de hidratação, a resistência ao ataque por sulfato, a minimização da reação álcali-agregado e da corrosão das armaduras. A melhoria destas propriedades reflete diretamente no aumento da durabilidade do composto cimentício⁽⁹⁾.

Segundo Payá, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar é um importante material para a confecção de argamassas e concretos devido à alta quantidade de dióxido de silício (SiO_2) e de óxido de alumínio (Al_2O_3)⁽¹⁰⁾. A cinza, que contém alto teor de SiO_2 , dependendo das condições de queima e de sua granulometria, apresenta características químicas e físicas que podem promover a reação pozolânica e/ou efeito filler⁽¹¹⁾. Estudos recentes indicam que cinzas de bagaço de cana com alto teor de sílica reativa (ou seja, com estrutura amorfa), alto grau de pureza (reduzido teor de carbono), em granulometria relativamente fina e na forma lamelar, seriam ideais para a produção de concretos duráveis, de forma similar às cinzas volantes e cinzas provenientes da queima da casca de arroz^(12,6).

Singh e demais autores analisaram a influência de diferentes porcentagens (10, 20 e 30%) de substituição do cimento pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar, além do traço de referência, nas propriedades do cimento Portland⁽¹³⁾. A resistência à compressão foi significativa principalmente para a substituição de 10% do cimento. Além disso, verificou-se que a utilização da cinza diminui a permeabilidade do material e, conseqüentemente, o torna mais resistente a ambientes agressivos.

Ganesan e demais autores utilizaram sete traços de argamassas, sendo que um referência e os outros seis com 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de substituição do cimento Portland por cinza de bagaço de cana⁽¹⁴⁾. A utilização de até 20% de cinza não alterou o desempenho das propriedades de resistência inicial, da permeabilidade de água e da resistência à penetração dos íons cloreto, melhorando a durabilidade do material.

Souza e demais autores utilizaram três traços de argamassas, sendo que um padrão e os outros dois com 10% e 20% de substituição do cimento Portland por cinza de bagaço de cana⁽¹⁵⁾. Os resultados experimentais mostram que ambos os traços contendo a cinza do bagaço de cana superaram a resistência à compressão em relação à argamassa sem adição da cinza. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral mostrou que as argamassas com a utilização de cinza de bagaço de cana apresentaram valores um pouco abaixo da argamassa padrão. As argamassas com cinza em sua composição apresentaram a taxa de absorção de água maior que o traço padrão.

Cordeiro e colaboradores estudaram a atividade pozolânica e o efeito *filler* da cinza do bagaço de cana-de-açúcar junto ao cimento Portland e argamassas⁽¹⁶⁾. A cinza utilizada foi colhida em uma usina no Estado do Rio de Janeiro, onde foram queimadas a diferentes temperaturas (700 a 900°C). O estudo mostra uma relação direta entre a resistência à compressão das argamassas com o valor da finura Blaine da cinza utilizada. Quanto maior o tamanho da partícula de cinza, menor a resistência à compressão da argamassa. O estudo mostra que a cinza do bagaço possui propriedades físico-químicas apropriadas para a utilização como adição mineral, mas sua reatividade depende do tamanho da partícula do resíduo.

Martins e Zanella avaliaram a absorção por capilaridade de argamassas produzidas com a cinza de bagaço de cana-de-açúcar em substituição do agregado miúdo, em proporções de 30, 50 e 100%⁽¹⁷⁾. A absorção por capilaridade é inversamente proporcional à quantidade de cinza de bagaço utilizada. Contudo, não foram avaliados aspectos referentes à durabilidade e propriedades mecânicas do material.

Castaldelli e demais autores utilizaram a cinza do bagaço de cana-de-açúcar “*in natura*” na confecção de concretos, substituindo o cimento em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%⁽¹⁸⁾. Quanto maior o teor de cinza nos corpos de prova, menor foi a resistência à compressão, mas melhorou o material quanto à absorção de água.

Cordeiro e demais autores utilizaram uma cinza de bagaço de cana-de-açúcar com alto teor de carbono na confecção de argamassas⁽¹⁹⁾. Foram avaliadas a resistência à compressão, a compactidade e a retração por

secagem. Devido à pouca reatividade da cinza, os resultados indicaram perda de resistência e aumento da retração em relação à substituição do cimento pela cinza, melhorando somente a sua compacidade.

Pádua investigou cinzas produzidas a partir de duas diferentes épocas de coleta de cana⁽²⁰⁾. Com as cinzas das duas coletas foram produzidos cimentos com 10%, 15%, 20% e 30% de cinzas em substituição parcial ao cimento puro na confecção de argamassas, onde suas propriedades mecânicas foram avaliadas nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias de cura. Os resultados indicaram que o uso de 10% de cinzas é mais interessante do ponto de vista de propriedades mecânicas. A requeima e a ativação química com 2% de K_2SO_4 da cinza promoveram redução da porosidade da argamassa, mas não são eficazes quanto ao desempenho mecânico.

Neste contexto, este trabalho se propõe a avaliar as propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e resistência à compressão) de argamassas confeccionados com clínquer e gesso e diferentes teores de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo foram coletados cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) volantes na Usina Caeté S/A, localizada na cidade Delta/MG. A cinza foi coletada nos filtros que tratam a água de lavagem dos gases após o peneiramento.

As cinzas, após a coleta, foram secas em uma estufa, marca DeLeo, a uma temperatura média de 65°C. Após a secagem, as cinzas foram submetidas a um processo de beneficiamento por moagem em moinho de bolas até a obtenção de uma área superficial específica (Blaine) de 1.195 m²/kg .

Após o beneficiamento da CBCA, foram produzidas argamassas para fins estruturais utilizando cimento puro (95% de clínquer e 5% de gesso) e substituições parciais de 0, 10, 15, 20 e 30% em massa de cimento pelo volume equivalente de CBCA, com fator água/cimento igual a 0,5. Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24 horas da sua confecção e submetidos à cura por imersão em água durante 28 dias.

Os corpos de prova confeccionados com diferentes teores de cinza, nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias, foram ensaiados para a determinação do módulo de elasticidade utilizando o método de frequência ressonante forçada, no modo longitudinal. Foram ensaiados 5 corpos de prova de cada traço e realizadas 10 leituras da frequência ressonante.

Após o ensaio de frequência ressonante, nas idades de 3, 7, 28 e 180 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, de acordo com a normalização brasileira. Foram ensaiados à compressão 5 corpos de prova para cada traço para cada idade. Uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL30000N, foi utilizada para a realização dos ensaios de resistência à compressão. Uma célula de carga de 300 kN e uma velocidade de 50 mm/min foram escolhidas para este ensaio.

O método utilizado para avaliar a porosidade das argamassas foi o de absorção d'água com base no princípio de Arquimedes. Para tal, logo após a cura, os corpos-de-prova foram submetidos à secagem em estufa a uma temperatura de $105\pm 1^{\circ}\text{C}$ por dois dias, no decorrer dos quais foi feita a avaliação da constância de massa, de acordo com o recomendado pela norma britânica⁽²¹⁾. Após serem retirados da estufa, foram deixados à temperatura ambiente até atingirem 25°C , a fim de se evitar taxas iniciais elevadas de absorção de água. Após resfriamento, os corpos de prova foram pesados e saturados durante 5 horas em um dessecador acoplado a uma bomba de vácuo, para que o ar fosse retirado das amostras. Após a saturação de água, as amostras foram pesadas submersas em água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da CBCA utilizada neste estudo para a confecção das argamassas foi descrita por Poggiali e demais autores⁽²²⁾ e está resumida nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Composição química da cinza de bagaço de cana-de-açúcar⁽²²⁾.

Elemento	Fórmula composta	Concentração (%)
Na	Na ₂ O	0,2
Mg	MgO	1,2
Al	Al ₂ O ₃	0,0
Si	SiO ₂	71,0
P	P ₂ O ₅	1,8
S	SO ₃	1,0
K	K ₂ O	3,3
Ca	CaO	2,2
Ti	TiO ₂	4,2
Fe	Fe ₂ O ₃	14,2
Cl	Cl	0,4
Mn	MnO	0,2
Sr	SrO	0,3

Tabela 2 - Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar⁽²²⁾.

Índice de atividade pozolânica (IAP)	pozolânica
Condutividade elétrica	atividade pozolânica moderada
Perda ao fogo	23,3 %
Blaine	1.195 m ² /kg
Massa específica	2,051 g/cm ³
Difração de raios-X	cristalina

A Figura 1 apresenta os resultados de módulo de elasticidade para os corpos de prova confeccionados com adição de CBCA em relação ao traço de referência. Os resultados mostram que a utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento provoca a diminuição do módulo de elasticidade, sendo que, quanto maior a quantidade de cinza, menor é o módulo. Quanto maior a idade de ensaio do corpo de prova, maior é o módulo de elasticidade da argamassa, considerando o mesmo teor de substituição de cimento por cinza. O módulo de elasticidade apresenta menores valores em todas as idades para teores de substituição de 20 e 30%. Os teores de substituição de 10% e 15% de cinza não afetam o módulo de elasticidade em todas as idades. Os dados indicam que a substituição de cimento por cinza não promove uma maior compacidade da argamassa.

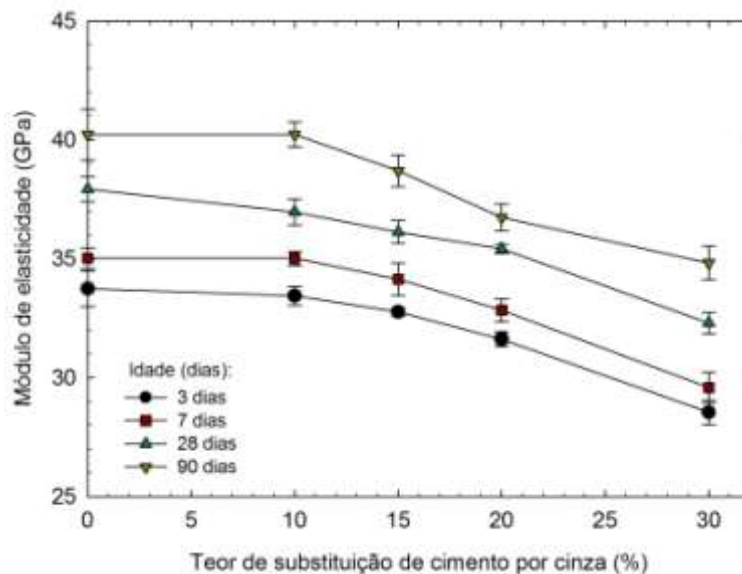


Figura 1 - Módulo de elasticidade de argamassas confeccionadas com diferentes teores de CBCA.

A Figura 2 apresenta os resultados de resistência à compressão para os corpos de prova confeccionados com adição de CBCA em relação ao traço de referência. Os resultados mostram que a utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento promove a diminuição da resistência à compressão para teores de substituição acima de 20%. Os resultados da resistência à compressão apresentam a mesma tendência de evolução em relação aos resultados de módulo de elasticidade. As argamassas apresentam aumento da resistência à compressão em relação ao tempo de cura para idades a partir de 7 dias. A resistência à compressão para teores de substituição de 30% é menor que o traço de referência para todas as idades. Teores de substituição de cimento por cinza de 10% e 15% matêm o valor de resistência à compressão das argamassas sem utilização de cinza. Pádua, também obteve o mesmo resultado para argamassas fabricadas com 10% de cinzas da 1ª coleta em substituição parcial ao cimento⁽²⁰⁾.

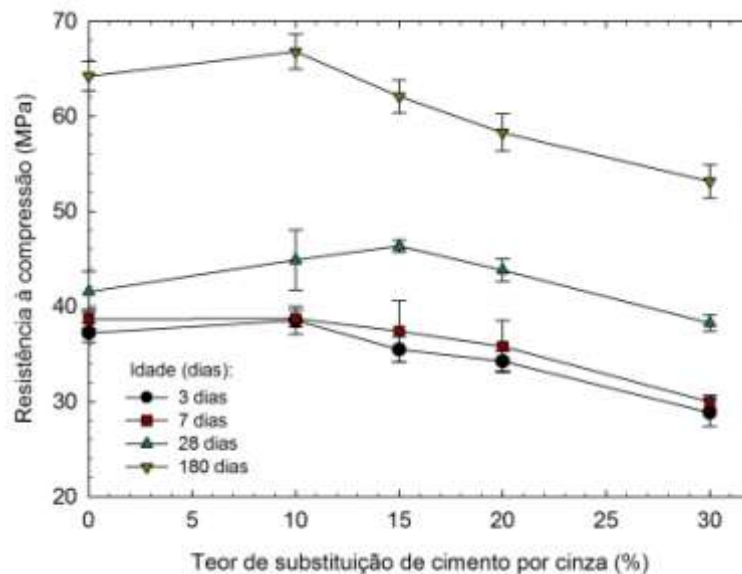


Figura 2 - Resistência à compressão de argamassas confeccionadas com diferentes teores de CBCA.

A Figura 3 apresenta os resultados de absorção de água para os corpos de prova confeccionados com adição de CBCA em relação ao traço de referência. Os resultados mostram que a utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento promove aumento da absorção de água e que, quanto maior a quantidade de cinza, maior é a absorção. A absorção de água é proporcional à porosidade aparente da argamassa. Portanto, os dados indicam que a substituição de cimento por cinza não promove uma maior compacidade da argamassa. Resultados similares foram obtidos por Cordeiro, *et al.* (2006) no ensaio de absorção por capilaridade. Entretanto, nos estudos de Pádua, os compósitos com 10% de cinzas da 1ª coleta foram similares a do concreto de referência⁽²⁰⁾. Por outro lado os compostos com 10% de cinzas da 2ª coleta apresentam uma porosidade em média 80% maior.

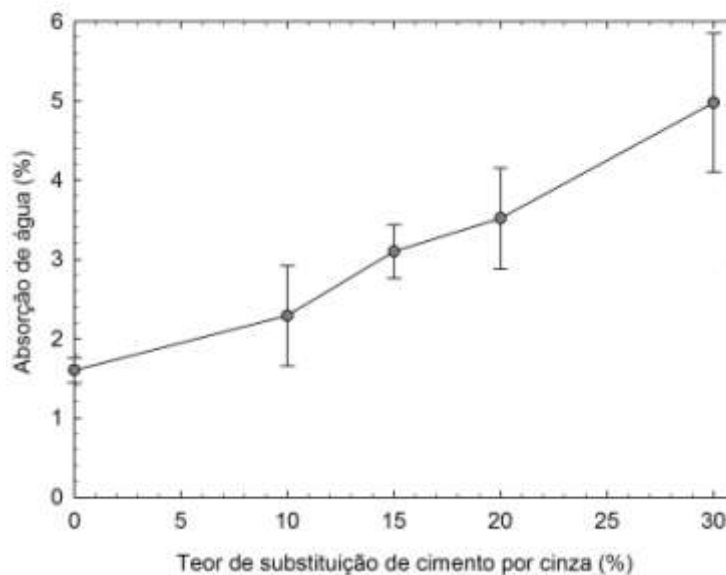


Figura 3 - Absorção à vácuo de argamassas confeccionadas com diferentes teores de CBCA.

CONCLUSÕES

- O teor de substituição de cimento por cinza de 10% e 15% não alteram os resultados de módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas em todas as idades em relação ao traço de referência.

- Teores de substituição maiores que 15% diminuem os valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade das argamassas.

- O aumento da quantidade de cinza utilizada na confecção das argamassas aumenta a porosidade das argamassas e, conseqüentemente, aumentam a absorção de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro, ao Grupo Carlos Lira (Usina Caeté) pelas cinzas disponibilizadas para a pesquisa e à Lafarge Brasil pelo fornecimento do clínquer e gesso.

REFERÊNCIAS

(1) YU, Q.; SAWAYAMA, K.; SUGITA, S.; SHOYA, M.; ISOJIMA, Y. The reaction between rice husk ash and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution and the nature of its product. Cement and Concrete Research 29, p. 37 – 43. Pergamon, 1999.

- (2) FENG, Q.; YAMAMICHI, H.; SHOYA, M.; SUGITA, S. Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. *Cement and Concrete Research* 34, p. 521 – 526, Pergamon, 2004.
- (3) FENG, Q.; LIN, Q.; YU, Q.; ZHAO, S.; YANG, L.; SUGITA, S. Concrete with highly active husk ash. *Journal of Wuhan University of Technology – Mater. Sci. Ed.* Vol. 19, N. 3, p. 74 – 77. Set /2004.
- (4) AKASAKI, J. L.; SILVA, E. J.; TASHIMA, M. M.; BARBOSA, M. B. Influência da adição de cinza de casca de arroz nos tempos de pega e retração por secagem. UNESP, Ilha Solteira/SP, p. 25 - 32, 2005.
- (5) SOUZA, J.; BEZERRA, I. M. T.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.; CARVALHO, J. B. Q.; OLIVEIRA, N. M. S.; SOUZA, A. J. D. Avaliação de argamassas com cinza e casca de arroz. *Anais do 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. Salvador, 2007b.
- (6) ZUCCO, L. L.; BERALDO, A. L. Efeito da adição de cinza da casca de arroz em mistura cimento – casca de arroz. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.28, n.2, p.217-226, abr./jun. 2008.
- (7) LASKAR, A. I.; TALUKDAR, S. Rheological behavior of high performance concrete with mineral admixtures and their blending. *Science Direct, Elsevier. Construction and Building Materials* 22, p. 2345 - 2354, 2008.
- (8) NIEBEL, P.; SANTI, M. R.; GARCIA, M.; WOZNIAK, R.; FREITAS, C.; CAMPITELI, V. Influência de adições minerais na trabalhabilidade, porosidade e resistência à compressão axial no concreto. *Anais do 5º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas*. CINPAR, 2009.
- (9) MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- (10) PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; DÍAZ-PNZÓN, L.; ORDOÑEZ, L. M. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies in its properties for reusing in concrete production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Oxford*, n 77, p. 321-325, 2002.

- (11) NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R. D.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção – Revista Tecnológica, v.17, p. 39-48, 2008.
- (12) PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; MELLADO, A.; ORDOÑEZ, L. M. Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method. Cement and Concrete Research 31, p. 227 – 231, Pergamon, 2001.
- (13) SINGH, N. B.; SINGH, V. D.; RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended Portland cement. Cement and Concrete Research 30, p. 1485 – 1488, Pergamon, 2000.
- (14) GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. Cement and Concrete Composites 29, p. 515 – 524, Elsevier, 2007b.
- (15) SOUZA, G. N.; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar - Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2007a.
- (16) CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. M. R. Pozzolanic activity and *filler* effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. Cement and Concrete Composites 30, p. 410 – 418, Elsevier, 2008.
- (17) MARTINS, C. M.; ZANELLA, R. M. Avaliação da absorção por capilaridade em argamassas produzidas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar – Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.
- (18) CASTALDELLI, V. N.; CASTRO, J. N. T.; QUEVEDO, V. R. B.; AKASAKI, J. L.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J. P. Avaliação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (*in natura*) quando adicionado ao concreto. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.
- (19) CORDEIRO, G. C.; RANGEL, R. C. N.; BARROSO, T. R. Avaliação da resistência à compressão, da compacidade e da retração por secagem de argamassas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar com elevado teor de carbono. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

(20) PÁDUA, P. G. L. Desempenho de compósitos cimentícios com cimentos aditivados com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e beneficiadas. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, 2012.

(21) BS ENISO 10545-3. BRITISH STANDARDS INSTITUTE: Ceramic tiles- part 3- Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density, 1997.

(22) POGGIALI, F. S. J.; SOARES, M. M. N. S.; BEZERRA, A. C. S.; PÁDUA, P. G. L.; FIGUEIREDO, R. B.; AGUILAR, M. T. P.; CETLIN, P. R. Caracterização físico-química de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. CBECIMAT, 2012.

PERFORMANCE OF MORTARS MADE WITH ADDITION OF SUGARCANE BAGASSE ASHES

ABSTRACT

Portland cement is one of the most used materials in construction, but its manufacturing process emits various gases which contribute to the greenhouse effect. To minimize this impact, different wastes from industry and agriculture have been used as substitutes for cement in making mortar. The sugarcane bagasse ashes (SCBA) can be used as a partial substitute for cement depending on their chemical composition, particle size and presence of organic matter. This study aims to evaluate the performance of mortars made with SBCA in percentages of 10, 15, 20 and 30% for cement mortars, with a factor water / cement of 0.5. The mechanical characterization of the samples made with different amounts of ash was evaluated by testing compressive strength, modulus of elasticity and water absorption. The mortars prepared with 10% and 15% ash had the best mechanical performance.

Key words: sugarcane bagasse ash, mineral additions, performance of mortars.