Valorização da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar para a produção de misturas cimentícias

Valuing of Sugar Cane Bagasse Ash for the production of cement mixtures

La valoración de la ceniza de bagazo de caña para la producción de mezclas de cemento

Gabriel Antonio Castellani

Aluno de graduação em Engenharia Civil, UNESP - FEIS, Brasil
gabriel.acastellani10@gmail.com

Paulo Victor Campos Guimarães

Aluno de Graduação em Engenharia Civil, UNESP – FEIS, Brasil
pvcg.unesp.feis@gmail.com

João Victor Fazzan

Aluno de doutorado do PPGCM, UNESP – FEIS, Brasil
Professor Adjunto, IFSP – Câmpus Avançado Ilha Solteira/SP, Brasil
jvfazzan@hotmail.com

RESUMO

É notória a vigente expansão dos canaviais no cenário nacional, o que faz do país o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool etílico, que objetiva oferecer um combustível alternativo para o aumento da demanda de automóveis com motores bicompostíveis. Durante a produção de álcool combustível, é gerada uma grande quantidade de bagaço, que, hoje, tem grande importância energética. Por meio de sua queima, este material gera o resíduo classificado como a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), que, muitas vezes, é descartada de maneira imprópria no meio ambiente. Neste sentido, pelo fato da CBC ser constituída predominantemente de dióxido de silício (SiO_2) de caráter silicoso e silico-aluminoso, apresenta-se como potencial pozolana, ou seja, matéria-prima alternativa para a produção de argamassas e concretos, em substituição parcial ao cimento Portland. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo explorar a valorização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material pozolânico para concretos. Busca-se, em acréscimo, avaliar o processo de produção do material alternativo e sua caracterização. Por meio dos estudos de dosagem das misturas, pretende-se otimizar o teor de substituição de CBC em relação ao consumo de Cimento Portland em matrizes cimentícias, de forma a se obter as melhores propriedades mecânicas. Os resultados mostraram que a cinza do bagaço de cana-de-açúcar tem grande potencial para ser utilizada como pozolana em misturas cimentícias, evidenciando os efeitos similares nas propriedades mecânicas e ganho nas propriedades de durabilidade, em relação às misturas sem adição de cinza.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Pozolanas. Concretos.

ABSTRACT

It is notorious the current expansion of sugarcane plantations in the national scene, which makes the country the world's largest producer of sugar cane, sugar and ethanol, which aims to offer an alternative fuel for the increase in demand for automobiles with flex-fuel engines. During the production of ethanol, it is generated a large amount of bagasse, which today has great energy importance. Through its burning, this material generates waste ash classified as sugar cane bagasse ash (SBA), which is often disposed of improperly in the environment. In this regard, because the SBA consist predominantly of silicon dioxide (SiO_2) siliceous and silico-aluminous character, appears as pozzolan potential, ie, alternative material for the production of mortars and concretes, in partial substitution the Portland cement. Thus, this study aims to explore the enhancement of sugar cane bagasse ash as pozzolanic material in concrete. Seeks, in addition, to evaluate the production process of the alternative material and its characterization. Through mixtures studies, intend to optimize the SBA replacement content in the use of Portland cement in cementitious matrices in order to obtain better mechanical properties. The results showed that the sugar cane bagasse ash has great potential for use as pozzolana in cementitious mixtures, demonstrating similar effects on the mechanical properties and gain in durability properties compared to mixtures containing no added ash.

KEY-WORDS: Sugar Cane Bagasse Ash. Pozzolan. Concrete.

RESUMEN

Es notoria la expansión actual de las plantaciones de caña de azúcar en la escena nacional, lo que convierte al país en el mayor productor del mundo de la caña de azúcar, el azúcar y el etanol, que tiene como objetivo ofrecer un combustible alternativo para el aumento de la demanda de automóviles con motores de combustible flexible. Durante la producción de etanol, que se genera una gran cantidad de bagazo, que hoy en día tiene gran importancia energía. A través de su quema, este material genera cenizas residuos clasificados como bagazo de la caña de azúcar (CBC), que a menudo se desechan de manera inadecuada en el medio ambiente. En este sentido, debido a que el CBC consisten predominantemente de dióxido de silicio (SiO_2) carácter silíceo y silico-aluminoso aparece potencial como puzolana, es decir, materia prima alternativa para la producción de morteros y hormigones, en sustitución parcial el cemento Portland. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo analizar la mejora de bagazo de caña gris como material puzolánico en concreto. Busca, además, para evaluar el proceso de producción del material alternativo y su caracterización. A través de mezclas de dosificación estudios, tenemos la intención de optimizar el contenido de reemplazo CBC en el uso de cemento Portland en matrices de cemento con el fin de obtener mejores propiedades mecánicas. Los resultados mostraron que el bagazo de caña de color gris tiene un gran potencial para su uso como puzolana en mezclas de cemento, lo que demuestra efectos similares sobre las propiedades mecánicas y la ganancia en propiedades de durabilidad en comparación con mezclas que no contienen ceniza añadido

PALABRAS CLAVE: Ceniza de bagazo de caña. Puzolanas. Hormigones.

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos cimentícios à base de cimento Portland são os materiais mais amplamente utilizados na construção civil e que incorporam uma grande quantidade de recursos naturais. Além disso, são responsáveis por gerar diversos impactos naturais decorrentes da produção dos cimentos e apresentam consumo elevado de energia no processo produtivo.

Os dados demonstram que a produção do cimento Portland é altamente custosa. O custo de instalação de uma fábrica de cimento é bastante elevado, próximo a 200 dólares por tonelada de cimento produzida por ano (NEVILLE, 2016). E, acrescentando o fato das notórias emissões na produção desse composto, cada vez mais torna-se necessário pensar em produtos secundários, os quais apresentem propriedades semelhantes ao cimento, podendo substituí-lo fornecendo compósitos com resultados finais similares, à exemplo da resistência mecânica.

Por outro lado, os dados mais recentes do setor sucroalcooleiro vêm apresentando um crescimento expressivo nesse setor, o qual é responsável pela geração do resíduo sólido denominado bagaço da cana-de-açúcar. De fato, a produção de cana-de-açúcar para a safra 2015/16 está estimada em 658,7 milhões de toneladas, sendo que o crescimento deverá ser de 3,8% em relação à safra anterior. A área plantada prevista deve ficar em 8.995,5 mil hectares, redução prevista de 0,1%, se comparada com a safra 2014/15. Enquanto que a produção de açúcar deve atingir 34,6 milhões de toneladas, 2,7% inferior à safra 2014/15, a produção de etanol total ultrapassa 29 bilhões de litros, com aumento de 1,9% (CONAB 2015).

Neste sentido, tem-se dado atenção atualmente na produção de adições minerais para misturas cimentícias. As adições minerais mais frequentes, conforme Neville (2016), abrangendo os materiais pozolânicos de caráter natural ou artificial, são, com relação ao primeiro, cinza vulcânica (a pozolana rotulada como original) e argila calcinada, e, em relação ao último, tem-se a cinza volante e a própria cinza do bagaço de cana-de-açúcar. As pozolanas artificiais são provenientes de procedimentos químicos (incineração) e físicos (trituração e moagem), sendo, portanto, comumente associadas com atividades industriais e agrícolas frequentes nos diversos cenários econômicos.

As cinzas têm uma concentração muito elevada de sílica, além da presença de alumínio, ferro, óxidos alcalinos e alcalino-terrosos em menores quantidades (SOUZA, 2011; CORDEIRO, 2006). Em função de sua composição química, este material apresenta-se potencialmente como aditivo mineral para pastas, argamassas e concretos (PAYA et al., 2002), pois, quando adicionadas ao cimento, combinam-se e/ou são ativadas pelo hidróxido de cálcio liberado nas reações de hidratação do clínquer, originando compostos com propriedades ligantes.

Fatores como temperatura elevada de queima (CORDEIRO et al., 2009) e combustão incompleta podem afetar o grau de cristalinidade da sílica presente nas cinzas (ALAVEZ-RAMIREZ et al., 2012). Além disso, de acordo com Tashima (2006), a quantidade de carbono e de materiais não queimados tem grande influência no teor de absorção de água (PAYA et al., 2002), pois o material carbono é extremamente fino, ocasionando um aumento na demanda de água, além de que tais impurezas podem limitar o contato entre o hidróxido de cálcio e a sílica reativa, impedindo a formação dos compostos estáveis (MARTIRENA, 1998).

De acordo com Cordeiro (2009), Cordeiro (2006) e Alavez-Ramirez et al. (2012), a redução do tamanho das partículas de cinza do bagaço da cana-de-açúcar por meio de moagem mecânica também tem um significativo efeito sobre a atividade pozolânica, pois o aumento da superfície específica das partículas pode ser traduzido pelo aumento da reatividade do material.

De certa forma, grande parte das pesquisas têm mostrado que o controle da temperatura de queima na produção de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar pode causar incrementos nas propriedades mecânicas dos compósitos, tal qual exposto por Singh et al. (2000), Rukzon et al. (2012), Nuntachai et al. (2009), Ganesan et al. (2007), além de reduções na permeabilidade dos concretos, mostradas por Nuntachai et al. (2009) e Ganesan et al. (2007), e, ainda, a consequente redução da difusão de cloretos, abordada por Ganesan et al. (2007).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em matrizes cimentícias, em substituição parcial do cimento Portland, para a produção de concretos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Maximizar a economia de cimento, dadas as condições tecnológicas existentes e aproveitando os materiais alternativos disponíveis na região de Ilha Solteira-SP.
- Estudar um novo material alternativo (cinza do bagaço de cana-de-açúcar), propício de aplicação em matrizes cimentícias;
- Propiciar um método que garanta, na prática, uma maior precisão no cálculo dos teores de cimento, com dosagens especificadas e procedimentos normatizados;
- Produzir concretos com cinza de bagaço de cana-de-açúcar mais compactos, que assegurem a durabilidade necessária frente os agentes atmosféricos e prescrições das normas.

3. METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Agregados

O agregado miúdo utilizado na pesquisa foi Areia Média Natural. O agregado graúdo selecionado foi classificado como sendo a Brita 0,5. Os agregados passaram pelos ensaios de caracterização conforme a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).

3.1.2 Aglomerante

O cimento escolhido foi o CPV-ARI-Plus - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Trata-se do cimento mais encontrado comercialmente no país, apresentando baixo teor de adição. Os cimentos utilizados nas composições de concreto foram caracterizados tanto física quanto quimicamente, devendo atender os requisitos especificados pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).

3.1.3 Bagaço da cana-de-açúcar

O bagaço da cana-de-açúcar foi fornecido pela Usina Vale do Paraná S/A – Álcool e Açúcar. O material foi estocado na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia, UNESP-Campus de Ilha Solteira.

3.1.4 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar foi obtida por meio da queima do bagaço em incineradores de autocombustão pertencentes ao grupo “Materiais Alternativos de Construção (MAC)”, na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia, UNESP. Após o processo de queima, foi necessária a realização de procedimentos de moagem e de peneiramento da cinza, de modo a obter a finura da cinza próxima à finura do cimento Portland. Para a moagem do material, utilizou-se um moinho de bolas, pertencente ao Laboratório CESP de Engenharia Civil – LCEC.

3.1.5 Aditivo químico

Foram utilizados aditivos químicos superplastificantes à base de policarboxilato, de forma a analisar os efeitos da redução da relação água/cimento dos compósitos com adição de CBC e o consequente aumento de resistências mecânicas.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparo da cinza do bagaço de cana-de-açúcar

O processo de obtenção da cinza iniciou-se com a coleta do bagaço na usina sucroalcooleira Usina Vale do Paraná S/A – Álcool e Açúcar. Em seguida o material passou por um processo de secagem, por um período de 24 horas, ou até o bagaço chegar a um teor de umidade de cerca 4%. Após a verificação da combustão completa do bagaço na parte superior dos fornos, estes são fechados com uma tampa metálica, iniciando o processo de calcinação por autocombustão pelo período de aproximadamente 24 horas, de onde se obtém a cinza de bagaço de cana-de-açúcar. O processo de combustão está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Calcinação do bagaço de cana-de-açúcar em etapa.

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

Após o processo de combustão, a cinza foi peneirada no agitador eletromecânico, por meio da peneira de 0,3 mm (nomenclatura #50) . Realizado o peneiramento para a separação das cinzas de combustão, a CBC foi submetida a um processo de moagem, processo este desenvolvido com a velocidade do moinho em aproximadamente 70 rpm.

Durante o processo de peneiramento do bagaço da cana-de-açúcar calcinado, observou-se que certa parcela de material não sofreu o processo de queima, ficando retida na peneira granulométrica #50. Sendo assim, este material foi descartado, sendo utilizado novamente como bagaço para novos processos de queima. A etapa subsequente é a de moagem. Utilizou-se para esta, um moinho de bolas composto por 684 cilindros de aço, cujo peso total está em torno de 52,5 kg. Em cada processo de moagem, foram colocados 5 kg do material, por um período de 50 minutos. Realizou-se também a coleta do material a cada 5 minutos, para realizar a análise da evolução dos tamanhos de partículas ao longo dos 50 minutos. O material resultante dos procedimentos listados acima é a cinza do bagaço de cana-de-açúcar. A Figura 2 mostra a peneira utilizada e o material em questão antes e após peneiramento e o processo de moagem da CBC.

Figura 2 – Material retido nas peneiras; moinho utilizado e composto final.

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

3.2.2 Caracterização Físico-Química da CBC

A análise da composição química da CBC foi obtida por meio do ensaio de Fluorescência de Raios-X (FRX). Também foi realizado o ensaio de perda ao fogo, no qual amostras de cinza foram submetidas a uma temperatura de 650°C pelo período de 1 hora.

Para o ensaio de Difração de Raios-X, os dados foram obtidos a temperatura ambiente, usando uma geometria de Θ - 2Θ , com um intervalo de 2Θ de 5 a 60°, com um passo de 0,02°.

Também foi realizado o ensaio de Análise Granulométrica por meio de Difração a Laser (ADL), permitindo determinar o tamanho das partículas por meio do equipamento Mastersizer 2000, de Malvern Instruments.

A análise realizada por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) serviu para averiguar a morfologia da cinza de bagaço de cana-de-açúcar. Utilizou-se um microscópio da marca JEOL - modelo JSM 6300, na voltagem de 20 KV.

3.2.3 Determinação das proporções de areia e brita

Para determinar a porcentagem de vazios e as superfícies específicas mínimas, deve-se ensaiar as misturas dos agregados com as seguintes proporções, em massa, de areia e brita 40:60, 45:55, 50:50, 55:45, 60:40.

Os ensaios foram realizados pelo mesmo procedimento normalizado empregado para determinar a massa unitária compactada da areia ou dos agregados graúdos. Segundo a norma NBRNM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2006), os agregados são dispostos em um recipiente cilíndrico, dividindo em três camadas, sendo cada uma dessas camadas adensadas com 25 golpes, através de uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, sendo o último golpe no centro do recipiente. Após encher o recipiente, determina-se a massa do mesmo. Descontando o valor da tara do recipiente, encontra-se assim a massa do material, nas quais fornece o valor da Massa Compactada Unitária dividindo a massa do material pelo volume do recipiente, de valor já conhecido.

Em seguida, determina-se a massa específica absoluta da mistura dos agregados, também com os materiais secos. Calculadas as porcentagens de vazios para todas as combinações de areia e brita, seleciona-se a combinação que tenha a porcentagem menor como sendo a ótima para a composição do concreto.

3.2.4 Definição dos traços de concreto

A partir do método descrito anteriormente, definiu-se um teor ótimo de argamassa de 51% para as misturas com e sem adição de CBC. O início do estudo experimental partiu da avaliação preliminar, com mistura em betoneira do traço 1:5 (cimento: agregados secos totais, em massa). Baseados nas informações obtidas desta mistura, confeccionam-se mais duas, com traços definidos em 1:3,5 (traço rico) e 1:6,5 (traço pobre) conforme método proposto pelo Método de Dosagem de Concreto IPT/EPUSP Helene e Terzian (1993), partindo da substituição de 15% e 30% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar em relação à massa de cimento Portland. Os traços foram definidos em Controle (sem adição de cinza), 15% CBC e 30% CBC.

Sendo assim, os dados referentes aos traços definitivos foram conduzidos à uma planilha (Figura 3), com algumas modificações feitas para a posterior inclusão da CBC. As planilhas elaboradas fornecem os traços de concreto em massa.

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

Figura 4 – Tronco de cone.

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

3.2.7 Ensaios Mecânicos

Após o tempo de cura de cada corpo de prova, foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, pela NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007) e resistência à compressão diametral, pela NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2011). As idades de ensaios foram iguais a 7 e 28 dias. Os dados de Resistência à Compressão foram calculados considerando o desvio relativo máximo, conforme item 3.6.3 da NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997). Para desvios relativos máximos superiores a 6%, foram desconsiderados os valores discrepantes e calculadas novas médias, conforme prescreve o item 3.6.4 da NBR 7215 (ABNT, 1997).

Por fim, foram realizados ensaios de absorção, por meio da NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2009). O ensaio foi procedido para a idade de 28 dias. Os dados foram calculados mediante três amostras e o resultado final advém da média aritmética desses três valores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Cimento

A Tabela 1 mostra os resultados de caracterização do cimento CPV-ARI Plus.

Tabela 1 – Resultado da caracterização do cimento usado neste trabalho.

Referência		Especificações			
	Finura peneira 200 (% retida)	0,77	-	6	
	Finura peneira 325 (% retida)	1,87	-	-	
	Superf. espec. Blaine (cm ² /g)	4377	3000	-	
	Densidade aparente (g/cm ³)	1,02	-	-	
	Densidade absoluta (g/cm ³)	3,14	-	-	
Água de consistência da pasta	Gramas	158	-	-	
	(%)	31,6	-	-	
Início de pega (h:min)		3:03	1:00	-	
Fim de pega (h:min)		4:46			
Expansão em auto-clave (%)		EXP	-	-	
Resistência a Compressão Axial	Consistência	Gramas	158	-	-
		a / c	0,316	-	-
		03 dias	34,1	24	-
	Tensão (MPa)	07 dias	35,1	34	-
		28 dias	41,9	-	-

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

4.1.2 Agregados

A Tabela 2 indica as propriedades físicas da areia média natural e brita 0,5.

Tabela 2 – Propriedades físicas da areia média, pedrisco e brita 0,5.

Propriedade	Areia Média	Brita 0,5
Diâmetro máximo	2,36 mm	19 mm
Módulo de finura	2,12	6,29
Massa específica aparente	2,58 g/cm ³	2,99 g/cm ³
Massa específica seca	2,65 g/cm ³	2,81 g/cm ³
Massa específica SSS	2,63 g/cm ³	2,84 g/cm ³
Absorção	0,34%	1,67 %

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

4.1.3 Caracterização Físico-Química da CBC

Os ensaios físicos referentes ao material alternativo CBC foram conduzidos segundo os procedimentos normativos, obtendo-se os dados representados abaixo na Tabela 3:

Tabela 3 – Resultado da caracterização física da CBC.

Superf. espec. Blaine (cm ² /g)	8069
Densidade aparente (g/cm ³)	0,84
Densidade absoluta (g/cm ³)	2,84
Diâmetro médio da partícula (µm)	2,60

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

A composição química foi obtida através da espectroscopia por FRX, apresentado na Tabela 4, e possibilitou a determinação da composição dos óxidos presentes na CBC, assim como identificou a presença de carbono residual na amostra de cinza. Cerca de 4,4% da massa analisada da cinza corresponde à presença de matéria orgânica, carbono e carbonatos, e 0,4% dessa massa está relacionada com a decomposição de carbonatos.

Tabela 4 – Composição química da cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Cl	TiO ₂	Outros	PF
78,6	4,5	4,9	1,3	0,2	2,4	0,7	0,1	1,2	0,7	4,4

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

PF - Perda ao fogo.

Uma pozolana deve apresentar, em sua composição química, um teor mínimo de 50% da somatória dos óxidos de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, segundo a ASTM C-618, 2012. De fato, a CBC analisada apresenta um teor dos óxidos especificados de 87,94%, valor este que atende a condição da norma e possibilita a utilização da CBC como material pozolânico na produção de argamassas, visto que a presença desses óxidos favorece a produção de produtos de hidratação.

O difratograma obtido por meio do ensaio de DRX (Figura 5) indicou a presença de quartzo como fase cristalina principal, oriundo provavelmente da contaminação da cinza por solo. Não se pode observar o desvio da linha base entre os ângulos 2θ=15 – 35 °C, característico dos materiais amorfos; logo, a amostra de cinza estudada apresentou um caráter predominantemente cristalino.

A finura da CBC foi avaliada, pois o tamanho das partículas influencia na cimentação. Com o processo de moagem da cinza por um período de 50 minutos, possibilitou-se uma melhor reatividade do material, chegando-se a um diâmetro médio de partículas de $34,6 \mu\text{m}$, próxima ao diâmetro médio das partículas do cimento ($30 \mu\text{m}$). As curvas granulométricas, discreta e acumulada, das partículas, podem ser observadas na Figura 6.

Figura 5 – Difratoograma da CBC

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

Figura 6 – Distribuição Granulométrica da CBC

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

A morfologia das partículas de CBC foi obtida por meio da análise de microscopia eletrônica de varredura, representada na Figura 7. Pode-se analisar que a CBC, de modo geral, apresenta formato irregular e superfície áspera. Na micrografia (Figura 7), é possível observar ainda partículas de quartzo.

Figura 7 – Morfologia da CBC.

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

4.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS DE CONCRETO

A Tabela 5 abaixo mostra os resultados de consumo para os traços controle, 15% CBC e 30% CBC.

Tabela 5 – Consumo de materiais para traços ricos, médios e pobres.

Componentes	CONTROLE			15% CBC			30% CBC		
	Rico (1:3,5)	Médio (1:5,0)	Pobre (1:7)	Rico (1:3,5)	Médio (1:5,0)	Pobre (1:7)	Rico (1:3,5)	Médio (1:5,0)	Pobre (1:7)
Água (kg/m³)	155,80	170,72	181,41	155,50	170,48	181,23	155,20	180,24	181,04
Cimento (kg/m³)	519,33	379,38	279,10	440,59	322,02	236,99	362,14	264,82	194,97
Areia (kg/m³)	672,53	781,52	859,62	671,25	780,43	858,73	669,96	779,34	857,85
Brita 0,5 (kg/m³)	1145,12	1115,37	1094,06	1142,93	1113,81	1092,93	1140,75	1112,26	1091,81
CBC (kg/m³)	0	0	0	77,75	56,83	41,82	155,20	113,50	83,56
Superplastificante (%)	0,76	0,21	0,15	1,12	0,50	0,34	1,25	0,64	0,44
Abatimento (cm)	8,7	8,0	7,3	9,0	8,3	7,3	7,5	7,8	10,1
Relação (A/C)	0,30	0,45	0,65	0,30	0,45	0,65	0,30	0,45	0,65

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

A quantidade de aditivo referenciada na Tabela 5 é proveniente da própria observação da mistura durante a betonada, conforme fixação do Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test). É notório o fato de o aditivo ser mais solicitado nos traços ricos, da mesma forma observado à medida em que se aumenta o consumo de CBC. Sendo assim, fica explícito que, devido à elevada finura da cinza, os traços constituídos de CBC exigem um maior consumo de aditivo superplastificante para manter o mesmo abatimento que os traços controle. O fator A/C exemplificado é o valor padrão do Método de Dosagem de Concreto IPT/EPUSP Helene e Terzian (1993), referente ao traço trabalhado, podendo ser corrigido para um valor que satisfaça o acréscimo do aditivo superplastificante.

Para o teor de argamassa ideal de 51%, observou-se que a argamassa envolveu adequadamente o agregado graúdo (Figura 4). Para todos os traços de concreto, a trabalhabilidade do mesmo também se mostrou adequada, sem a presença de exsudação e segregação nas misturas.

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A Tabela 6 mostra os valores de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral dos traços empregados em função da idade dos concretos.

Tabela 6 – Resistência à Compressão Axial e à Tração por Compressão Diametral

Traço	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
	Resistência à Compressão Axial		Resistência à Compressão Diametral	
	MPa		MPa	
1:3,5 - Controle	67,4 ± 1,12	80,2 ± 4,84	4,07 ± 0,05	5,03 ± 1,00
1:5,0 - Controle	35,4 ± 1,23	45,3 ± 2,45	2,50 ± 0,03	2,10 ± 0,23
1:7,0 - Controle	23,8 ± 0,94	25,9 ± 1,49	1,85 ± 0,06	1,41 ± 0,46
1:3,5 – 15% CBC	48,3 ± 1,08	70,6 ± 3,64	5,84 ± 0,11	4,20 ± 0,78
1:5,0 - 15% CBC	30,0 ± 1,65	44,0 ± 2,13	2,76 ± 0,40	2,85 ± 0,35
1:7,0 - 15% CBC	22,9 ± 0,95	31,4 ± 1,36	1,90 ± 0,11	2,05 ± 0,07
1:3,5 – 30% CBC	59,2 ± 4,57	71,3 ± 3,14	3,38 ± 0,08	3,68 ± 0,46
1:5,0 - 30% CBC	37,8 ± 3,02	54,2 ± 2,50	2,53 ± 0,25	3,32 ± 0,10
1:7,0 - 30% CBC	18,4 ± 1,05	22,7 ± 0,94	1,23 ± 0,12	2,23 ± 0,06

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

De maneira geral, observa-se que a substituição de cimento Portland por CBC resultou em uma redução na resistência à compressão axial dos concretos. Nota-se que as resistências mais satisfatórias foram alcançadas na idade de 28 dias, apesar de se ter observado, para a

substituição de 30% no traço intermediário (1:5,0), aos 7 dias, um acréscimo de resistência em relação ao traço controle (6,8% de aumento). A distinção entre os valores é mais expressiva quando são verificadas idades mais avançadas das misturas, da mesma forma para os traços ricos, com maior consumo de cimento Portland e cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

O traço com adição de CBC que apresentou as melhores propriedades de resistência à compressão axial foi o traço médio (1:5,0), para a substituição em 30%, e o traço pobre, para a substituição em 15%, em relação ao traço controle, ambos aos 28 dias. Em termos percentuais, foram observadas resistências mecânicas ligeiramente maiores para a mistura com 30% de CBC (1:5,0) aos 7 dias e para a mistura com 15% de CBC, traço 1:7,0, com acréscimo de 21,2%, e 30% de CBC, traço 1:5,0, com acréscimo de 19,6%, ambos aos 28 dias.

Para os valores de resistência à tração por compressão diametral, observa-se um ganho das propriedades para os traços médios (1:5,0) e pobres (1:7,0) para ambos os teores de substituição de CBC (15% e 30%) aos 7 e 28 dias, em relação aos traços controle. Apesar dos dados mostrarem queda dos valores de tração para os traços ricos constituídos de CBC em relação aos traços controle, se observa um aumento de tal propriedade aos 7 dias para o traço com 15% de CBC.

4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os ensaios de absorção foram conduzidos para os concretos com idade de 28 dias. Abaixo estão listadas as porcentagens de água incorporadas no molde de concreto na Figura 8.

Figura 8 – Absorção dos concretos

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2016

É notório o fato de ambas as substituições terem mostrado resultados satisfatórios com relação à absorção das misturas. O acréscimo de material fino (CBC) contribui para um melhor preenchimento dos vazios inerentes num componente como o concreto, e esse fato foi comprovado através do ensaio conduzido.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho visa incorporar o estudo da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, de maneira a avaliar sua reatividade potencial em concretos e sua viabilidade como material alternativo para substituição parcial ao cimento Portland.

Para esse projeto, optou-se por estudar as tipologias de traço rico (1:3,5), médio (1:5) e pobre (1:7), aplicadas ao concreto controle e às substituições parciais de 15% e 30%. Para a dosagem dos materiais nos traços, a caracterização destes mesmos materiais foi de fundamental importância para o estudo de dosagem e composição destes traços de concreto, sem e com adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

A caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar evidenciou por meio do ensaio de difração de Raios-X a presença de quartzo como fase cristalina principal, sendo que o composto apresentou um teor dos óxidos que atende a condição da norma e possibilita a utilização da CBC como material pozolânico na produção de materiais cimentícios e visto que a presença desses óxidos favorece a produção de produtos de hidratação.

De maneira geral, fica evidente que é possível gerar benefício para diferentes dosagens, desde que se faça a correta combinação entre o percentual de substituição e o traço considerado. Entretanto, em se tratando de economia de material cimentício e valorização da utilização de resíduos no setor da construção civil, os resultados também mostram a viabilidade da utilização de ambas as proporções de CBC em relação à massa de cimento, principalmente para a produção de traços médios e pobres, porém com viabilidade garantida para os traços ricos, uma vez que foram alcançadas resistências à compressão axial na faixa de 70MPa. Da mesma forma, os dados de resistência à tração por compressão diametral se mostraram efetivos para os traços médios e pobres constituídos de CBC, enquanto que a absorção de água foi reduzida para os concretos com cinza. De fato, o caráter pozolânico, aliado ao efeito fíler da CBC, contribuíram para o ganho das propriedades observadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAVEZ-RAMIREZ, R., MONTES-GARCIA, P., MARTINEZ-REYES, J., ALTAMIRANO-JUAREZ, D.C., GOCHI-PONCE, Y. The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks. **Constr Build Mater** 2012;34:296-305.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM: **ASTM C 618**: standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. New York, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos concreto. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7222**: argamassa e concreto - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 45**: agregados - determinação da massa unitária, massa unitária compactada e seca e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. **Reciclanip apresenta balanço do primeiro trimestre de 2015**. São Paulo: ANIP, 2015. Disponível em: < <http://www.anip.com.br> >. Acesso em: 13 jul. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 29 fev. 2016.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 445f.. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G.C., TOLEDO-FILHO, R.D., FAIRBAIRN, E.M.R. Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. **Constr Build Mater** 2009;23:3301–3.

GANESAN, K., RAJAGOPAL, K., THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 6, p. 515-524, 2007.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Copyright editora PINI LTDA, p.349, 1993.

MARTIRENA, J.F., MIDDENDORF, B., GEHRKE, M., BUDELMANN, H. Use of wastes of the sugar industry as pozzolana inlime-pozzolana binders: study of the reaction. **Cem Concr Res** 1998;28:1525–36.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto** / A. M. Neville; tradução: Ruy Alberto Cremonini. - 5. Ed. – Porto Alegre : Bookman, 2016.

NUNTACHAI, C., CHAI, J., KRAIWOOD, K. Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. **Constr Build Mater** 2009;23:3352–8.

PAYA, J., MONZÓ, J., BORRACHERO, Mv. Sugar-cane bagasse ash (SCBA):studies on its properties for reusing in concrete production. **Journal Of ChemicalvTechnology And Biotechnology**, Oxford, v. 77, p.321-325, 2002.

RUKZON, S., CHINDAPRASIRT, P. Utilization of bagasse ash in high strength concrete. **Mater Des** 2012;34:45–50.

SINGH, N.B., SINGH, V.D., RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended Portland cement. **Cem Concr Res** 2000;30(9):1485–8.

SOUZA, A.E., S.R. TEIXEIRA, SANTOS, G.T.A., COSTA, F.B., LONGO, E. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. **Journal of Environmental Management** 2011; 92:2774-80.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.