



CONCRETOS COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

**Maicon Secchi (1); Marcelo Akira Pietrobom Abe (2); Joenilson Daniel Agassi (3);
Romel Dias Vanderlei (4)**

(1) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá, Brasil – e-mail:
maiconsecchi@hotmail.com

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá, Brasil – e-mail:
marceloakira15@hotmail.com

(3) Mestrando em Engenharia Urbana – Universidade Estadual de Maringá, Brasil – e-mail:
eng.joe@hotmail.com

(4) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá, Brasil – e-mail:
rdvanderlei@uem.br

RESUMO

O bagaço da cana de açúcar é um dos subprodutos da indústria da cana. Atualmente o bagaço gerado na usina é consumido para produção de energia por meio da co-geração, tornando a usina auto-sustentável energeticamente e, em alguns casos, sobra energia para venda de eletricidade. Durante o processo de queima do bagaço de cana-de-açúcar nas fornalhas das caldeiras, ocorre a geração de cinzas residuais. As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), por apresentar em sua composição, predominantemente, sílica e granulometria fina, que podem proporcionar ao material atividade pozolânica e efeito fíler, pode ser utilizada como matéria-prima na substituição parcial do cimento Portland para produção de argamassas e concretos. Objetivando avaliar impacto do emprego de CBC na confecção de concretos, tomou-se como referência uma dosagem sem CBC, denominado padrão, no qual se promoveu um gradativo acréscimo da quantidade de CBC nas taxas de 3%, 5%, 7%, 10%, 13%, 15% e 20% em relação à massa de cimento. Como parâmetro para analisar a influência da CBC no concreto, avaliou-se a resistência à compressão simples dos corpos-de-prova aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura. Como resultado, constatou-se que com a adição de 20% da cinza do bagaço da cana-de-açúcar não houve alterações significativas na resistência em comparação à compressão do concreto de referência, porém, para a taxa de 10%, na adição peneirada, verificou-se aumento de 11,89% na resistência à compressão.

Palavras-chave: cinza do bagaço da cana-de-açúcar, resíduo agroindustrial, concretos com resíduos.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, os materiais de construção têm sido avaliados não só de acordo com suas propriedades e seu desempenho; a forma como são produzidos e o impacto que este processo de produção gera sobre o meio ambiente também têm sido alvo de muitas pesquisas.

O crescimento da produção de cimento, visando suprir o aumento da demanda de concreto, resultou em alguns efeitos danosos, como o prejuízo ao meio ambiente, pelo aumento da extração de matéria-prima e da emissão de CO₂. Mehta & Monteiro (2008) acrescenta que a produção de cimento é responsável por quase 7% das emissões globais, a fabricação de uma tonelada de clinquer de cimento Portland lança perto de uma tonelada de CO₂ na atmosfera, sendo uma contribuição significativa para o efeito estufa existente no planeta.

Em vista disso, nos últimos anos tem-se verificado um crescente número de trabalhos voltados para a utilização e o aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas na produção de diversos materiais voltados para o setor da construção civil, como argamassas, blocos, painéis e concretos (FERREIRA et al., 1997).

A maior experiência brasileira na área de reciclagem de resíduos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla principalmente escórias de alto forno e cinzas volantes (ÂNGULO et. al., 2001).

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo tropical, gerando centenas de milhares de empregos, diretos e indiretos. A mesma é uma importantíssima fonte de renda e de desenvolvimento para uma nação.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, além de ser o maior exportador mundial de açúcar. No estado do Paraná, a cultura da cana se faz muito presente, tendo em vista sua ampla possibilidade de utilização.

Um aspecto importante a ser considerado nessa cultura é a geração de subprodutos, como águas de lavagem, bagaço, folhas e pontas, vinhaca, torta de filtro e leveduras. Destes subprodutos, merece destaque a queima do bagaço para geração de energia elétrica. O emprego deste subproduto é atrativo devido, principalmente, a seu poder calorífico médio de 7,74 MJ/kg (1850 kcal/kg) com umidade de 50% e aos grandes montantes de cana-de-açúcar processados dentro do setor sucroalcooleira, tornando a quantidade gerada de bagaço significativa (COELHO, 1999 apud SOUZA, 2007).

Normalmente, este subproduto é empregado como combustível em processos de co-geração de energia. Após a queima, sobram cinzas residuais cuja composição química revela a presença predominante de dióxido de silício (SiO₂). Para cada tonelada de cana-de-açúcar que alimenta o processo de moagem são gerados aproximadamente 26% de bagaço (umidade de 50%) e 0,62% de cinza residual (CORDEIRO, 2006).

Por ser constituída predominantemente de dióxido de silício (SiO₂), as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de materiais pozolânicos para concreto (SOUZA et al., 2007). Assim uma das possíveis soluções para essa questão é o aproveitamento do CBC em substituição a um determinado percentual de cimento utilizado na produção de argamassas e concretos.

Conforme Hernández et al. (1998), em seu estudo desenvolvido com a CBC de Cuba, os principais parâmetros que afetam a sua reatividade são o grau de cristalinidade da sílica e a presença de impurezas, como carbono e material não calcinado. Desta maneira, as impurezas podem limitar o contato entre o hidróxido de cálcio e a sílica reativa para formar compostos estáveis.

Singh et al. (2000) evidenciaram em seu estudo realizado na Índia a potencialidade pozolânica da CBC. A argamassa contendo 10% de CBC apresentou resistência mecânica aos 7, 14 e 28 dias superior a da argamassa de referência.

Apesar do grande potencial produtor da CBC, são escassas as pesquisas realizadas com esse resíduo no Brasil.

Em função da real possibilidade da utilização de CBC em substituição parcial ao cimento Portland na confecção de concretos e argamassas, em função de suas possíveis propriedades pozolânicas, faz-se necessário um estudo de caracterização e avaliação de seu real potencial como matéria-prima para esse fim.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é implantar alternativas para o emprego de cinza proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) dentro da construção civil, avaliando a possibilidade de sua utilização em substituição parcial ao cimento Portland, especificamente na produção de concretos, tendo como princípio a análise do parâmetro de resistência à compressão.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Aglomerante

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland com adição de pozolanas CP II-F 32.

Para a caracterização deste cimento, fez-se o ensaio de índice de finura conforme NBR 11579:1991, ensaio de tempo de pega conforme NBR 11581 e ensaio de resistência à compressão da argamassa de cimento de acordo com a NBR 7215:1996, os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do cimento CP II-F 32

Item de controle	Unidade	Média
Material Retido #200	%	2,22
Início de Pega	Horas	2:44
Fim de Pega	Horas	5:05
Resistência a 3 dias	MPa	20,10
Resistência a 7 dias	MPa	23,80
Resistência aos 28 dias	MPa	32,40

3.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia de origem quartzosa da região de Maringá - PR cuja caracterização baseou-se nos ensaios descritos nas normas: NBR 9776:1982, NBR 7251:1982; NBR 7217:1987.

Conforme os resultados do ensaio de determinação da composição granulométrica esta pode ser classificada como muito fina. Além disso, os resultados dos ensaios para determinação da massa específica e da massa unitária no estado solto estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do agregado miúdo

Característica	Unidade	Valores
Massa específica	kg/dm ³	2,666
Diâmetro máximo característico	Mm	1,2
Módulo de finura	-	1,66
Massa unitária no estado solto	kg/dm ³	1,572

3.1.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi de origem basáltica da região de Maringá no Paraná e foi caracterizado através dos ensaios descritos nas normas: NBR 7810:1983; NBR 7251:1982; NBR 7217:1987; NBR 9937:1987. Os resultados dos ensaios encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização do agregado graúdo

Característica	Unidades	Valores
Massa específica na condição seca	kg/dm ³	2,645
Absorção	%	4,7
Diâmetro máximo característico	mm	19,0
Módulo de finura	-	6,956
Massa unitária no estado compacto	kg/dm ³	1,714
Massa unitária no estado solto	kg/dm ³	1,593

3.1.4 Cinzas do Bagaço da Cana-de-açúcar

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar usada no processo experimental do presente trabalho foi colhida na Usina Santa Terezinha, localizada no Município de Iguatemi-PR.

Foi utilizada a CBC no estado “in natura”, ou seja, nas mesmas condições que a CBC sai das caldeiras após sua queima, como ilustrada na Figura 1.



Figura 1 - Cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

A análise granulométrica da CBC foi realizada através de peneiramento manual, utilizando-se para tanto a seqüência de peneiras 0,30mm, 0,15mm, 0,075mm e fundo. Foi realizado o ensaio com o material natural. Utilizou-se uma amostra de 300g. Os resultados dos ensaios estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da análise granulométrica da CBC

MASSA (g)	MATERIAL RETIDO (g)				MATERIAL RETIDO (%)			
	# 0,3	# 0,15	# 0,075	FUNDO	# 0,3	# 0,15	# 0,075	FUNDO
300,00	107,500	177,780	14,180	0,710	35,83	59,26	4,73	0,24

3.2 Métodos

Tendo em vista a finalidade de se estudar o efeito da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em adição a determinados teores de cimento Portland na produção de concretos estruturais, foi estabelecida a seguinte metodologia de trabalho:

- Seleção e caracterização dos materiais;

- Definição do traço de referência (1,000 : 2,060 : 2,940 : 0,555);
- Programa experimental com taxas de CBC de 3%, 5%, 7%, 10%, 13%, 15% e 20% em adição a massa de cimento do traço de referência;
- Concretagem de corpos-de-prova cilíndrico de 10cm x 20cm;
- Cura dos corpos-de-prova;
- Ensaios à compressão axial dos corpos-de-prova nas idades: 3, 7, 14 e 28 dias;

3.2.1 Programa Experimental

O programa experimental adotado está apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Programa experimental

Série	% de CBC	Nº de CP ensaiados à compressão axial			
		Idade dos CP's			
		3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1	0% (Referência)	3	3	3	3
2	3%	3	3	3	3
3	5%	3	3	3	3
4	7%	3	3	3	3
5	10%	3	3	3	3
6	13%	3	3	3	3
7	15%	3	3	3	3
8	20%	3	3	3	3

Após a caracterização granulométrica dos agregados e da CBC, iniciou-se o processo de dosagem, realizando-se em um primeiro instante a dosagem do traço de referência. Pesaram-se as massas de agregado miúdo e graúdo a serem utilizadas. Logo em seguida, procedeu-se da mesma maneira com relação à determinação da massa de Cimento Portland. Providenciou-se a água necessária para a mistura dos materiais, através de uma proveta. Na seqüência, realizou-se a mistura dos componentes em uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 40,0 litros.

Retirou-se o concreto da betoneira, sendo parte dele separado para a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test), conforme prescreve a NBR 7223:1982.

Em seguida transferiu-se esse concreto para um carro-de-mão para assim dar início à moldagem dos corpos-de-prova, como apresentado na Figuras 3.

A moldagem desses modelos foi feita como proposto na NBR 5738:1994. Feito isso, os modelos foram deixados em repouso no próprio local por 24 horas. Passado esse período providenciou-se a retirada dos moldes. A cura dos corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida, onde permaneceram até o momento do ensaio de resistência à compressão simples.

3.2.2 Ensaio de Resistência à Compressão

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma prensa hidráulica de capacidade de carga de 100 toneladas. Esses ensaios foram realizados nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias de cura do concreto.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Resultados

Os valores experimentais obtidos nos ensaios de resistência à compressão média dos corpos-de-prova estão apresentados na Tabelas 6.

Tabela 6 – Resistências à compressão média dos corpos-de-prova

% de CBC	f_c (MPa)			
	Idade dos CP's			
	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
0% (Referência)	17,2	21,9	29,9	32,8
3%	17,6	24,5	27,5	32,8
5%	16,9	20,5	29,0	31,0
7%	20,3	26,0	29,9	34,7
10%	21,5	23,0	28,0	36,7
13%	21,4	26,7	31,0	34,1
15%	18,0	21,5	26,8	31,5
20%	19,3	25,0	32,8	33,0

A Figura 4 mostra a representação gráfica indicando a evolução da resistência à compressão ao longo do tempo, para cada teor de CBC adicionados.

A Figura 5 mostra a variação da resistência à compressão em função do teor de CBC adicionada, para as idades de 3, 7, 14 e 28 dias.

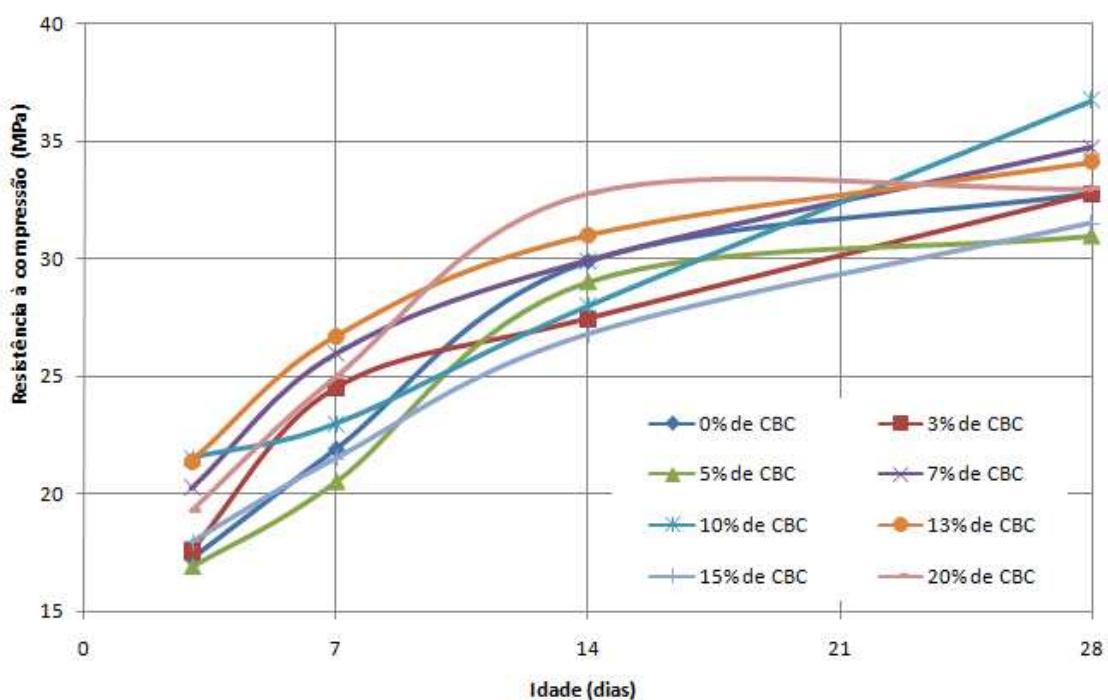


Figura 4 - Comportamento das resistências, ao longo do tempo, nas dosagens propostas

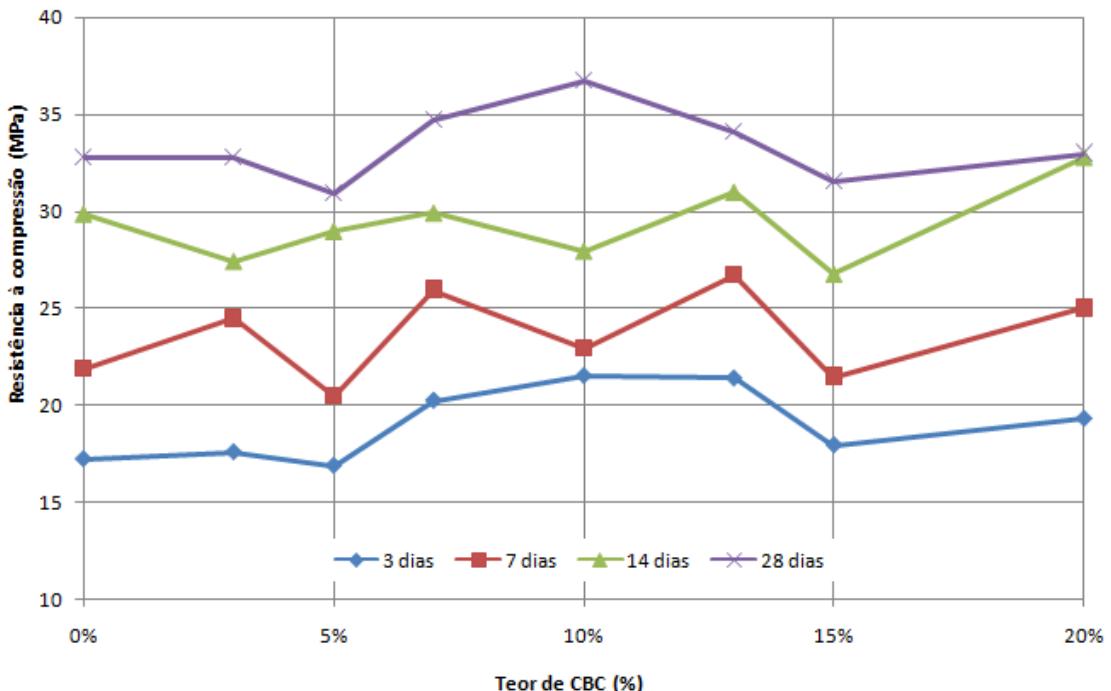


Figura 5 - Comportamento das resistências para 3, 7, 14 e 28 dias em função dos teores de CBC

A Tabela 7 apresenta um comparativo percentual de elevação das resistências entre os corpos-de-prova ensaiados com adição de CBC, em relação aos valores alcançados pelo traço de referência.

Tabela 7 – Percentual da resistência em relação ao traço de referência

Idade (dias)	f_c Referência	Percentual da resistência em relação ao traço de referência						
		3% CBC	5% CBC	7% CBC	10% CBC	13% CBC	15% CBC	20% CBC
3	17,2	2,32%	-1,74%	18,02%	25%	24,41%	4,65%	12,20%
7	21,9	11,87%	-6,39%	18,72%	5,02%	21,91%	-1,82%	14,15%
14	29,9	-8,02%	-3,01%	0%	-6,35%	3,67%	-10,36%	9,69%
28	32,8	0%	-5,48%	5,79%	11,89%	3,96%	-3,96%	0,60%

4.2 Análise dos Resultados

De acordo com os resultados experimentais, observa-se a não uniformidade no comportamento das resistências à compressão quando adicionadas teores de CBC a mistura de concreto.

Pode-se notar que a CBC não produziu um efeito negativo considerável na resistência à compressão dos concretos, chegando a uma perda máxima de 10,37% em relação ao traço de referência para o teor de 15% de CBC aos 14 dias. Também, pode-se dizer que praticamente não houve acréscimo da resistência à compressão dos concretos feitos com CBC aos 28 dias, pois, nesta idade, o maior acréscimo foi de 12% em relação ao traço de referência, no traço com 10% de CBC. Vale ressaltar que a cinza provocou um ganho de resistência considerável, na faixa de 10% a 13% de CBC na idade de 3 dias, na ordem de aproximadamente 25%.

5 CONCLUSÕES

O uso da cinza residual do bagaço da cana-de-açúcar em adição a 10% no teor de cimento possibilitou a produção de um concreto com resistência média de 36,70 MPa aos 28 dias de cura, superando em aproximadamente 12% a resistência conferida pelo concreto de referência.

Salienta-se também o traço produzido com teor de 20% de CBC. Nota-se que esse concreto apresentou uma resistência à compressão idêntica ao traço de referência aos 28 dias de cura. Dessa forma, essa dosagem torna-se extremamente interessante sob o ponto de vista ambiental, pois se utiliza maior quantidade de CBC, mantendo as propriedades do concreto convencional.

Contudo, é importante salientar a necessidade da realização de um maior número de estudos para a melhor caracterização das possibilidades de utilização da CBC como forma alternativa na produção de concretos estruturais em larga escala.

Esta pesquisa está em execução, onde estão sendo realizados mais ensaios para comprovar os resultados obtidos, além de realizar teste substituindo parcialmente o cimento Portland pela CBC. Também estão sendo realizados ensaios de caracterização física e química da CBC, moagem da cinza para aumentar a área específica promovendo maior atividade pozolânica, determinação do índice de atividade pozolânica, análise das características de durabilidade de concretos feitos com a CBC. Esses estudos são de fundamental importância para uma melhor visualização das possibilidades de utilização desse subproduto da indústria da cana-de-açúcar na produção de concretos.

6 REFERÊNCIAS

- AÏTCIN, P.C. **Concreto de alto desempenho.** São Paulo: Ed. Pini, 2000. 662 p.
- ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Determinação dos teores de concreto e argamassa em agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11581:** Cimento Portland: determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579:** Cimento Portland: determinação da finura por meio da peneira 75 µm (n.º 200). Rio de Janeiro, 1991.
- CAMELO, D. L.; SOUZA, P. S. L. ; SILVA, G. N. da ; MARTINS, M. L. Contribuição ao estudo de aproveitamento da cinza da casca da castanha-do-Pará, como material pozolânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Olinda. Anais... Olinda: IBRACON, 2005. v. 1, p. 541-551.
- CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** 2006. 445 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- FERREIRA, A. A., SILVEIRA, A. A., DAL MOLIN, D. C. C. A cinza da casca de arroz: possibilidades de utilização como insumo na produção de materiais de construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. Anais... Canela, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. P. 293-298.
- HERNÁNDEZ, J. F. M. et al. Use of wastes of the sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of the reaction. Cement and Concrete Research, Oxford, v. 28, p.1525-1536, 1998.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.
- SINGH, N. B., SINGH, V. D., RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended Portland cement. Cement and Concrete Research, Oxford, v. 30, p. 1485-1488, 2000.

SOUZA, G. N. et al. Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. p. 1-11.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná e a Prefeitura do Campus da Universidade Estadual de Maringá.