



## AGREGADO SUSTENTÁVEL PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Valéria Giovana Lotti

Graduanda em Engenharia Civil - Universidade de Araraquara – UNIARA  
Departamento de Ciências da Administração e Tecnologia, Araraquara – São Paulo  
valeria\_lotti@hotmail.com

Gerson de Marco

Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho  
gersondm@yahoo.com.br

**Resumo:** A premência de empregar atividades sustentáveis na área da construção civil ganha âmbito cada vez maior, tanto pela prerrogativa que essa prática traz a vida humana, ao meio ambiente e o benefício que se pode gerar economicamente a um proprietário de uma construção. Fazendo a análise de meios poluentes foi detectado que no meio rural atividades industriais como a produção de álcool e açúcar geram grandes quantidades de resíduos, que em alguns casos, ainda não apresentam uma destinação final adequada, destacando-se a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) que pode agregar-se a produção de argamassa e cimento com resistência e durabilidade semelhantes aos agregados tradicionais. Este trabalho visa verificar a potencialidade do uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar no composto mais utilizado na construção civil, o resultado foi obtido com base na pesquisa de Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA, 2009. Com apoio financeiro da FAPESP. As cinzas utilizadas foram coletadas em quatro usinas da região de São Carlos, em um raio de 150 km. Foram realizados ensaios de caracterização química, granulometria, massa unitária, massa específica e análise de contaminantes. Deste modo, foram moldados corpos-de-prova de argamassa com a CBC em substituição a areia natural e verificada a resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias. Os resultados indicaram que as amostras de CBC possuem propriedades físicas semelhantes às da areia natural.

**Palavra-chave:** Sustentáveis. Cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Argamassas.

## AGGREGATED SUSTAINABLE FOR CIVIL CONSTRUCTION.

**Abstract:** *The urgency of employing sustainable activities in the area of civil construction gains an ever greater scope, both for the prerogative that this practice brings human life, the environment and the benefit that can be generated economically to an owner of a construction. In the analysis of pollutants, it was detected that in the rural environment industrial activities such as the production of alcohol and sugar generate large amounts of waste, which in some cases, do not yet present an adequate final destination of these agroindustrial residues, especially bagasse ash (CBC) that can be added to the production of mortar and cement with resistance and durability similar to traditional aggregates. This work aims to verify the potentiality of the use of sugarcane bagasse ash in the most used compound in the construction (Lima, Sales, Moretti, Santos, Special Edition, ENTECA 2009). The ashes used in this work were collected at four plants in the region of São Carlos, within a radius of 150 km. Chemical characterization, granulometry, unit mass, specific mass and contaminant analysis were performed. In this way, mortar specimens were molded with CBC instead of natural sand and the compressive strength was verified at 7, 14 and 28 days. The results indicated that CBC samples have physical properties similar to those of natural sand.*

**Keyword:** *Sustainable. Ash from sugarcane bagasse. Mortars.*

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e a necessidade crescente de moradias, se tornam maiores os problemas urbanos com o destino de lixo produzido por residências, indústrias, metalúrgicas e o meio rural com o intuito de amenizar a degradação e produção de resíduos da construção civil, verificando que, no século XVIII, no ano de 1758, já se substituía agregados do concreto por cinzas de lava de vulcão em construções romanas, para maior solidificação e contra ações erosivas da água do mar. Empregando o uso de uma cinza vulcânica oriunda da Itália, conhecida como pozolana, o engenheiro britânico John Smeaton fabricou um cimento de excelente qualidade que veio a ser utilizado na construção do Farol de Eddystone, que resistiu por mais de um século. Os resíduos agrícolas, tais como cinza da casca de arroz, cinzas da palha de trigo e cinzas de bagaço da cana-de-açúcar, tem demonstrado grande potencial como o material pozolânico (GANESAN et. al. 2007). Com a crescente inovação tecnológica vemos que é possível integrar sustentabilidade às construções, fazendo o uso de um dos maiores recursos produzido no país, a cana-de-açúcar. Utilizando suas cinzas conseguimos agregar economia e sustentabilidade ao maior composto utilizado na construção civil, o concreto. O concreto é o segundo material mais usado no planeta, perdendo apenas para a água (MEHTA & MONTEIRO, et. al. 1994).

O Brasil, como o maior produtor de cana-de-açúcar, em seu processo de produção gera resíduos, como o bagaço, que por sua vez é utilizado para geração de energia, queimado em caldeiras, onde sobram somente as cinzas (CBC), muitas vezes descartadas de forma imprópria. Portanto são desenvolvidas técnicas para utilização dessas cinzas

com a finalidade de substituir parte da areia utilizada na produção de concreto e argamassa.

Anualmente são produzidas cerca de 3,8 milhões de toneladas de cinzas de cana-de-açúcar pela indústria sucroalcooleira nacional com descarte incerto, se parte desse material for utilizado na construção civil, criamos uma diminuição da extração de recursos naturais, remanejando o resíduo industrial, fazendo com que se torne útil e diminuindo seu impacto ambiental.

Para cada tonelada de bagaço que alimenta o processo de cogeração são produzidos aproximadamente 25 kg de cinza residual. Atualmente, a destinação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar é um dos problemas enfrentados pelos administradores das usinas. A fuligem gerada no processo é recolhida com 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 deles (GANESAN; RAJAGOPAL; THANGAVEL, 2007; SOUZA *et al.*, 2007). Essas cinzas são utilizadas como adubo nas lavouras mas, segundo pesquisas recentes, o CBC não apresenta nutrientes minerais adequados para essa finalidade.

Por outro lado, a profundidade de carbonatação de concretos com adição de escória de alto forno e cinza volante de CBC pode ser até duas vezes maior do que a profundidade de carbonatação obtida em concretos sem adições. Esse fato pode estar relacionado à redução da alcalinidade advinda da redução da quantidade de cimento na mistura (XUEQUAN *et al.*, 1999).

As cinzas que não possuem reatividade podem ser usadas como material de carga inerte, em substituição aos agregados finos em matrizes cimentícias. 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 aos correlatos naturais (SALES; LIMA, 2010).

“Uma das condições para viabilizar o novo produto no mercado é que seu preço de venda seja competitivo com a solução técnica já estabelecida ou que haja um nicho de mercado onde o produto apresente significativa vantagem competitiva” (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, p.09, 2001).

Mesmo em estado estrutural cristalino e com pouca reatividade hidráulica, a CBC tem se mostrado um subproduto viável para aplicação em materiais de construção, ainda 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).

Incorporado neste cenário, o artigo preconiza apresentar os resultados dos ensaios mecânicos obtidos com argamassas confeccionadas com a substituição de areia natural por cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, coletadas no estado de São Paulo e realizadas por Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA, 2009.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Este estudo reuniu amostras de cinzas em quatro usinas do estado de São Paulo, Brasil, e examinou as características físicas, químicas e a aplicação preliminar em

argamassas como substituta da areia. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) foi coletada em cidades próximas ao município de São Carlos, num raio de 150 km. Sabe-se que a região que forma o perímetro de Ribeirão Preto - Piracicaba - Barra Bonita abrange a maior parte da produção de cana-de-açúcar do estado.

As usinas do Grupo COSAN foram escolhidas para a coleta da CBC por ser o maior grupo individual do mundo no que se refere à produção de derivados da cana-de-açúcar. As unidades da COSAN, onde foram coletadas as amostras de CBC, foram: Usina Diamante, na cidade de Jaú (CBC-J); Usina Tamoio, na cidade de Araraquara (CBC-A); Usina da Serra, na cidade de Ibaté (CBC-I) e Usina da Barra, na cidade de Barra Bonita (CBC-B).

As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar foram coletadas diretamente das caldeiras das usinas de Diamante, Da Serra e Tamoio, durante a etapa de limpeza das caldeiras, que ocorre diariamente. A CBC foi retirada das caldeiras a altas temperaturas e foi necessário algum tempo para que ela esfriasse ao ar livre, lentamente. Na Usina da Barra o método de disposição final das cinzas é diferente das demais usinas. A cinza pesada, de fundo de grelha, é colhida automaticamente por uma esteira e se junta à cinza leve, proveniente da lavagem dos gases das chaminés. Os dois tipos de cinzas se juntam em um único duto, são recolhidas por caminhões e levadas para a lavoura (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 89, 2009). A Figura 1 mostra a coleta de CBC nas usinas.



**Figura 1.** (a) Retirada da cinza da caldeira (esquerda) e secagem da cinza ao ar livre (direita) na Usina Diamante; (b) e (c) CBC coletada diretamente dos dutos, na Usina de Barra Bonita. Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 89, 2009).



**Figura 02** – Processo simplificado de obtenção das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. Fonte: (Mansaneira, p.44, 2010).

Observou-se grande quantidade de areia, proveniente das lavouras, misturada às cinzas.

Essa areia não é totalmente removida durante a etapa de lavagem dos colmos de cana, no início do processo industrial. Esse fato também foi observado por Cordeiro (2006).

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

Durante o processo de calcinação é importante determinar o tempo de calcinação ou tempo de patamar, que seria encontrar a melhor temperatura no menor tempo possível, para se alcançar as propriedades que se pretende avaliar obtendo assim os melhores resultados. A taxa de aquecimento, o tempo de resfriamento, a granulometria da cinza, são algumas das variáveis que podem alterar os seus resultados. Após a coleta, as amostras foram analisadas quanto a composição química, granulometria (NM 248), massa unitária (NM 45), massa específica (NM 23) e difratometria de raios-x. Além disso, foram analisados os contaminantes por meio do ensaio de lixiviação, solubilização (NBR 10004, 10005 e 10006) e análise da morfologia das partículas pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Todas as amostras utilizadas na fase de caracterização passaram por secagem em estufa a 100°C, por 12h, e por moagem durante 3 minutos, na rotação de 65 RPM, em moinho tipo almofariz-pistilo (Fabricante: Marconi), apenas para homogeneização.

O método utilizado para análise química foi a de semi-quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios-x com o equipamento Espectrômetro Philips PW 2400. As composições granulométricas dos agregados naturais foram determinadas segundo a NM 248 (MERCOSUR, 2003). Para esse ensaio, além da secagem e moagem, as amostras de cinza foram peneiradas por 10 minutos no peneirador automático de agregados miúdos com a seguinte série de peneiras de malha quadrada: 6,3 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm e 0,15 mm. As porções retidas nas peneiras foram pesadas e, a seguir, calculadas as porcentagens retidas, acumuladas, o módulo de finura e a dimensão máxima característica de cada amostra.

O ensaio de massa unitária da CBC foi executado em acordo com a NM 45 (MERCOSUR, 2004). A única alteração deu-se em relação ao recipiente, que nesta pesquisa foi alterado para três litros, diferentemente do que a norma exige. Essa mudança foi necessária devido a característica da CBC, já que não se trata de um agregado, e sim, de um material pulverulento. O ensaio de massa específica da CBC foi realizado seguindo as recomendações da norma NM 23 (MERCOSUR, 2000), utilizando como líquido o querosene e 50g de material seco *in natura*. Nas análises de lixiviação e solubilização das amostras de CBC foram determinados possíveis contaminantes e/ou metais pesados contidos no material. Tais dados apresentam-se de grande relevância na avaliação da necessidade de encapsulamento do material pela técnica de estabilização/solidificação, bem como em relação aos cuidados específicos no pós-tratamento desse resíduo, uma vez que o mesmo é utilizado como adubo nas plantações de cana-de-açúcar. O ensaio foi executado seguindo as especificações das normas NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006

(ABNT, 2004), (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 90, 2009).

## 2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A influência da variação dos teores de substituição da areia pela CBC foi analisada segundo o ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa. Por esse ensaio, foi possível avaliar o teor ótimo de aplicação da CBC pelo qual as propriedades mecânicas das matrizes cimentícias possam ser mantidas. Foram utilizadas duas amostras, CBC e CBC-J, que foram selecionadas entre as quatro iniciais por apresentarem características mais próximas da areia natural comercializada na região de São Carlos. Para cada amostra, foram moldados 6 (seis) traços, com 3 exemplares cada, a serem rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias. Os dados da moldagem são mostrados na Tabela 1. (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 90, 2009).

Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo.

**Tabela 1. Dados – ensaio de resistência à compressão**

Grupos	Traços	% CBC (massa)	Fator a/c
R	BA	0	0,55
	C10	10	
A / J	C15	15	0,55
	C20	20	
	C30	30	
	C50	50	
	C100	100	

Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 95, 2009)

As argamassas foram produzidas em bateadeira industrial e foram moldadas em corpos de prova cilíndricos ( $\varnothing$  5cm x 10 cm altura). Os materiais utilizados foram o cimento Portland CP V ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos), areia quartzosa, amostras de CBC-A e CBC-J e água, no traço 1:3 em massa. O cimento CPV foi escolhido por ser isento de adições (pozolana, fíler calcário ou escória), o que possibilita maior precisão nos resultados sobre a viabilidade de aplicação da CBC em matrizes cimentícias. Os valores da composição física e química do cimento são apresentados na Tabela 2. (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 90, 2009).

Tabela 2. Propriedades físicas e químicas - CPV ARI RS

Propriedades	Unidade	Cimento	Elementos (%)	Cimento	
Finura	Retido # 200	%	0,30	MgO	2,01
	Sup. Esp. Blaine	cm <sup>2</sup> /g	4633	PF 1000°C	2,30
Resistência à compressão (f <sub>cj</sub> ) (NBR 7215)	1 dia	Mpa	21,30	Anidrido carbônico - CO <sub>2</sub>	1,24
	7 dias	Mpa	43,80	Resíduo Insolúvel	0,50
	28 dias	Mpa	52,00	Trióxido de enxofre - SO <sub>3</sub>	2,33

Fonte: Fabricante

Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 90, 2009).

Desta forma a areia natural quartzosa do rio Mogi-Guaçu, município de São Carlos, SP, foi utilizada como agregado miúdo. A caracterização do agregado apresentou os seguintes resultados: massa específica (NBR 9776) no valor de 2,45 kg/dm<sup>3</sup>; massa unitária no estado seco e solto (NM 45) no valor de 2,04 kg/dm<sup>3</sup>; e absorção de água (NM 30) no valor de 0,88%. A areia atendeu aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2005) e pode ser classificada como areia fina (zona 2). Os exemplares da cinza foram moídos por 3 minutos, na rotação de 65 RPM, em moinho tipo almofariz-pistilo da marca Marconi, apenas para homogeneização. Em alguns estudos realizados com matrizes cimentícias, nos quais houve a substituição do agregado miúdo por resíduos, o fator a/c foi mantido constante para todos os traços, inclusive para o de referência, e variou entre 0,45 e 0,60. Dessa forma, esta pesquisa escolheu o valor de 0,55, que foi usado em todas as misturas. Após a moldagem os corpos-de-prova permaneceram em seus moldes até a idade 24 horas, quando foram desmoldados, capeados e acondicionados em câmara úmida (temperatura = 23° ± 5° C / umidade = 90 ± 5%) até a idade de ruptura. (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 90, 2009).

### 2.3 RETRAÇÃO POR SECAGEM

A preponderância da retração por secagem de argamassas confeccionadas com a CBC em substituição da areia foi analisada com base nos procedimentos da NBR 12650, através desta norma é possível comparar a retração de uma argamassa de referência, produzida apenas com cimento e areia, com outra produzida com uma parte de material pozolânico (natural ou artificial) no lugar da areia. Como a CBC pode comportar-se como material pozolânico ao ser substituído pelo cimento Portland (CORDEIRO et al., 2008), a metodologia da NBR 12650 (ABNT, 1992) foi escolhida para balizar o ensaio de retração por secagem feito por esta pesquisa.

As argamassas foram desenvolvidas em batedeira industrial, com 3 velocidades, e foram moldadas em corpos-de-prova cilíndricos (Ø 5cm x 10 cm altura). Os materiais utilizados foram o cimento Portland CP V ARI FÁCIL, areia normal, amostras de CBC-A e CBC-J e água. Os dados da moldagem são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3. Dados – Ensaio de retração**

Traços	Materiais			
	Areia	Cimento	CCCC	a/agl
Controle	2,75	1,00	-	0,448
Ensaio A	2,50	1,00	0,25	0,476
Ensaio J	2,50	1,00	0,25	0,483

Os ensaios de corpos-de-prova prismáticos (40x40x160mm) foram moldados em duas camadas com 15 golpes cada. Após a moldagem, os corpos-de-prova foram mantidos em seus moldes e colocados em câmara úmida à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , por  $22 \pm 2\text{h}$ . Ao final desse período, foram desmoldados e imersos em água saturada com cal, onde permaneceram até a idade de 7 dias. (Cordeiro, et al., 2008).

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nos resultados da análise química da CBC (Tabela 4), notou-se um alto teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) em todas amostras, com valores acima de 75%. Essa magnitude de valor também foi observada por (Cordeiro, et al., 2008).

O silício é absorvido do solo pelas raízes na forma de ácido monossílico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) e, após a saída da água das plantas por transpiração, deposita-se na parede externa das células da epiderme como sílica gel. O acúmulo de silício entre a cutícula e a parede das células da epiderme funciona como uma barreira física à penetração de fungos patogênicos e reduz as perdas de água por transpiração. 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).

Notou-se que a amostra CBC-B se diferencia das demais, principalmente em relação ao teor de sílica e de perda ao fogo. Essa característica pode ser devido ao sistema de coleta que mistura a cinza pesada das caldeiras com a cinza leve das chaminés, bastante escura. De acordo com (Cordeiro, 2006), O resultado escuro das cinzas indica um alto teor de carbono, característica de combustão incompleta do bagaço.

Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo.

**Tabela 4. Resultado da análise química das amostras de CBC**

	CBC-J (%)	CBC-I (%)	CBC-B (%)	CBC-A (%)
SiO <sub>2</sub>	88,2	96,2	62,7	93,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,4	1,9	13,3	3,8
K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O	1,4	0,3	1,9	0,8
TiO <sub>2</sub>	1,0	0,2	3,1	0,5
CaO	0,6	0,1	0,9	0,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	0,1	0,7	0,2
MgO	0,4	<0,1	0,6	0,3
SO <sub>3</sub>	<0,1	0,1	0,2	<0,1
Perda do fogo	0,35	1,04	16,28	0,34

Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 94, 2009).

Pelos resultados das análises granulométricas das amostras de CBC, pode-se classificar a CBC como areia fina, com módulos de finura entre 0,6 e 1,2 (Tabela 4). Esses valores são compatíveis aos da areia comumente utilizada na cidade de São Carlos proveniente do Rio Moji.

O resultado das massas específicas e unitárias das amostras de CBC se aproximou muito dos valores referentes ao agregado miúdo, o que será importante na definição dos traços de argamassa e concretos na próxima fase de análises. As cinzas provenientes da queima de resíduo sólido municipal (RSMI), estudadas por Al-Rawas et al. (2005), apresentaram valor de massa específica de 2,73 g/cm<sup>3</sup>, bastante próximo das amostras CBC-J e CBC-A (Tabela 5), (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 93, 2009).

**Tabela 5. Propriedades físicas das amostras de CBC**

Propriedades	CBC-J	CBC-I	CBC-B	CBC-A
Módulo de Finura	1,23	1,46	0,52	1,46
Dimensão Máxima Característica	0,60	0,60	0,60	1,20
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,39	1,30	0,98	1,43
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,58	2,23	2,63

Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 94, 2009).

Os testes de solubilização e lixiviação, segundo as normas brasileiras NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006, realizados em amostras de CBC coletadas em usinas do Estado de São Paulo, Brasil, apontam para a presença de metais pesados acima do limite máximo permitido. Os resultados encontram-se na Tabela 6, (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 93, 2009).

Tabela 6. Elementos encontrados no extrato solubilizado das amostras de CBC e os limites permitidos pela NBR10004

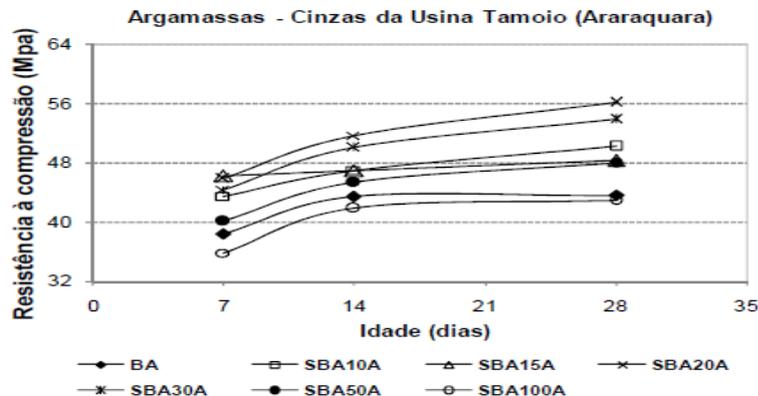
Elemento	Unidade	CBC-B	CBC-A	CBC-J	CBC-I	Limites NBR 10004 (mg/L)	LD
Alumínio	mg Al/L	<DL	<u>0,56</u>	<u>0,25</u>	0,12	0,200	0,010
Cádmio	mg Cd/L	<u>0,032</u>	<DL	<u>0,028</u>	<u>0,008</u>	0,005	0,0006
Chumbo	mg Pb/L	<u>0,22</u>	<u>0,02</u>	<u>0,26</u>	<u>0,05</u>	0,010	0,010
Fenóis Totais	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	<u>0,02</u>	<DL	<DL	<DL	0,010	0,001

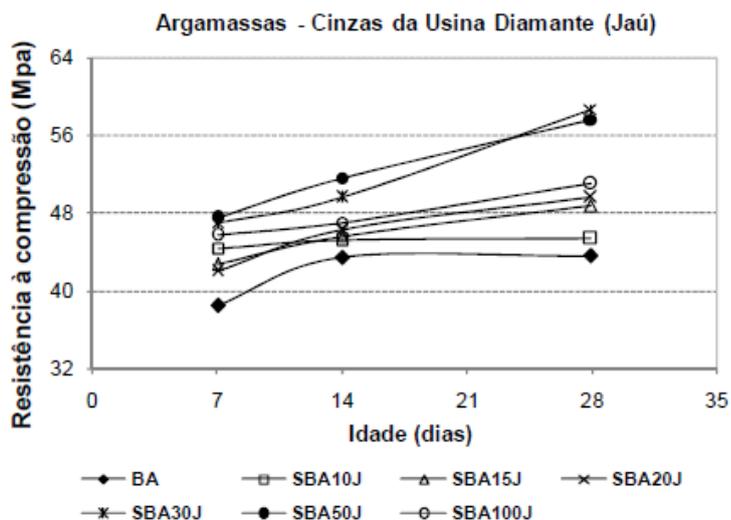
\* Valores sublinhados – acima do limite permitido; CBC-B: cinza coletada na Usina Da Barra; CBC-A: cinza coletada na Usina Tamoio; CBC-J: cinza coletada na Usina Diamante; CBC-I: cinza coletada na Usina Da Serra. LD – Limite de detecção.

Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 94, 2009).

Apesar dos valores, no ensaio de solubilização, encontrarem-se acima do permitido pela NBR 10006, os resultados do extrato lixiviado se mantiveram dentro do limite para o grupo dos componentes inorgânicos, segundo o Anexo F da NBR 10004. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004, todas as amostras de CBC analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa são apresentados na Figura 3. Quase todas as amostras confeccionadas com CBC obtiveram valores maiores que o exemplar de referência, com exceção do C100A, confeccionado com a cinza da Usina Tamoio. As amostras confeccionadas com 20% de CBC-A e com 30% de CBC-J alcançaram resultados 28% e 34% acima do exemplar de referência, respectivamente, na idade de 28 dias. A utilização do teor de 50% da cinza coletada em Jaú (CBC-J) também apresentou resultado satisfatório, com valor 32% acima do exemplar de referência, (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 95, 2009).





**Figura 3.** Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos-de-prova de argamassa. Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 95, 2009).

O fato das argamassas com CBC terem obtido valores acima dos valores de referência pode ser devido ao efeito físico de empacotamento das partículas (Cordeiro et al., 2008), uma vez que os valores de massa específica as amostras CBC-J e CBC-A são menores que as da areia. Todas as amostras de cinzas coletadas nas usinas paulistas apresentaram estado estrutural cristalino, observado pelos difratogramas de raio-x (Lima et al., 2009), também utilizaram a CBC como substituto para o agregado miúdo, obtendo como resultado preliminar que os corpos-de-prova com 100% de substituição da CBC no lugar do agregado miúdo natural alcançaram valores de resistência à compressão duas vezes maiores que os exemplares de referência.

A trabalhabilidade permaneceu constante para todas as amostras, com exceção das argamassas com 100% de substituição de areia por cinza (C100A e C100J). Essa perda de trabalhabilidade pode ter ocorrido devido a menor granulometria da CBC em relação a areia, o que requer mais água de amassamento para manter a mesma consistência no estado fresco. A amostra confeccionada com 100% de cinza da Usina Diamante também apresentou resultados maiores que o da amostra de referência, mas a utilização desse teor em concretos pode tornar-se restrito devido à pouca trabalhabilidade da mistura. Nesse caso, seria necessário o uso de um aditivo superplastificante.

Os valores obtidos pelas leituras aos 7 e 56 dias, são apresentados na Tabela 7. Nesta pesquisa, a leitura final foi feita aos 56 dias, pois a reação pozolânica ocorre lentamente e não pode ser completamente verificada aos 28 dias (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 95, 2009).

**Tabela 7. Resultados - Ensaio de retração por secagem**

	$M_{RS}$ (%)	$V_{RS}$ (%)
Controle	0,0121	-
Ensaio A	0,0134	0,0013
Ensaio J	0,0152	0,0030

$M_{RS}$  - retração média por secagem das barras (%)  
 $V_{RS}$  - variação da retração por secagem entre as barras da mistura "ensaio" e "controle" (%)

Fonte: (Lima; Sales; Moretti; Santos, Edição Especial ENTECA 2009, p. 95, 2009).

De acordo com a determinação da norma NBR 12653 (ABNT, 1992), a variação máxima de retração entre as amostras "Controle" e "Ensaio" tem que estar abaixo de 0,05%, aos 28 dias, para que o material possa ser considerado pozolânico (Cyr et al., 2006). Comprovou-se que os efeitos físicos e químicos da reação pozolânica podem ocorrer até a idade de 180 dias. Sendo assim, pode-se concluir que uso da CBC em substituição ao agregado miúdo não provocou o aumento da retração por secagem em amostras de argamassa, aos 56 dias.

#### 4 CONCLUSÃO

Conforme os resultados adquiridos através do programa empírico, foi possível atestar o potencial da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar as amostras CBC-J e CBC-A apresentaram propriedades físicas (massa específica, massa unitária e granulometria) semelhantes às da areia natural, as amostras confeccionadas com 20% de CBC-A e com 30% de CBC-J alcançaram resultados 28% e 34% acima do paradigma de referência, respectivamente, na idade de 28 dias, a utilização do teor de 50% da cinza coletada em Jaú (CBC-J) também apresentou resultado satisfatório, com valor 32% acima do exemplar de referência, o uso de CBC como agregado miúdo é viável em argamassas, a controlar que também seja analisada a durabilidade dos materiais para que se possam estabelecer melhores parâmetros de utilização.

Contudo, o resultado da cinza do bagaço de cana-de-açúcar pode ser classificado como um material alternativo para produção de argamassas e cimento, com a o intuito de melhorar suas propriedades e os impactos ambientais ocasionados pela extração de recursos naturais também pelo destino inadequado da CBC no ambiente.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. PCC** – São Paulo. 2001. 13 f. Artigo (Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica).

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 7211: **agregados para concretos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **cimento Portland: determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **argamassa e concreto endurecido: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **resíduos sólidos – classificação** . Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: **procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: **procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. São Paulo, 2003.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e volume de vazios. São Paulo, 2006.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. São Paulo, 2000.

FENNER FILHO, V.M. **Análise de custo benefício de tecnologias para a construção de uma casa sustentável**. Universidade Uniara de Araraquara. 2016.

FREIRE, Wesley Jorge; BERALDO, Antonio Ludovico. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. Universidade Estadual de Campinas. 2015.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. **Evaluation of Bagasse Ash as a Supplementary Cementitious Material**. *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 6, p. 515- 524, 2007.

LIMA, S.A. ; SALES, A. ; ALMEIDA, F. do C. R. ; MORTTI, 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, abr./jun. 2011.

Lima; Sales; Moretti; Santos, **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.

Mansaneira, Emerson Carlos. Disponível em:  
<<http://www.dominiopublico.gov.br/download/cp145728.pdf>> Acesso em: 10 SETEMBRO 2018.

SALES, A.; LIMA, S. A. **Use of Brazilian Sugarcane Bagasse Ash in Concrete as Sand Replacement**. *Waste Management*, v. 30, n. 6, p. 1114-1122, 2010.

SALES, A.; LIMA, S.A. Disponível em:  
<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2010/05/31/concreto-feito-de-cinzas/>> Acesso em: 07 MAIO 2018.

SILVA, B.I. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/historia/ciclo-da-cana-de-acucar/>> - Acesso em: 07 de maio de 2018.

XUEQUAN, W. et al. **Study on Steel Slag and Fly Ash Composite Portland Cement**. *Cement and Concrete Research*, v. 29, n. 7, p. 1103-1106, 1999.