

# COMPORTAMENTO FÍSICO-MECÂNICO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND POR CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

## BEHAVIOR PHYSICO-MECHANICAL OF CONCRETE WITH REPLACEMENT OF PORTLAND CEMENT BY ASH FROM BAGASSE CANE-OF-SUGAR

Paulo Eduardo Teodoro<sup>1</sup>, Mario Henrique Quim Ferreira<sup>2</sup>, Diego de Souza Charbel<sup>3</sup>,  
Matheus Piazzalunga Neivock<sup>4</sup>, Sidiclei Formagini<sup>5</sup>

Recebido em 08 de janeiro de 2013; recebido para revisão em 02 de fevereiro de 2013; aceito em 05 de fevereiro de 2013; disponível on-line em 16 de fevereiro de 2013.



### PALAVRAS CHAVES:

*Abatimento;*

*Absorção de água;*

*Resistência à compressão.*

### KEYWORDS:

*Abatement;*

*Water absorption;*

*Compressive strength.*

**RESUMO:** O concreto, material composto basicamente de cimento Portland, agregados naturais e água em diferentes composições e formas, representa, em conjunto com o aço, a base da engenharia estrutural moderna contribuindo significativamente para as mudanças climáticas. Analisar as propriedades de concretos, no estado fresco e endurecido, preparados com teores de substituição de 0 (CA0), 5 (CA5), 10 (CA10) e 15% (CA15) do cimento Portland por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), provenientes de indústrias sucroalcooleiras do Estado de Mato Grosso do Sul. O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera UNIDERP, no ano de 2010. O concreto utilizado para os corpos de prova foi feito com cimento tipo CP II F 32, areias natural e artificial, pedrisco, brita nº 1, água e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. Foram analisadas as propriedades físicas do concreto por meio de ensaios de abatimento, absorção de água por capilaridade e imersão e resistência à compressão axial. Os resultados obtidos demonstram que a substituição do cimento Portland por 5 % de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar não interfere nas propriedades analisadas.

**ABSTRACT:** The concrete material composed primarily of Portland cement, natural aggregates and water in different compositions and shapes, represents, together with the steel, the foundation of modern structural engineering contributes significantly to climate change. Analyze the properties of concrete in fresh and hardened, prepared with substitution levels of 0 (CA0), 5 (CA5), 10 (CA10) and 15% (CA15) of Portland cement by ash from bagasse cane sugar (CBC), from sugar and alcohol industries of Mato Grosso do Sul the experiment was conducted at the Department of Civil Engineering at the University Anhanguera UNIDERP, in 2010. The concrete used for the specimens was done with cement type CP II F 32, natural and artificial sand, gravel, crushed stone No. 1, water and ash from bagasse cane sugar. We analyzed the physical properties of concrete by testing relief, water absorption by capillary action and dip and resistance to axial compression. The results show that the replacement of Portland cement with 5% ash of the crushed cane sugar does not affect the properties analyzed.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail : [eduteodoro@hotmail.com](mailto:eduteodoro@hotmail.com) (P. E. Teodoro)

Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera - UNIDERP

<sup>2</sup> e-mail : [mhquim@hotmail.com](mailto:mhquim@hotmail.com) (M. H. Q. Ferreira)

Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera - UNIDERP

<sup>3</sup> e-mail : [diogocharbel@hotmail.com](mailto:diogocharbel@hotmail.com) (D. de S. Charbel)

Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera - UNIDERP

<sup>4</sup> e-mail : [neivock@gmail.com](mailto:neivock@gmail.com) (M. P. Neivock)

Professor MSc. em Engenharia de Matérias do curso de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera - UNIDERP

<sup>5</sup> e-mail : [formagini@gmail.com](mailto:formagini@gmail.com) (S. Formagini)

Professor Dr. em Estruturas do curso de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera - UNIDERP

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças do clima global, e as consequências de tais mudanças na vida do homem vêm sendo amplamente discutidas. Convenções sobre o assunto como a do RIO em 92 ou de Kyoto em 97 demonstraram um grande consenso científico da relação da emissão antropogênica de gases, principalmente CO<sub>2</sub> e o efeito estufa.

A necessidade de geração de energia a partir de fontes renováveis vem impulsionando a produção de álcool etanol a partir da cana-de-açúcar. O Brasil se posiciona, atualmente, como o maior produtor mundial de açúcar e álcool e maior exportador mundial de açúcar. O Proálcool, Programa Nacional do Álcool, é o maior programa comercial de utilização de biomassa para a produção de energia no mundo e representou a iniciativa de maior sucesso mundial, na substituição de derivados de petróleo no setor automotivo, mediante o uso do álcool como combustível único nos veículos movidos a álcool hidratado (Paula et al., 2009)

Esta autora ressalta o importante papel desempenhado na solução do problema da octanagem da gasolina, substituindo o chumbo tetraetila, altamente prejudicial à saúde humana, na mistura gasolina-álcool (gasohol), hoje aceita e usada em praticamente todo o mundo, onde cerca de 4 milhões de veículos utilizam exclusivamente este derivado da cana como combustível, representando 40% da frota nacional.

Durante a extração do caldo da cana-de-açúcar é gerada grande quantidade de bagaço (aproximadamente 30% da cana moída), biomassa de suma importância como fonte energética. Cerca de 95% de todo o bagaço produzido no Brasil são queimados em caldeiras para geração de vapor gerando, como resíduo, a cinza de bagaço, cuja disposição não obedece, na maior parte dos casos, a práticas propícias, podendo-se configurar em sério problema ambiental. Constituída, basicamente, de sílica, SiO<sub>2</sub>, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos (CORDEIRO et al., 2009).

Atualmente, o cimento Portland é o principal material de construção empregado pelo homem. O concreto, material composto basicamente de cimento Portland, agregados naturais e água em diferentes composições e formas, representa, em conjunto com o aço, a base da engenharia estrutural moderna (CORDEIRO, 2006).

Os materiais de construção são importantes contribuintes para a mudança climática, tanto pela

utilização de combustíveis fósseis na sua produção e transporte como no uso de calcário como matéria-prima, principalmente no cimento. Na produção do clinker, principal constituinte do cimento Portland, uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> é liberada na queima do calcário para obtenção de óxido de cálcio, assim sendo é recomendada a substituição de parte do clinker por adições minerais que também atuem como materiais cimentantes, como cinza volante, escória ou pozolanas (MALHOTRA e MEHTA, 1996).

A utilização pela construção civil de resíduos gerados em outros setores da economia é vantajosa não apenas em virtude do aumento da atividade industrial e, conseqüentemente, de subprodutos mas, sobretudo, devido à redução da disponibilidade de matérias-primas não renováveis, tão necessárias às atividades da construção civil convencional. Grande parte dos resíduos gerados pode ser reciclada, reutilizada, transformada e incorporada, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia alternativa de construção mais eficiente, econômica e sustentável (JOHN, 2007).

Dentre os resíduos se destacam as cinzas minerais oriundas de diferentes atividades agroindustriais, que apresentam altas porcentagens de sílica e de outros óxidos, podendo ser então utilizadas como pozolanas. A propriedade da pozolana é a sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis de poder aglomerante, tais como os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (FAIRBAIRN et al. 2010).

De acordo com Cordeiro et al. (2009), o emprego da cinza residual da casca de arroz em substituição ao cimento Portland, até o teor de 20%, proporciona incrementos significativos nos valores de resistência à compressão e melhoria nos parâmetros reológicos, tanto para os concretos de resistência convencional quanto para os de alta resistência.

Pesquisas recentes (Lima et al., 2009; Lima et al., 2011) tem demonstrado a eficiência da substituição de agregado miúdo por CBC, onde os concretos não apresentaram diferenças significativas para resistência a compressão e absorção de água, contudo são escassas informações sobre o comportamento de concretos com substituição parcial de cimento Portland por CBC, justificando a presente pesquisa.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objeto analisar as propriedades de concretos, no estado fresco e endurecido, preparados com teores de substituição de

0, 5, 10 e 15% do cimento Portland por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, provenientes de indústrias sucroalcooleiras do Estado de Mato Grosso do Sul.

### 3. METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera UNIDERP, entre os meses de abril a junho de 2009.

O concreto utilizado para os corpos de prova foi feito com cimento tipo CP II F 32, areias natural e artificial, pedrisco, brita nº 1, e água proveniente da rede

de abastecimento de Campo Grande – MS e sua dosagem calculada para  $f_{ck}$  de 20 MPa.

As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar são provenientes da indústria sucroalcooleira do Mato Grosso do Sul, essas cinzas foram previamente secas em estufa, depois de secas foram peneiradas nas malhas 2,4 mm e 1,2 mm e finalmente moídas em um moinho de bolas por no mínimo 8 horas.

A caracterização dos materiais foi feita através da distribuição granulométrica (Tabela 1) definida pela NBR 248 (ABNT, 2003) e massa específica (Tabela 2) de acordo com NBR 53 (ABNT, 2003).

**Tabela 1:** Análise granulométrica dos materiais utilizados.

Abertura da Peneira	Materiais				
	Areia natural	Areia de Brita	Pedrisco	Brita nº 1	
mm	Passante (%)	Passante (%)	Passante (%)	Passante (%)	
25,0	100,00	100,00	100,00	100,00	
19,0	100,00	100,00	100,00	92,85	
12,5	100,00	100,00	99,20	42,17	
9,50	100,00	100,00	93,87	6,62	
<b>Granulometria</b>	4,75	100,00	99,87	13,28	0,20
	2,40	100,00	67,32	13,28	0,20
	1,20	100,00	44,38	13,28	0,20
	0,60	99,90	29,78	13,28	0,20
	0,30	66,90	21,71	13,28	0,20
	0,15	4,90	16,31	13,28	0,20
	0,075	0,60	10,53	13,28	0,20
Fundo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabela 2:** Massa específica dos materiais utilizados.

Material	Cimento	Cinza Residual	Areia Natural	Areia de Brita	Pedrisco	Brita nº 1
Massa Específica ( $\text{g cm}^{-3}$ )	3,10	2,74	2,70	2,89	2,89	2,88

A dosagem dos materiais para a formulação do traço, para os corpos-de-prova, deveria ser preciso e consistente. Tanto o traço de controle quando os traços preparados com a substituição da cinza deveriam manter valores de fck consistentes.

Dessa forma para o cálculo das dosagens do material foi utilizado o programa computacional MECFOR, baseado na teoria do Modelo de Empacotamento Compressível FORMAGINI (2005). O MECFOR permitiu a simulação de diferentes composições, selecionando adequadamente os materiais visando a atender as propriedades desejadas do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido, sendo estes apresentados na Tabela 3.

Para a produção do concreto utilizado nos corpos de prova utilizou-se uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 120 litros. 18 corpos-de-prova cilíndricos com dimensão 100 x 200 mm foram produzidos com cada tipo de traço para utilização nos ensaios de compressão e absorção de água por imersão total e por capilaridade. O abatimento foi realizado conforme NBR 67 (ABNT, 1998). Os corpos-de-prova foram retirados dos moldes após 24 horas para capeamento dos topos (regularização das extremidades), e imersos em tanques de água saturada para processo de cura.

O experimento foi desenvolvido adotando-se delineamento experimental inteiramente casualizado, constituído de quatro tratamentos, ou seja: três níveis de adição de CBC e um traço de controle (100% cimento),

com cinco repetições. Os níveis de adição de CBC foram avaliados com base no teste de Tukey para todas as combinações.

Foram determinadas as resistências a compressão de cinco corpos-de-prova para cada traço do concreto, 0, 5, 10 e 15 % de substituição do cimento, aos 3, 7, e 28 dias, nos corpos-de-prova citados anteriormente, utilizando uma prensa hidráulica com capacidade de carga de 1000 kN, conforme norma NBR 5739 (ABNT, 1994).

O ensaio de abatimento do concreto com teores de CBC foi determinado de acordo com a NBR 67 (ABNT, 1998).

Conforme NBR 9778 (ABNT, 2005), o índice de absorção pode ser determinado conforme Equação 01:

$$\left[ \left( \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \right] \quad \text{Eq. [01]}$$

Onde:

$M_{\text{sat}}$ : massa do corpo-de-prova saturado;

$M_s$ : massa do corpo-de-prova seco em estufa;

Para este ensaio, cinco corpos-de-prova com idade de 28 dias foram submetidos à secagem em estufa com temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , determinando-se a massa dos mesmos em intervalos de 24, 48 e 72 horas. Posteriormente, foi realizada a imersão em água a temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , e determinadas sua massa após 24, 48 e 72 horas em imersão.

**Tabela 3:** Proporção entre os componentes dos traços.

Componentes	Traços			
	CA0	CA5	CA10	CA15
Cimento CP II F 32	390	371	351	332
Areia Natural	467	467	467	467
Areia de Brita	341	341	341	341
Pedrisco	312	312	312	312
Brita nº 1	864	864	864	864
Aditivo Químico (litros)	3,15	3,15	3,15	3,15
Água (litros)	168	168	168	168
Relação Água/Cimento	0,43	0,43	0,43	0,43

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ENSAIO DE ABATIMENTO

Todos os traços obtiveram resultados satisfatórios de abatimento, todos maiores de 70 mm, condição que satisfaz os critérios para serem lançados e adensados de acordo com a Tabela 4.

### 4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os corpos-de-prova foram rompidos com 2, 7 e 28 dias para determinação da resistência à compressão axial, os valores obtidos demonstram o ganho de resistência entre os testes, de acordo com a Tabela 5.

Tanto o traço controle quanto o de 5% tiveram resultados satisfatórios nos testes, os traços de 10 e 15% obtiveram resultados abaixo da meta, cimentos com aditivos pozolânicos apresentam um ganho de resistência mais lento, o que pode explicar os resultados.

A análise de variância aplicada aos dados de

resistência a compressão mostrou, a nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey, alto grau de significância para combinações estudadas. Observa-se que a resistência a compressão das argamassas é inversamente proporcional ao teor de cinza adicionado. da resistência aos 28 dias indica que a reação pozolânica tem início 7 dias após a mistura, quando a hidratação do cimento se apresenta já em estado avançado, conforme observado por RODRIGUES (2006).

Estes resultados apontam a possibilidade de se substituir 5% do cimento Portland por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, sem prejuízo da resistência a compressão. Nunes et al. (2008) e Paula et al. (2009), ao analisar o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland, concluíram que este pode substituir o teor de cimento em até 13 e 20%, respectivamente, sem perdas na resistência a compressão, o que não foi evidenciado no presente trabalho.

**Tabela 4:** Valores de Abatimento dos traços.

Característica	Traços			
	CA0	CA5	CA10	CA15
Abatimento (mm)	80 b	90 a	90 a	75 b

\* As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

**Tabela 5:** Resistência à compressão axial dos traços.

Característica	Traços			
	CA0	CA5	CA10	CA15
Resistência à compressão (MPa)				
03 dias	17,3 a	16,6 a	12,2 b	9,6 b
07 dias	21,8 a	20,6 a	15,6 b	12,3 b
28 dias	26,0 a	25,6 a	19,4 b	16,9 b

\* As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

## 5. CONCLUSÃO

A substituição do cimento Portland por 5% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar não interferiu estatisticamente na resistência a compressão axial do concreto em relação ao traço de referência, sendo superior aos traços de adição de 10 e 15% de CBC. Todos os traços avaliados obtiveram abatimento adequado, entretanto o CA5 foi inferior ao CA0 no parâmetro absorção de água por imersão, não diferindo dos demais traços.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 53**: Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

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

CORDEIRO, G. C. **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana – de – Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. **Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 99-107, 2009.

FAIRBAIRN, E. M. R.; AMERICANO, B. B.; CORDEIRO, G. C.; PAULA, T., P.; TOLEDO FILHO, R. D.; SILVOSO, M. M. Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO<sub>2</sub> emissions reduction and potential for carbon credits. **Journal of Environmental Management**, v.91, p. 1864-1871, 2010.

FORMAGINI, S. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

JOHN, V. M. **Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª Ed. v1, IBRACON: São Paulo, 2007.

LIMA, S. A.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; SANTOS, T. J. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica**, Maringá, Edição Especial ENTECA, p. 87-97, 2009a.

LIMA, S. A.; SALES, A.; ALMEIDA, F. C. R.; MORETTI, J. P.; PORTELLA, K. F. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

MALHOTRA, V. M., MEHTA, P.K. **Pozzolan and Cementitious Materials**. first Ed. Gordon and Breach Publishers, Amsterdam, 1996.

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**, Maringá, v. 17, p. 39-48, 2008.

PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. C. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.

RODRIGUES, C. S.; GHAVAMI, K.; STROEVEN, P. Porosity and water permeability of rice husk ash-blended cement composites reinforced with bamboo pulp. **Journal of Materials Science**, v.41, p.6925-6937, 2006.