



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

CONCRETO COM ADIÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Vinícius Nobre Castaldelli (1); Juliana Nicoletti Telles de Castro (2); João Victor Fazzan (3); Jorge Luís Akasaki (4); Wilson Manzoli Júnior (5); Jorge Juan Paya Bernabeu(6)

- (1) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: vinicius_castaldelli@hotmail.com
- (2) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: juliananicoleti@hotmail.com
- (3) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: jvfazzan@hotmail.com
- (4) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: akasaki@dec.feis.unesp.br
- (5) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: manzoli@dec.feis.unesp.br
- (6) Instituto de Ciencia y Tecnologia del Hormigón (ICITECH) – Universidad Politécnica de Valencia, UPV, Espanha – e-mail: jjpaya@cst.upv.es

RESUMO

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um resíduo gerado da utilização do bagaço da cana como combustível em processos de co-geração de energia. Por ser constituída predominantemente de dióxido de silício (SiO_2), apresenta como potencial matéria-prima alternativa para a produção de concreto, substituindo porcentagens de cimento.

A cinza na sua forma residual não é atrativa, sendo necessária a moagem mecânica das partículas, processo que aumenta a reatividade do aditivo que é proporcional à sua superfície específica. Essa pesquisa demonstra o comportamento da cinza em concreto sem passar pelo processo de moagem.

A cinza substituiu o cimento em proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em massa no traço de concreto 1:5, sendo que os resultados obtidos foram comparados com o concreto produzido com 100% de cimento (referência). Para minimizar o efeito da moagem, foi alterada a ordem de colocação dos materiais na betoneira. A cinza foi processada primeiro com a brita em dois tempos diferentes, um traço com 5 minutos de mistura e outro com 10 minutos.

Foram obtidos resultados satisfatórios tanto na resistência à compressão quanto na absorção de água por imersão, sendo que na compressão, à medida que a porcentagem de cinza aumentava a resistência diminuía e quanto maior a porcentagem de cinza, menor a absorção, onde se destaca o traço com 20% como o que possibilita construir com uma resistência em média de 30 MPa e absorção de 4%.

Palavras-chave: cinza do bagaço de cana-de-açúcar, resíduo agrícola, adição mineral, concreto.

1 INTRODUÇÃO

A indústria do cimento, além de consumir grandes quantidades de recursos naturais não renováveis, emite para a atmosfera enormes quantidades de gases, compostos orgânicos voláteis e odores. Mais de 99% dos gases expelidos para a atmosfera são compostos de nitrogênio, vapor d'água e CO_2 , enquanto que menos de 1% é composto por NO e SO_2 , além de pequenas quantidades de compostos orgânicos e metais pesados. A formação de NO é uma consequência inevitável da combustão a alta temperatura.

Os outros poluentes provêm principalmente da matéria-prima ou dos combustíveis utilizados. O processo de calcinação do carbonato de cálcio (CaCO_3) e da queima dos combustíveis utilizados no processo de fabricação do clínquer, faz com que as indústrias de cimento sejam responsáveis por cerca de 7% da emissão mundial de CO_2 na atmosfera, contribuindo significativamente para o aquecimento global. Uma das alternativas de atenuar este efeito é a substituição do clínquer do cimento Portland por materiais alternativos com menor consumo de energia. Estas adições podem ser materiais silicosos ou alumino-silicosos provenientes de resíduos industriais e agroindustriais que, ao serem misturados com o cimento, influenciam nas propriedades mecânicas e de durabilidade, em virtude dos efeitos químicos (ação pozolânica) e físicos (efeito filer). Das adições minerais com potencialidade de uso em concretos estão as cinzas residuais: resultante da queima de cascas de arroz para o aquecimento de água durante o processo de parboilização do arroz e a resultante da queima de bagaço da cana-de-açúcar para a co-geração de energia em usinas de álcool e açúcar.

Normalmente, o bagaço é empregado como combustível em processos de co-geração de energia, no qual a cinza é gerada como resíduo. Geralmente, estas cinzas são descartadas nas lavouras sem um manejo eficiente pelas usinas sucroalcooleiras. Por ser constituída predominantemente de dióxido de silício (SiO_2), apresenta como potencial matéria-prima alternativa para a produção de concreto.

A cada tonelada de cana-de-açúcar processada são gerados aproximadamente 26% de bagaço (umidade de 50%) e 0.62% de cinza residual (FIESP/CIESP, 2001). Atualmente cerca de 95% de todo o bagaço gerado no país, estimado em aproximadamente 117 milhões de toneladas, são queimados nas próprias usinas de álcool para a geração de vapor em processos de co-geração de energia. Na safra nacional de 2008/2009 foram produzidas mais de 572 milhões de toneladas de cana (CONAB, 2008); assim, conforme os parâmetros de estimativa de cálculo de FIESP/CIESP (2001) foram utilizados nas caldeiras de todo o país cerca de 137 milhões de toneladas de bagaço, o que gerou um montante de 3,5 milhões de toneladas de cinza do bagaço de cana.

Segundo Cordeiro (2006), a queima do bagaço resulta em um material cuja composição química revela a presença predominantemente de dióxido de silício (SiO_2). Em função de sua composição química, que se destaca o elevado teor de dióxido de silício, este material apresenta-se como potencial aditivo mineral para pastas, argamassas e concretos. Mas, na forma residual não é atrativa, sendo necessária a moagem mecânica das partículas, processo que aumenta a reatividade do aditivo que é proporcional à sua superfície específica.

Para Cordeiro (2006) a moagem da CBC é uma operação necessária para ativar suas reações químicas, e seu estudo mostrou que a atividade pozolânica de uma cinza residual varia de acordo com a distribuição granulométrica. A cominuição das cinzas, realizada em moinho de bolas rotatório, com tempos de moagem variando de 30 a 16 horas, apresentou diferentes distribuições granulométricas. Para cada distribuição granulométrica da cinza residual, foi realizado o ensaio de atividade pozolânica, conforme a ABNT NBR 12653 (1992). O valor mínimo estabelecido pela ABNT é de 75%, condição que foi atendida para um tempo de moagem superior a 8 horas.

Paula (2006) mostrou que a eficiência do aumento de finura decresce a partir de certo ponto, pois as partículas menores, de elevada superfície específica, tendem a aglomerar-se ainda no estado seco, o que exige um aumento da energia de mistura, incompatível com os equipamentos hoje existentes, ou o emprego de aditivos para aumentar a dispersão.

Lima et al. (2009) analisou a resistência à compressão de argamassas com a CBC substituindo o agregado miúdo. Os resultados foram satisfatórios, sendo quase todos maiores que os valores referência. A provável causa desse aumento de resistência é devido ao efeito físico do empacotamento das partículas (CORDEIRO et al., 2008).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar se o comportamento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) sem sofrer o processo de moagem (in natura), quando adicionado ao concreto, é eficiente na substituição da massa de cimento em 5%, 10%, 15% e 20% quando submetido à compressão e quanto à absorção de água na idade de 28 dias, considerando o tempo de mistura de brita e CBC de 5 minutos e 10 minutos.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

O tipo de cimento selecionado para essa pesquisa é o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V - ARI) com massa específica de 3,030 g/cm³. Este cimento foi empregado por ser o de menor teor de adições entre os disponíveis no mercado brasileiro. O agregado miúdo é a areia natural e classificado segundo a Figura 1. O agregado graúdo é uma brita basáltica com granulometria máxima de 19 mm e classificado segundo a Figura 2.

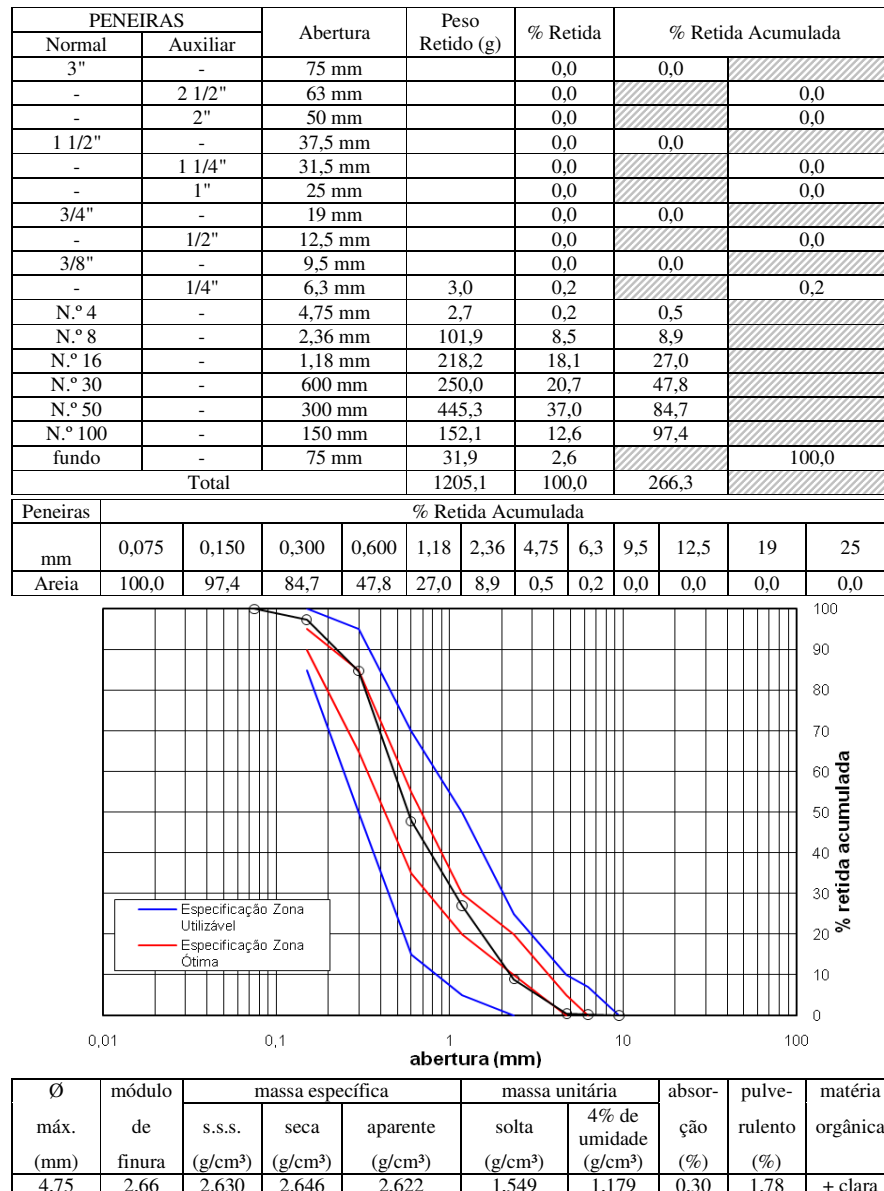
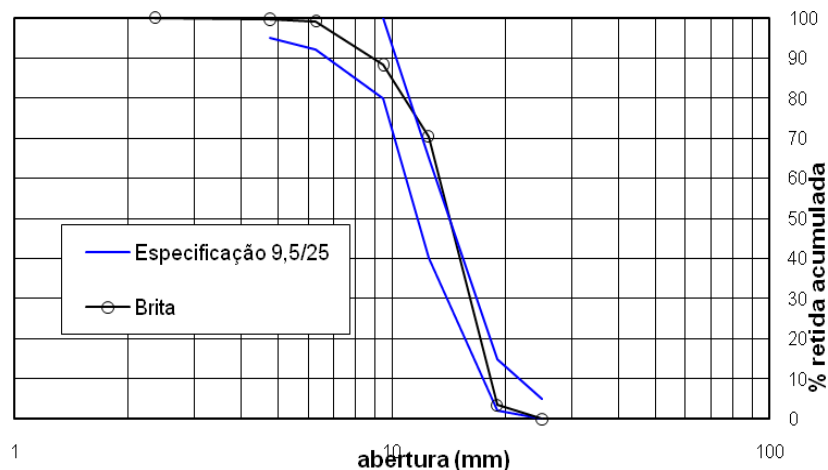


Figura 1 - Caracterização do Agregado Miúdo

PENEIRAS		Abertura (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	
Normal	Auxil.					
3"	-	75 mm		0,0	0,0	
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0
-	2"	50 mm		0,0		0,0
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0	
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0
-	1"	25 mm		0,0		0,0
3/4"	-	19 mm	860	3,5	3,5	
-	1/2"	12,5 mm	16650	66,9		70,4
3/8"	-	9,5 mm	4450	17,9	88,3	
-	1/4"	6,3 mm	2700	10,9		99,1
N.º 4	-	4,75 mm	140	0,6	99,7	
N.º 8	-	2,36 mm	80	0,3	100,0	
N.º 16	-	1,18 mm		0,0	100,0	
N.º 30	-	600 µm	0	0,0	100,0	
N.º 50	-	300 µm	0	0,0	100,0	
N.º 100	-	150 µm	0	0,0	100,0	
fundo	-	75 µm		0,0		100,0
Total			24880	100,00	691,40	

Peneiras	% Retida Acumulada											
mm	0,150	0,300	0,600	1,180	2,36	4,75	6,30	9,50	12,50	19,0	25,0	31,5
Brita	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	99,1	88,3	70,4	3,5	0,0	0,0



Ø máximo (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária (g/cm³)	absorção (%)	pulverulento (%)
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)			
19,0	6,91	2,925	2,883	3,010	1,590	1,43	0,36

Figura 2 - Caracterização do Agregado Graúdo

A água utilizada nos ensaios foi a água de abastecimento público destinada ao consumo dos habitantes de Ilha Solteira – SP. Foi necessária a utilização do aditivo Superplastificante para os traços com 10%, 15% e 20% de substituição, o que permitiu obter um concreto adequado para o lançamento, com boa Consistência, coesão e sem risco de segregação.

Para todos os concretos, foi utilizado um traço corrigido a partir de um concreto sem substituição, mostrado na Tabela 1 e teor de argamassa de 57%.

Tabela 1 - Traço do concreto em estudo

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA/CIMENTO
	1	2,416	2,562	0,515

3.2 Execução do concreto

Como a CBC em estudo não passou por um processo de moagem, a colocação dos materiais na betoneira seguiu um parâmetro diferente do comum, aumentando o tempo de mistura dos materiais e a ordem de colocação destes, para que possa haver uma redução do diâmetro das partículas de CBC. Esta redução do diâmetro das partículas permite que a reação pozolânica ocorra com maior intensidade, além de reduzir os custos da utilização do produto, eliminando assim uma etapa que antes era vista pelos autores como sendo de fundamental importância. Pretende-se, portanto, facilitar a produção de CBC, pois o processo de moagem requer aparelhos de elevado custo e mão de obra especializada para a realização deste.

A colocação dos materiais na betoneira em movimento foi para todas as composições, sendo a ordem de colocação dos materiais usual a vários autores de concreto:

1º - Colocação da brita, CBC (in natura) e 50% de água, os quais foram homogeneizados durante 5 ou 10 minutos, dependendo do traço;

2º - Depois desse tempo, adicionou-se na mistura o cimento, a areia, o resto da água e o aditivo, se houver, misturando-os por mais 10 minutos.

Os traços executados estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos traços de concreto

Consumo de materiais por m ³	Referência	5%	10%	15%	20%
Cimento (kg)	372,152	344,996	317,840	290,684	263,528
CBC (kg)	-	19,538	39,076	58,614	78,152
Areia (kg)	898,220	898,220	898,220	898,220	898,220
Brita (kg)	945,063	945,063	945,063	945,063	945,063
Água (kg)	200,017	200,017	199,087	198,157	197,226
Aditivo (%)	-	-	0,01	0,50	0,90

3.3 Teste de Abatimento

O Teste de Abatimento foi realizado para verificar as condições de trabalhabilidade do concreto utilizado, sendo indicador de um método de adensamento adequado mediante a medida da altura de queda do concreto contido em um cone padronizado, conforme prescrito na norma NBRNM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1998). O abatimento foi fixado em 50 ± 15 mm, tanto para os traços sem adição de CBC quanto para os que receberam tal adição.

3.4 Adensamento

O adensamento do concreto, nas fôrmas de dimensões (10 x 20) cm foi feito por meio de mesa vibratória por aproximadamente 60 segundos.

3.5 Cura dos corpos de prova

De acordo com a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2008), a cura dos corpos de prova (CPs) será feita em câmara úmida, com temperatura em torno de 22,5 °C.

3.6 Capeamento

Uma hora antes dos ensaios de ruptura foram capeados os corpos de prova com uma mistura de enxofre (60%) e pozolana (40%). Unta-se com óleo mineral o prato do aparelho de capear. Com uma concha, untada com óleo, coloca-se a mistura fundida no prato do aparelho. Tomam-se os corpos de prova, fazendo um dos topos assentarem no prato contendo a mistura fundida. Espera-se o resfriamento.

3.7 Ensaio de resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão simples foi efetuada de acordo com a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007).

3.8 Ensaio de absorção

A determinação da resistência à compressão simples foi efetuada de acordo com a NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2005).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Todos os traços calculados e executados estão mostrados na Tabela 2.

4.1 Resistência à Compressão

Analisando os resultados mostrados nas Figuras 3 e 4, observou-se que existe uma relação entre a porcentagem de massa de cimento substituída e a resistência à compressão, ou seja, quanto mais massa de cimento substituída por CBC, menor a resistência. A ausência da etapa de moagem da cinza (etapa essa que aumenta sua superfície específica e conseqüentemente aumenta sua reatividade) está diretamente relacionada com a queda de resistência, isso porque, os resultados obtidos com tempo de mistura de 10 minutos foram mais satisfatórios que os obtidos com tempo de mistura de 5 minutos (exceto 5%).

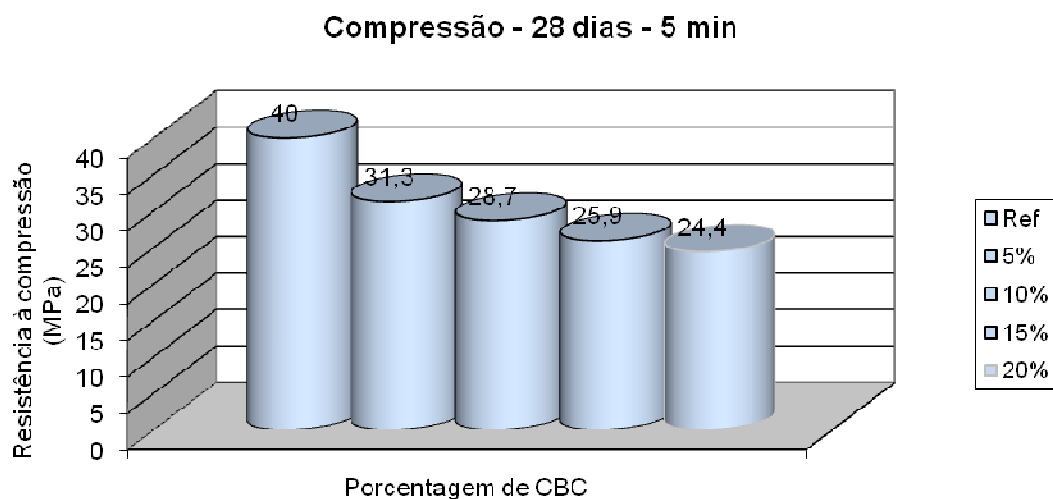


Figura 3 - Gráfico comparativo dos valores de compressão

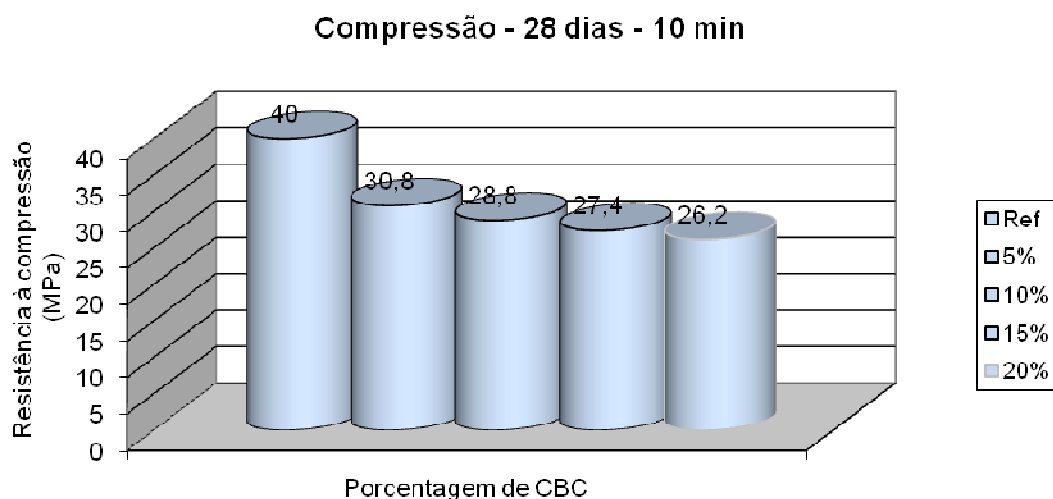


Figura 4 - Gráfico comparativo dos valores de compressão

4.2 Absorção

No ensaio de absorção, observou-se uma “porcentagem ótima”, pois com 5% de substituição de massa de cimento, o concreto apresentou menor absorção. Isso mostra que a cinza preenche os vazios do concreto com mais eficiência, visto que todos os traços com substituição absorveram menos água do que o traço sem nenhuma substituição. Comparando os tempos de mistura, os resultados obtidos com tempo de mistura de 5 minutos foram mais eficientes que os resultados obtidos com tempo de mistura de 10 minutos (exceto 5%). Os resultados e a ilustração dos mesmos em forma de gráfico estão mostrados nas Figuras 5 e 6.

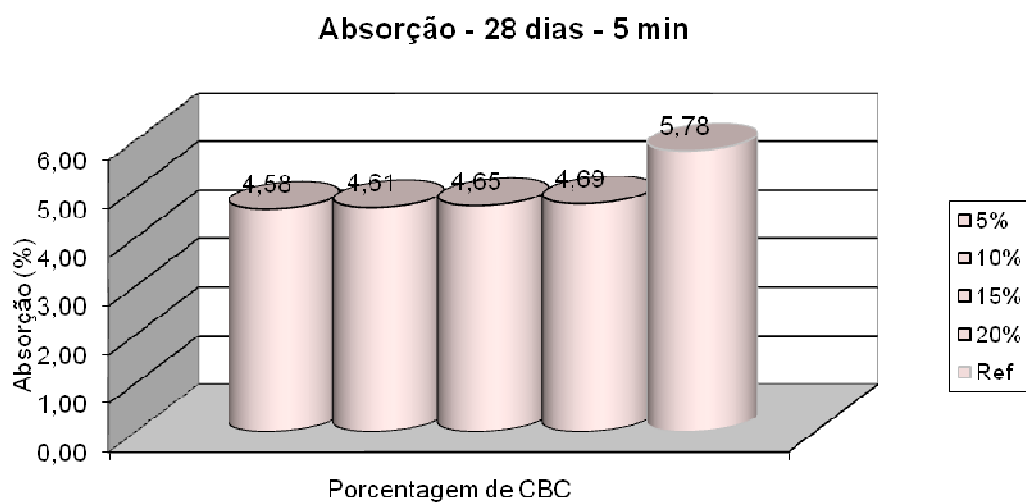


Figura 5 - Gráfico comparativo dos valores de absorção

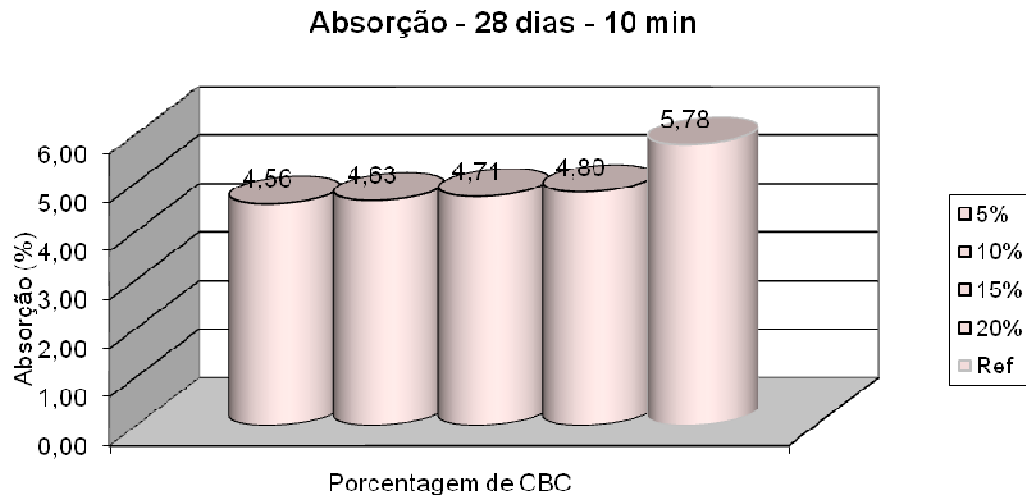


Figura 6 - Gráfico comparativo dos valores de absorção

Todos os concretos analisados mostraram-se eficientes. Apesar do concreto com adição de CBC diminuir a resistência de compressão em relação ao concreto sem substituição, esse apresentou uma média de 28 MPa, além de ser mais eficiente quanto à absorção comparado com um concreto sem substituição, apresentado uma média de 4,63% para o traço com tempo de mistura de 5 minutos e 4,67% para o traço com tempo de mistura de 10 minutos. O concreto com substituição de 20% diminuiu em 39% a resistência à compressão e diminuiu em 19% a quantidade de água absorvida de um concreto sem substituição para o tempo de mistura de 5 minutos e diminuiu 34% da resistência à compressão e diminuiu em 17% a quantidade de água absorvida comparado com um concreto sem nenhuma substituição. Assim, pode-se dizer que o traço com teor de 20% de substituição de massa de cimento é o mais recomendado para uso, pois, além de ser suficiente, é o que economiza maior quantidade de cimento.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de resíduos da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) tem se mostrado promissora na indústria da construção civil. Dessa forma, a pesquisa em questão vem de encontro à necessidade de aproveitamento de CBC em substituição parcial do cimento em concretos, considerando que as cinzas empregadas não tenham passado pelo processo de moagem.

Quanto às propriedades do concreto endurecido, inicialmente foram analisados os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova. Os resultados obtidos permitiram concluir que existe uma relação entre resistência à compressão e porcentagem de massa de cimento substituída, de forma que, quanto maior a porcentagem, menor a resistência à compressão obtida. Além disso, ficou evidente que, quanto maior o tempo de moagem, maior o valor de resistência à compressão, comprovando os efeitos de preenchimento de vazios e aumento de reatividade por parte da CBC.

Também foi analisada a capacidade de absorção das amostras, verificando que todos os traços com substituição foram capazes de absorver menor quantidade de água, em relação ao traço sem substituição. De acordo com os resultados, observou-se que existe uma porcentagem ótima nas quais a absorção é a menor, além de que os valores encontrados se mostraram mais eficientes para o menor tempo de mistura da CBC.

Relacionando as duas propriedades analisadas, pode-se concluir que existe um teor ideal nas quais a queda de resistência à compressão não seja de tal forma expressiva e que venha a garantir a menor absorção possível, em relação ao traço sem substituição. De fato, a importância da substituição de cimento por CBC está na redução do consumo de cimento, nas quais o teor ideal garante tal comportamento.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Modelagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218 – Agregados – Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9202 – Cimento Portland e Outros Materiais em Pó – Determinação da Finura por Meio da Peneira 0,044 mm (Número 325)**. Rio de Janeiro, 1985.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da Massa Específica**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 49 – Agregado Fino– Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 52– Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 53 – Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 65 – Cimento portland – determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 67 – Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do troco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 76 – Cimento portland – determinação da finura pelo método de permeabilidade ao Ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília: MAPA/SPAEE, 2007a. 139p.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.

FAUSTO, W. **Fabricação de álcool e açúcar bate mais um recorde.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=73&NSN=928>> Acesso em: 07 mai. 2010.

FIESP/CIESP (2001) – **Ampliação da oferta de energia através da biomassa (bagaço de cana-de-açúcar).** São Paulo: FIESP/CIESP, 90p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Dados estatísticos.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em: 20 fev. 2009.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.** 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

HELENE, P. R. L., TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.

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 (UEM), v. 18, p. 87-97, 2009.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPESP, ao CNPq, ao LCEC – Laboratório CESP de Engenharia Civil, a empresa REGIGANT – Recuperadora de Pneus Gigantes Ltda, a Holcim Brasil, a Sika do Brasil, ao Porto de Areia Nossa Senhora Aparecida e a Pedreira Três Fronteiras.