



ESTUDO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE CONCRETOS CONFECCIONADOS COM A CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE- AÇÚCAR

**Sofia A. Lima (1); Almir Sales (2); Juliana P. Moretti (3); Fernando do Couto R.
Almeida (4); Wilson N. dos Santos (5).**

(1) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
sofiaalima@yahoo.com.br

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
almir@ufscar.br

(3) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
juliana_pmoretti@yahoo.com.br

(4) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
fernandocralmeida@gmail.com

(5) Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
dwns@power.ufscar.br

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial no complexo sucroalcooleiro, exercendo a liderança em todos os segmentos (energia, açúcar e álcool). No processo de produção gera-se como resíduo o bagaço, utilizado para a co-geração de energia por meio da queima em caldeiras, restando ao final, as cinzas residuais do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Muitas dessas cinzas não possuem reatividade hidráulica ou pozolânica, mas ainda assim podem ser utilizadas na construção civil como materiais inertes. Este trabalho pretendeu analisar a condutividade térmica de concretos confeccionados com a CBC. A coleta das cinzas foi realizada em usinas da região de São Carlos, SP, e, posteriormente, as amostras foram submetidas à caracterização física e química. Os concretos foram dosados para que tivessem a consistência plástica e o mesmo teor de argamassa. Foram confeccionados traços com 0%, 30% e 50% de CBC em substituição ao agregado miúdo em três grupos diferentes, cada um com um tipo de cimento Portland (CP II, CP III e CP V). Análises de resistência à compressão e massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão foram realizados aos 28 dias. Após essa fase de ensaios, os três melhores traços confeccionados com a CBC foram submetidos ao ensaio de condutividade térmica pelo método do fio quente paralelo, aos 56 dias. Os resultados permitiram concluir que os menores valores de condutividade térmica foram obtidos no concreto produzido com o cimento de alta resistência inicial e substituição de 50% de areia por CBC.

Palavras-chave: Concretos; Resíduos agroindustriais; Cinza do bagaço da cana-de-açúcar; Condutividade térmica.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A cana-de-açúcar: a potencialidade do aproveitamento dos resíduos

O cultivo da cana-de-açúcar e a produção de seus derivados está intimamente ligado à própria história e ao desenvolvimento do Brasil (CESNIK, 2008). Primeiramente transformada em açúcar, a cana-de-açúcar ocupa um importante papel na economia, surgindo o Brasil como líder mundial na produção de açúcar e álcool. Porém, mesmo após séculos de convívio com a agroindústria canavieira, somente no século XX, o Brasil descobriu no álcool uma opção energética viável (PRÓ-ÁLCOOL, 2009).

Mais de 30 anos depois do início do Pro-Álcool, o Brasil passa por uma nova expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. A produção de cana-de-açúcar, que vinha de altos e baixos na década de 1990, não parou de crescer desde o ano 2000. Na Tabela 1 pode ser observada a magnitude da produção de cana-de-açúcar das últimas cinco safras.

Tabela 1 - Produção de cana-de-açúcar por ano/safra – 2004/2009 (unid.: toneladas)

	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010*
Região Centro-Sul	334.136.643	373.912.899	431.233.516	508.638.751	537.558.089
Região Norte-Nordeste	48.345.359	54.405.520	64.609.676	64.099.738	56.412.228
Brasil	382.482.002	428.318.419	495.843.192	572.738.489	593.970.317

* Posição em 01/03/2010

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA.

Dentro do contexto da cogeração, e em face da crise do setor energético brasileiro, que teve início em 2001, o setor sucroalcooleiro tem apresentado um grande potencial de geração de energia, apresentando atrativos econômicos e ambientais, principalmente devido à queima de bagaço de cana-de-açúcar na produção como combustível (PRADO, 2007).

A cogeração com bagaço de cana-de-açúcar produz substancial liberação de carbono na forma de CO₂. Entretanto, o balanço nas emissões de CO₂ é praticamente nulo, pois através da fotossíntese, a biomassa queimada é reposta no ciclo seguinte da cultura da cana (CORDEIRO, 2006).

De todos os resíduos da unidade industrial sucroalcooleira, o bagaço é um dos mais atrativos, apesar de não ser o de maior volume, por causa de seu poder calorífico, o que faz dele o principal combustível de todo o processo produtivo da fabricação do açúcar e do álcool (CORDEIRO, 2006; SOUZA et al., 2007).

Para cada tonelada de bagaço que alimenta o processo de cogeração, são gerados, aproximadamente, 25 kg de cinza residual (FIESP, 2001). Atualmente, a destinação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um dos problemas enfrentados pelos administradores das usinas. A fuligem gerada no processo é recolhida a partir de técnicas de lavagem e decantação e, juntamente com a cinza de caldeira, constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de redução do mesmo (JENDIROBA, 2006; SOUZA et al., 2007).

As características da cinza são influenciadas pelas condições de queima do bagaço. Segundo Paula (2006), a incineração do bagaço de cana-de-açúcar em condições não controladas gera cinza que pode conter altos teores de carbono e matéria orgânica. Além disso, a quantidade de carbono tem grande influência na absorção de água, pois o material carbonoso é extremamente fino, ocasionando um aumento na demanda de água (MACEDO et al., 2009).

A cinza do bagaço apresenta, em termos de óxidos, uma grande quantidade de dióxido de silício, normalmente acima de 60% (em massa). Outra possível fonte de sílica para a cinza é a areia (quartzo), oriunda da lavoura, que não é totalmente removida durante a etapa de lavagem no processamento da cana-de-açúcar. Esta areia permanece no bagaço e pode ser observada nas operações de limpeza dos salões das caldeiras, onde ocorre a combustão (CORDEIRO et al., 2008).

Somente na safra 2009/2010, a produção de CBC ultrapassaria as 10.000 toneladas diárias. Caso todo o bagaço de cana-de-açúcar fosse transformado em cinza com o objetivo de geração de energia.

Atualmente, a maior parte desse volume de cinza é disposto na natureza sem um manejo eficiente, e como se trata de um material de difícil degradação, pode permanecer em depósitos ao ar livre por longos períodos.

A descoberta de um novo uso para a CBC, no contexto da construção civil, vai ao encontro da necessidade de se buscarem novas destinações adequadas para o resíduo do bagaço, uma vez que a produção de cana-de-açúcar, no centro-sul do Brasil, está atingindo recordes de colheita nos últimos anos, e pode ultrapassar as 600.000.000 toneladas antes do final de 2010.

Em princípio, qualquer cinza, de origem industrial ou vegetal, predominantemente siliciosa, que possa ser produzida no estado amorfo e com finura adequada, pode ser utilizada como adição mineral. Um problema na utilização das cinzas como adição mineral pozolânica é a pouca reatividade da maior parte delas, o que permite a utilização apenas como material não-reactivo.

As pesquisas nessa área também recaem no problema da quantidade de energia aplicada ao resíduo para torná-lo reativo ou pozolânico, o que pode tornar o material inviável economicamente. A homogeneidade na produção das cinzas não pode ser exigida do processo industrial, que raramente possui controle operacional da temperatura de combustão dos resíduos e do tipo de resfriamento das cinzas. Realizados dessa forma, sem controle, esses procedimentos tendem a produzir cinzas sem reatividade hidráulica. Cinzas que não possuem reatividade podem ser usadas como material de carga e/ou inerte, em substituição aos agregados em matrizes cimentícias.

1.2 A substituição de areia natural por cinzas

A crescente elevação do custo da areia natural abre espaço para a entrada de outros materiais, como os resíduos, sendo esses de custo bem inferior. A CBC tem se mostrado um subproduto viável para aplicação em materiais de construção, desde que sejam observadas suas características intrínsecas, como alto teor de sílica em forma de quartzo, um dos principais elementos presentes na areia natural (CORDEIRO et al., 2008).

Segundo John *et al.* (2003) a construção civil é, por sua própria natureza, o segmento que apresenta maior capacidade de absorver novas tecnologias e novos materiais, produzidos e desenvolvidos a partir da utilização de resíduos. O aproveitamento de resíduos (industriais e agroindustriais) como material de construção é opção de proteção ambiental bastante relevante. Essa contribuição pode ser importante mesmo quando se trata da substituição de recursos naturais abundantes, no caso dos agregados naturais.

Como se observa, cerca de 80% do concreto é constituído de agregados, decorrendo daí a importância do uso de agregados com especificações técnicas adequadas e custo competitivo, que permita a obtenção de um concreto a preço compatível com o uso a que se destina, com característica técnica de resistência e durabilidade, capaz de concorrer com os outros materiais de natureza estrutural utilizados na construção civil.

A presente pesquisa objetivou estudar a condutividade térmica de concretos produzidos com a CBC em substituição ao agregado miúdo, com fins de produzir artefatos para infra-estrutura urbana. O ensaio de condutividade térmica permite avaliar a condução térmica no concreto, tendo em vista que esse ficará, provavelmente, exposto ao sol, e em muitos casos, em contato com o usuário e ambiente. Essa análise será importante porque permite avaliar o concreto em situações mais próximas da realidade a qual ele será submetido, neste caso simulando as condições reais nas quais o concreto será aplicado na infra-estrutura das cidades

A condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico, conhecidas como propriedades térmicas ou termofísicas são as três propriedades físicas mais importantes do ponto de vista de cálculos térmicos. Estas propriedades estão diretamente relacionadas ao potencial de isolamento térmica de um material. Existem vários métodos para a determinação do coeficiente de condutividade térmica, sendo que os mais conhecidos são: método da sonda λ , método das placas quentes, método do fio quente cruzado e método do fio quente paralelo.

O método do fio quente é um método absoluto, direto e não estacionário. Sua primeira aplicação prática foi reportada em 1949, na determinação da condutividade térmica de líquidos. Todavia foi em

1960 que se utilizou pela primeira vez essa técnica na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos. No Brasil essa técnica foi introduzida por Santos e Cintra Filho (1986) na determinação das propriedades térmicas de cerâmicas refratárias (SANTOS, 2005).

Na presente pesquisa foi utilizado o método do fio quente paralelo, aplicado em corpos de prova prismáticos de concreto produzidos com as cinzas do bagaço de cana com dois teores de cinza (30% e 50% em substituição a areia) e, também em corpos de prova de concreto convencional (sem adições) que serão utilizados como referência.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a condutividade térmica em concretos produzido com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial do agregado miúdo.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Na composição dos concretos, foram usados os seguintes materiais: cimento, areia (agregado miúdo), brita basáltica (agregado graúdo), cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e água. Foram usados três tipos de cimento e, para cada um destes, foi determinada uma resistência de dosagem característica: CP V ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos), CP III 40 RS (cimento Portland de alto forno resistente a sulfatos) e CP II E 32 (cimento Portland composto de alto forno). A caracterização física e química dos cimentos utilizados encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição física e química dos cimentos.

Componentes (%)	CP V ARI RS	CP II E 32	CP III 40 RS
SiO ₂	19,65	21,41	26,06
Al ₂ O ₃	4,99	5,88	8,46
Fe ₂ O ₃	3,17	3,68	1,94
CaO	64,03	58,44	53,81
MgO	2,01	2,04	3,20
K ₂ O	0,69	0,73	0,50
CO ₂	1,24	4,95	1,25
SO ₃	2,33	1,26	2,42
Perda ao fogo - 1000°C	2,30	5,92	2,37
Resíduo insolúvel	0,50	1,72	0,38
Propriedades			
Início de pega (min)	167	184	191
Finura			
Material retido na # 200 (%)	0,30	1,60	0,60
Blaine (cm ² /g)	4600	4000	4550
Resistência à compressão (MPa)			
7 dias	43,80	31,00	38,00
28 dias	52,00	40,00	48,00

Fonte: Holcim

A caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar utilizada apresentou como resultados: massa específica, no valor de 2,65 kg/dm³; massa unitária, no valor de 1,39 kg/dm³; dimensão máxima característica no valor de 0,60 mm e módulo de finura no valor de 1,23. Os valores da análise química da CBC estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar utilizada.

Elementos (%)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	K ₂ O+ Na ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	MgO	SO ₃	Perda ao fogo
CBC	96,2	1,9	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	1,04

A caracterização do agregado miúdo apresentou os seguintes resultados: massa específica de 2,45 kg/dm³; e massa unitária no estado seco e solto de 2,04 kg/dm³. O agregado graúdo apresentou os seguintes resultados: massa específica de 2,63 kg/dm³; massa unitária no estado seco e solto de 0,98 kg/dm³; e massa unitária compactada de 1,58 kg/dm³. Todos os ensaios de caracterização foram realizados segundo a normalização brasileira.

3.2 Concretos: dosagem e ensaios preliminares

Para as análises com os concretos, foram determinados três traços: 0%, 30% e 50% de CBC em substituição ao agregado miúdo. Esses teores de substituição foram determinados em uma etapa prévia de análises com argamassas (LIMA *et al.*, 2009). As dosagens foram calculadas segundo o método da ABCP e foram obtidas em laboratório para cada tipo de concreto. Determinou-se uma resistência de dosagem para cada grupo/tipo de cimento. Os dados das dosagens obtidas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dosagens finais dos concretos obtidos em laboratório

Tipo de cimento	Resistência aos 28 dias - f _{c28} (MPa)	Série	Teor de CBC	Composição do traço de concreto (em massa)				
				Cimento	Areia	Brita	CBC	Fator a/c
CPV ARI RS	51,6	AR	0%	1,00	1,830	2,690	-	0,52
		A30	30%	1,00	1,281	2,690	0,549	0,53
		A50	50%	1,00	0,915	2,690	0,915	0,54
CPIII 40 RS	38,6	BR	0%	1,00	2,120	2,860	-	0,53
		B30	30%	1,00	1,484	2,860	0,636	0,54
		B50	50%	1,00	1,060	2,860	1,060	0,55
CPII E 32	31,6	CR	0%	1,00	2,010	2,860	-	0,52
		C30	30%	1,00	1,407	2,860	0,603	0,53
		C50	50%	1,00	1,005	2,860	1,005	0,54

Com os dados do f_{c28}, utilizou-se a Curva de Abrams para determinar a relação água/cimento inicial de cada traço referência (denominados AR, BR e CR). Após os cálculos iniciais de dosagem, o parâmetro determinante para a adaptação e a uniformização dos traços iniciais em laboratório foi a consistência, mantida constante para todos os traços (abatimento = 70 ± 10 mm).

As principais mudanças realizadas no traço inicial, na tentativa de se uniformizar a trabalhabilidade, foram feitas no teor de argamassa e no consumo de cimento. Após os ajustes em cada traço de referência (AR, BR e CR), os traços com a adição de CBC foram calculados e também testados em laboratório. O consumo de cimento ficou em 425 kg/m³ de cimento para todos os traços. O teor de argamassa também foi mantido constante, no valor de 51,30%. Dessa forma, mesmo com as diferenças no tipo de cimento e na classe de resistência, foi possível uma comparação posterior sobre o desempenho mecânico de cada tipo de concreto.

Os ensaios desenvolvidos com os concretos, aos 28 dias, foram: resistência à compressão, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 1994); massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão, segundo a NBR 9778 (ABNT, 1987).

3.3 Análise da condutividade térmica

Após os resultados dos ensaios mecânicos com os concretos, foram escolhidos para o ensaio de condutividade térmica, entre os seis traços iniciais confeccionados com a CBC, três traços que obtiveram os melhores resultados: A50, C30 e C50. Foram moldados três corpos-de-prova prismáticos (120 mm x 230 mm x 120 mm). O método definido para a medição da condutividade térmica foi o do Fio Quente em Paralelo, sendo que os fios colocados no interior da amostra de concreto são o Fio Quente (Resistência Khantal) e o Termopar (tipo K Cromel Alumel), como mostrados na Figura 1.

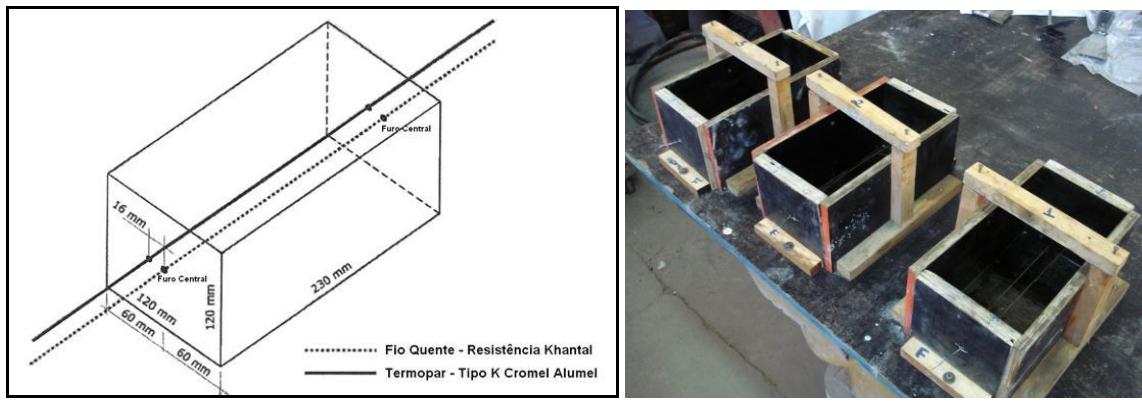


Figura 1 – (esq.) Esquematização dos moldes: técnica do fio quente paralelo (Fonte: Sacht, 2008); (dir) moldes prontos para a etapa de moldagem, em laboratório.

Os moldes foram preparados com desmoldante e o lançamento e adensamento do concreto foi realizado de modo a não deslocar os fios. Depois do adensamento, os corpos de prova foram cobertos com plástico para impedir a perda de água excessiva. Após 24 horas de cura inicial ao ar, os corpos-de-prova foram desmoldados e acondicionados em câmara úmida (95% U.R. e $25 \pm 2^\circ\text{C}$), por 28 dias. Após esse período, os corpos de prova foram mantidos em câmara seca (60% U.R. e $25 \pm 2^\circ\text{C}$) até a idade de 56 dias, quando foram deixados em estufa (50% U.R. e $100 \pm 5^\circ\text{C}$) por 3 dias, até a data da realização do ensaio. Essa temperatura foi aplicada para que os corpos-de-prova secassem completamente, até a consistência de massa, de forma que a umidade não atrapalhasse a medição da condutividade. A Figura 2 ilustra o ensaio realizado.

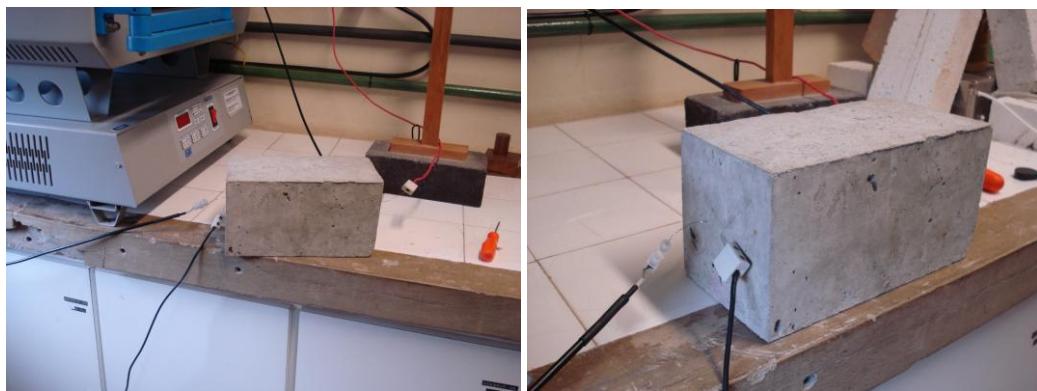


Figura 2 – Ensaio dos corpos-de-prova de condutividade pelo método do fio quente paralelo.

O software desenvolvido especialmente para a determinação das propriedades térmicas pelo método do fio quente paralelo solicita os seguintes dados preliminares para a execução do ensaio: nome da amostra, nome do interessado, tipo de material (isolante ou não), tempo de ensaio (min), temperatura ambiente e da amostra ($^\circ\text{C}$), tipo de termopar, resistência do fio (Ω), densidade da amostra (kg/m^3) e distância fio-termopar (m). O material foi considerado, inicialmente, como pouco isolante ($0,25 \sim 1,25 \text{ W/mK}$), o tempo de ensaio em cada amostra foi de 12 minutos e a distância fio-termopar foi de 0,0160 m, para todas as amostras.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Análise mecânica dos concretos

Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos concretos, aos 28 dias, são apresentados na Tabela 5. O coeficiente de variação manteve-se abaixo de 6% para todas as séries, como recomenda a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Tabela 5 – Valores de resistência à compressão dos concretos, aos 28 dias

Série	Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
AR	44,77	0,34	0,76
A30	42,67	2,14	5,03
A50	43,05	0,85	1,97
BR	25,61	0,56	2,17
B30	23,47	0,59	2,51
B50	22,47	0,92	4,11
CR	23,78	0,87	3,64
C30	27,98	0,74	2,66
C50	28,72	0,66	2,31

Nas séries A e B, os valores de referência foram maiores que os valores de resistência dos concretos com CBC, aos 28 dias. Para a série A, a diferença ficou em 3,8% entre o traço AR e A50 e para a série B, a diferença foi maior, e ficou em 12,22% entre o traço BR e B50. Os exemplares do traço C50 apresentaram valor médio 17,20% maior que as amostras de referência. Na série C, todos os concretos confeccionados com CBC obtiveram valores de resistência à compressão superiores aos do concreto referência - CR (Tabela 5).

A série C, confeccionada com cimento CP II E 32, obteve os melhores resultados individuais de resistência à compressão aos 28 dias. O ensaio de índice de vazios e absorção dos concretos foi realizado, segundo as recomendações da norma NBR 9778 (ABNT, 1987), nos concretos com idade de 28 dias. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores dos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica no estado endurecido

Traços	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (kg/m ³)
AR	5,09	12,10	2378,48
A30	5,06	12,06	2382,50
A50	5,29	12,55	2374,47
BR	6,85	15,93	2327,07
B30	5,33	12,51	2349,29
B50	5,96	13,87	2328,95
CR	5,14	12,16	2365,55
C30	5,01	11,92	2379,85
C50	5,58	13,16	2356,43

Os concretos da série B, confeccionados com o CP III 40 RS, obtiveram os resultados menos expressivos e não conseguiram ultrapassar o valor de 30 MPa, que é apenas 75% da resistência para qual esse concreto foi calculado. Em função disto, no prosseguimento da experimentação para a determinação da condutividade térmica, os concretos da série B não foram considerados.

O traço C30 apresentou o menor teor de vazios e também o menor valor de absorção entre todos os traços. Os traços da série B apresentaram os maiores índices de vazios em relação aos menores valores

de resistência à compressão (Tabela 5). Os valores de massa específica no estado endurecido ficaram, com pequenas variações, em torno de 2400 kg/m³, que é o valor usual para concretos convencionais.

4.2 Condutovidade térmica dos concretos

Os valores da condutividade térmica, aos 60 dias, dos concretos estudados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de condutividade térmica dos concretos aos 60 dias

Série	Média (W/mK)	Desvio Padrão
AR	1,60	0,076
A50	1,43	0,099
CR	1,52	0,124
C30	1,59	0,022
C50	1,72	0,036

A amostra A50 obteve o menor valor de condutividade térmica entre os concretos analisados. Todos os concretos obtiveram valores inferiores aos estipulados pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005) para concretos convencionais com massa específica entre 2200 e 2400 kg/dm³, segundo a Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de condutividade térmica dos concretos de acordo com norma NBR 15220 (ABNT, 2005)

Massa Específica (kg/dm ³)	Condutividade Térmica (W/mK)	Observações
2200 - 2400	1,75	-
1600 - 1800	1,05	Dosagem de cimento
1400 - 1600	0,85	> 300 kg/m ³ ; e
1200 - 1400	0,70	densidade de massa
1000 - 1200	0,46	aparente dos inertes > 350 kg/m ³

Pode-se concluir que a substituição de areia por CBC nos concretos analisados não interferiu de forma significativa na magnitude da condutividade térmica desses concretos. Acrescenta-se, ainda, que todos os valores encontrados ficaram abaixo daqueles apresentados pela normalização brasileira. Esses concretos podem ser utilizados para a confecção de blocos com ou sem função estrutural, painéis monolíticos moldados *in loco* ou outros materiais de vedação para habitações de interesse popular.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220** - Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5739** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7215** - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

CESNIK, R. **Melhoramento da cana-de-açúcar**: marco sucro-alcooleiro no Brasil. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/344.pdf. 2008.

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, COPPE/UFRJ, 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. R. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement & Concrete Composites**, n. 30, p. 410-418, 2008.

FIESP/CIESP. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa**. São Paulo: FIESP/CIESP, 2001.

JENDIROBA, E. Aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. In: **Gestão de resíduos na agricultura e na agroindústria**. Botucatu : FEPAF, 2006.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. Cinzas e aglomerantes alternativos. In: **Tecnologias e materiais alternativos de construção** / W. J. Freire, A. L. Beraldo (coord.) – Campinas, SP : Ed. UNICAMP, 2003.

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**, Edição Especial ENTECA 2009, p. 87-97, 2009.

MACEDO, P. C.; CASTALDELLI, V. N.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; FIORITI, C. F.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J. P. Revisão bibliográfica sobre o uso de cinza de bagaço de cana-de-açúcar na construção civil. 51º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...** Curitiba : IBRACON, 2009.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção Brasileira de Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 18 mar. 2010.

PRADO, T. G. F. **Externalidades do ciclo produtivo da cana-de-açúcar com ênfase na produção de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado POLI/FEA/IEE/IF, USP, 2007.

PRÓ-ÁLCOOL. **Programa Brasileiro do Álcool**. Disponível em: <<http://www.biodeselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em 5 fev. 2009.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. Dissertação (Mestrado). Departamento Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Paulo, 2008.

SANTOS, W.N.; CINTRA FILHO, J. S. Método de fio quente com ajuste por regressão não linear na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos. **Cerâmica**, v. 32, n. 198, p.151-154, 1986.

SANTOS, W. N. Aplicação da técnica de fio quente na determinação das propriedades térmicas de polímeros fundidos. **Polímeros** [online]. 2005, vol.15, n.4, pp. 289-295.

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. 49º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...** São Paulo : IBRACON, 2007.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP e ao MCT/CNPq, pelo suporte financeiro.