

Avaliação por análise de DRX da influência do beneficiamento de moagem na atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Evaluation by XRD analysis of the influence of grinding process in the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash

Emerson José da Silva¹, Priscilla Elisa de Azevedo Basto²,
Fernanda Wanderley Corrêa Araújo³, Leonardo Fagundes Rosembach Miranda⁴,
Antonio Acacio de Melo Neto⁵

¹ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Centro de Tecnologia e Geociências, Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Av. Professor Moraes Rego, 1235 – CDU, CEP: 50670-901, Recife, PE, Brasil.

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Mestranda (PPGEC), Recife, PE, Brasil.

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), UACSA – UFRPE, Recife, PE, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Construção Civil, Paraná, Curitiba, Brasil.

⁵ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE, Brasil.
e-mail: emerson.josesilva@ufpe.br, priscillabasto@gmail.com, fernanda.wca@gmail.com, reciclagem.miranda@gmail.com, antoniodemelo@gmail.com

RESUMO

É crescente o reaproveitamento e utilização de resíduos em matrizes de base cimentícia, no intuito de um destino adequado, por apresentarem propriedades pozolânicas, bem como, na perspectiva da redução do consumo de cimento Portland. Neste trabalho foram produzidas cinzas a partir do beneficiamento de moagem da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) coletada em uma usina do estado de Pernambuco. A cinza coletada foi submetida a um processo prévio de secagem em estufa e peneiramento para retirada de materiais contaminantes (folhas, pedras e outros), sendo denominado de CAN. O restante do material foi dividido em quatro frações, sendo cada fração submetida a uma temperatura de queima de 300 °C, 400 °C, 500 °C e 600 °C, respectivamente. Para a composição das amostras foi adotado o procedimento de peneiramento no conjunto de peneiras com abertura de malhas #200 e #400 respectivamente e moagem no moinho de bolas por sete horas, obtendo-se quatro patamares de finura: CAN#200, CAN#400, CANP400 e CANM7H. As amostras foram submetidas a análises de fluorescência de raios X, difração de raios X, massa específica real por picnometria a gás e área superficial específica por *blaine*. O IAC das amostras com CBCA mostrou resultados satisfatórios apenas para as cinzas moídas por sete horas. A moagem mostrou ser de fundamental importância para o aumento do potencial pozolânico da CBCA.

Palavras-chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar, Moagem, DRX, Pozolana.

ABSTRACT

The recovery and utilization of residues in cement-based matrices, aiming a suitable destination, are increasing because they have pozzolanic properties, so these materials may reduce the consumption of Portland cement. In this paper, it was produced ashes by processing (grinding) sugar cane bagasse ash (SCBA) from a mill located in the state of Pernambuco. The ashes were submitted to a prior process of drying in a drying oven and sieving for the removal of contaminating materials (leaves, stones and others), this material was named CAN. The remaining material was divided into four fractions and each of them was submitted to a burning temperature: 300°C, 400°C, 500°C and 600°C. In order to produce samples, it was adopted a sieving procedure composed by a set of sieves with 200 and 400 mm mesh openings, and grinding in the ball mill for seven hours. As a result, it was obtained four levels of fineness: CAN#200, CAN#400, CANP400 and CANM7H. The samples were characterized by X-ray fluorescence spectrometry, X-ray diffraction, true spe-

cific gravity by gas pycnometry and specific surface area by the Blaine method. The SAI of samples with SCBA presented satisfactory results only for the ashes ground for 7 hours. The grinding presented fundamental importance for increasing pozzolanic potential of SCBA.

Keywords: Sugar cane bagasse ash, Grinding, XRD, Pozzolan.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil tem crescido a utilização de resíduos, bem como os estudos no intuito de seu emprego, com maior enfoque na substituição parcial do cimento Portland ou mesmo como substituição parcial do agregado miúdo, com o objetivo de um destino adequado aos mesmos, além de contribuir no desempenho do material quando o resíduo é incorporado na matriz cimentícia [1].

Cinza de biomassa é um tipo de resíduo resultante da queima de fontes de energias renováveis, resíduos da agricultura e de resíduos agroindustriais [2]. Segundo a ÚNICA [3], o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, além de ser o maior exportador mundial de açúcar, tendo como maiores produtores de cana-de-açúcar os estados de Alagoas, Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Pernambuco e Paraná.

Na produção do açúcar e do álcool o material resultante é o bagaço da cana-de-açúcar. Esse bagaço, com o passar dos anos, foi sendo valorizado na produção de energia através da sua queima gerando vapor. Segundo DANTAS FILHO [4], uma usina com produção em torno de três milhões de toneladas de cana moída gera em torno de 740 mil toneladas de bagaço, e 29 MW de energia pela queima em caldeiras. O resíduo produzido dessa geração de energia é a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA).

Segundo VASCONCELOS [1], com base na abundância desse material, bem como o seu potencial para o emprego na construção civil, duas linhas de pesquisa propõem e defendem sua reutilização na produção de concretos e argamassas: a incorporação da cinza ao cimento Portland como adição pozolânica (o que permite a redução do consumo de clínquer pela indústria cimentícia como também um ganho na melhoria da durabilidade dos concretos e argamassas) e a utilização CBCA como agregado miúdo (substituição parcial da areia na confecção de pastas de cimento).

O bagaço é um dos subprodutos da produção da cana-de-açúcar, bem como a sacarose e a palha. A queima do bagaço da cana é a principal forma de geração de energia dentro de uma usina de cana-de-açúcar, gerando uma grande quantidade de cinza pesada que se deposita no fundo das caldeiras, composta basicamente de materiais inorgânicos [5].

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar é um material pulverulento que dependendo da temperatura em que foi produzida apresenta diferentes tons de cinza. A temperatura de combustão do bagaço de cana dentro das caldeiras costuma variar de usina para usina e também é influenciada pelo teor de umidade do bagaço utilizado. Normalmente não há um controle rigoroso das condições de queima, de forma que as temperaturas dentro das caldeiras das usinas podem variar de 300 °C a 1.000 °C. A CBCA, independente do seu processo de produção, apresenta elevada porosidade e é composta por uma grande quantidade de SiO₂, que pode chegar a 98% da massa da CBCA e pequenas proporções de Fe₂O₃, Al₂O₃ e outros óxidos [1].

Segundo CORDEIRO e VASCONCELOS [6, 1] para o aumento da reatividade da CBCA há vários caminhos, se destacando pelo tratamento físico de moagem, uma vez que, quanto mais fina for a CBCA mais reativa será, pois haverá maior área de contato da cinza com a pasta de cimento gerando grande número de pontos de nucleação para a reação pozolânica.

Acerca da existência da pozzolanicidade na CBCA os autores ZARDO et al., CORDEIRO, PAULA, CORDEIRO e NUNES; [7, 6, 8, 9 e 10] relatam que ainda não é definitiva, embora em sua pesquisa, FREITAS [11] aponta a atividade pozolânica de amostras de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, já ZARDO et al. [7] revelam o contrário mostrando que esse tipo de material atua como *filler*. Portanto, todos os pesquisadores citados apresentam aspectos benéficos do uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, quer seja pelo o efeito *filler* quer seja pelo o efeito pozolânico.

No presente estudo, é focada a utilização do resíduo da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) como substituição parcial do cimento Portland. Para isto, o resíduo deverá apresentar características que o classifiquem como um material pozolânico, sendo avaliado por DRX e NBR 5751 [12].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram utilizados dois tipos de pozzolanas: a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA), objeto de estudo, e o

metacaulim, material pozolânico de referência (MTC), comercializado no mercado do estado de Pernambuco. O metacaulim utilizado, produzido pela empresa Caulim do Nordeste S.A. de cor alaranjada e uma granulometria fina, apresentando elevadas concentrações de óxidos de silício, alumínio e ferro.

A CBCA utilizada é proveniente do processo de produção de álcool e açúcar de uma usina localizada no estado de Pernambuco. A queima do bagaço da cana foi realizada em caldeira a uma temperatura de aproximadamente 300 °C, para geração da cinza. A cinza coletada apresenta cor escura e granulometria grosseira, indicando um elevado teor de carbono. Para a homogeneização, a cinza foi seca em estufa a 100°C por 24h e peneirada na peneira de abertura 4,8mm para retirada de impurezas como restos de folha e galhos, sendo o material retido descartado. A Tabela 1 apresenta a análise química por fluorescência de raios X do MTC e da CBCA (*in natura*).

Tabela 1: Composição química do MTC e da CBCA (*in natura*).

Oxidos (%):	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF ^a	Total
MTC	1,0	32,9	49,3	10,3	0,2	0,3	1,7	1,7	0,2	1,70	99,50
CBCA	0,7	2,2	89,2	1,7	0,7	0,3	2,3	0,3	0,7	2,14	99,84

^aPF – Perda ao Fogo.

Para o ensaio de condutividade elétrica foi utilizado o hidróxido de cálcio - CH (P.A.) da marca *Synth*, com teor mínimo de pureza de 95%. Para a confecção dos corpos de prova pelo método adotado na NBR 5751 [12], a cal hidratada utilizada foi a CH-I da marca Tradical. No preparo dos corpos de prova de argamassa foi utilizada a areia quartzosa, lavada e passada na peneira de abertura de 4,8 mm. Utilizou-se ainda um aditivo plastificante quartzolite produzido pela Weber – SAINT-GOBAIN à base de surfactantes. Sua incorporação teve como objetivo manter a mesma relação água/materiais secos.

2.2 Planejamento Experimental

A CBCA recebeu um tratamento de peneiramento/moagem. O material pozolânico de referência (MTC) não sofreu qualquer tipo de tratamento, pois trata-se de um material adquirido no mercado, pronto para utilização.

2.2.1 Calcinação e Peneiramento/moagem da CBCA

Para este trabalho foi adotada a queima da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em um único patamar (temperatura máxima desejada). A taxa de aquecimento adotada para a queima foi de 10 °C/min. O forno utilizado foi do tipo mufla com dimensões internas de 170 x 190 x 250 mm, da marca Fornos Lavoisier, com aquecimento até 1200 °C. Para a queima foram colocados 500 g de CBCA em bandejas de ferro e levado à mufla. As cinzas foram denominadas de acordo com a temperatura máxima de queima, recebendo as seguintes nomenclaturas: CB300 (temperatura máxima de queima 300°C), CB400, CB500 e CB600.

Todas as cinzas que tiveram ou não beneficiamento térmico passaram por um processo de peneiramento mecânico. Para este procedimento houve uma adaptação do conjunto de peneiras granulométricas quadradas com dimensões 50 x 50 x 10 cm, da marca Pavitest, que permite a troca de tela. Foi adotado o seguinte procedimento: Pesar 2,0 kg de cinza e colocar na seguinte sequência de peneiras (#200 → #400 → Fundo). Para estratificar as amostras foi definido um número fixo de peneiramentos e intervalos, obedecendo a seguinte configuração: 6 ciclos de peneiramento mecânico de 15 minutos, com intervalo de 5 minutos (esse intervalo foi adotado devido às condições do equipamento, por não suportar o tempo total de uma hora e trinta minutos ininterrupto de peneiramento) – totalizando em torno de duas horas de procedimento.

Ao término do peneiramento obtiveram-se as seguintes amostras: cinzas retidas na peneira #200, passante na #200 e retida na #400, e, passante na #400, as amostras foram recolhidas e guardadas em potes com as devidas identificações.

A moagem das cinzas foi realizada em um moinho rotativo de bolas da marca Tecnal. Foram utilizadas 71 bolas correspondentes a uma massa de 3000 g. A velocidade de rotação foi de 200 RPM e o período de moagem foi de sete horas. Para a moagem foram utilizados 1300 g de cada uma das amostras de cinza (CAN, CB300, CB400, CB500 e CB600). Desse procedimento obtiveram-se três variações sem moagem, sendo os materiais: retido na peneira de # 200, retido na de # 400 e a passante na peneira de # 400 e uma moída por sete horas. Após o peneiramento e moagem das amostras no moinho de bolas, as mesmas foram encaminhadas para os ensaios previstos.

2.3 Procedimento de ensaio

2.3.1 Caracterização química, física e microestrutural

A composição química das amostras de CBCA e de matacaulim foi obtida por meio de análise de fluorescência de raios X semiquantitativa em um espectrômetro Rigaku - RIX 3000 equipado com tubo de Rh. A análise foi realizada no departamento de Geologia da UFPE. As áreas específicas das CBCA e do MTC foram obtidas pelo método Blaine, segundo a NBR NM 76 [13]. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção Civil da UFPE – CAA.

As medidas de DRX foram realizadas em amostras na forma de pó, em equipamento Difratorômetro de raios X Bruker D8 Advance Davinci, tendo utilizado os seguintes parâmetros experimentais: radiação $\text{CuK}\alpha$, dados coletados entre os ângulos 5° a 75° (2θ), varredura com passo angular de $0,02^\circ$ (2θ) com tempo de coleta de 1 segundo por passo.

2.3.2 Avaliação da atividade pozolânica da CBCA

A determinação do índice de atividade pozolânica em materiais pozolânicos através do índice de atividade com cal (IAC) foi realizada de acordo com a norma NBR 5751 [12], sendo o IAC a resistência à compressão de argamassas confeccionadas com cal hidratada e o material pozolânico. Para que esteja em conformidade com a NBR 12653 [14], deve-se apresentar resistência média maior ou igual a 6 MPa. Para cada família de amostra foram confeccionados 3 (três) corpos de prova.

A NBR 5751 [12] estabelece sistematicamente uma série de procedimentos no que tange ao preparo das argamassas e dos corpos de prova para a determinação do IAC, destacando-se:

- A argamassa deve conter uma parte, em massa, de hidróxido de cálcio e mais uma quantidade de material pozolânico, que corresponda ao dobro do volume do hidróxido de cálcio;
- A quantidade de água para a mistura deve corresponder a um índice de consistência de (225 ± 5) mm obtido no ensaio de abatimento, conforme prescreve a NBR 7215 [15];
- A cura dos corpos de prova é realizada nos próprios moldes vedados durante 7 dias, sendo colocados em ambiente com 100% de umidade relativa e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ durante (24 ± 2) horas e, em seguida, acondicionados em uma temperatura de $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante (1446 ± 2) horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Área superficial das CBCA

Na Tabela 2, é apresentado o quadro resumo das propriedades físicas avaliadas neste trabalho. De acordo com os resultados da Figura 1, pode-se afirmar que o peneiramento/moagem foi bem sucedido, uma vez que alcançou quatro níveis de finura Blaine: material retido na peneira #200, retido na peneira #400, passante na peneira #400 e moído por 7 horas.

Tabela 2: Quadro resumo das propriedades físicas da CBCA e MTC.

Amostras / Finura Blaine (m^2/kg)			
CAN#200	307,93	CB400M7H	1664,47
CAN#400	389,51	CB500#200	297,94
CANP400	1331,54	CB500#400	816,22
CANM7H	1838,44	CB500P400	1383,05
CB300#200	279,24	CB500M7H	1729,92
CB300#400	867,03	CB600#200	279,13
CB300P400	1386,73	CB600#400	786,77
CB300M7H	1853,80	CB600P400	1418,30
CB400#200	309,95	CB600M7H	1933,89
CB400#400	729,45	MTC	2245,49
CB400P400	1358,83		

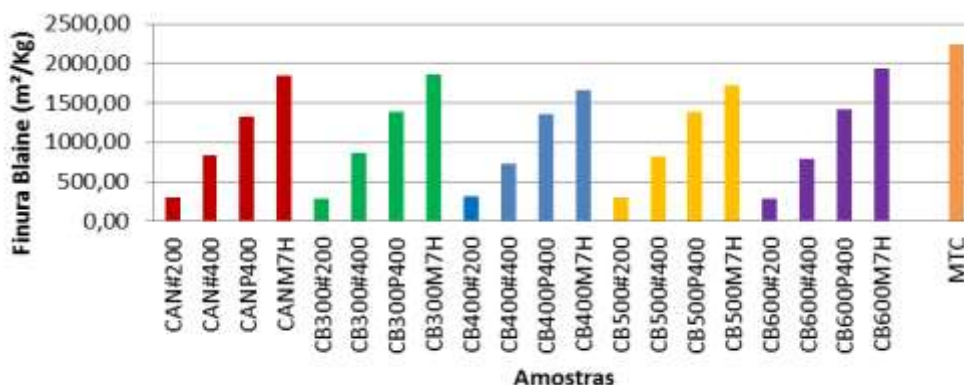


Figura 1: Finura Blaine das CBCA e MTC.

3.2 Análise de difração de raios X

As análises de difração de raios X das amostras de cinzas são ilustradas nas Figuras 2 a 6, que apresentam as CBCA sem calcinação e calcinadas a 300, 400, 500 e 600°C, respectivamente. Observa-se que as cinzas apresentam as mesmas fases cristalinas, sendo característico o pico cristalino na posição $2\theta = 26,64^\circ$, com elevada intensidade.

A possível cristalização pode ser atribuída ao longo período de permanência das cinzas na mufla, devido à inércia térmica do forno ao ser desligado. Quanto maior a temperatura de calcinação das cinzas, maior a tendência de cristalização [16, 17, 2, 1].

Os resultados do índice de pozolanicidade com cal não corroboram para esta conclusão. VASCONCELOS [1] afirma que a moagem pode intensificar os picos, uma vez que tal comportamento é associado ao aumento do estado de aglomeração das partículas.

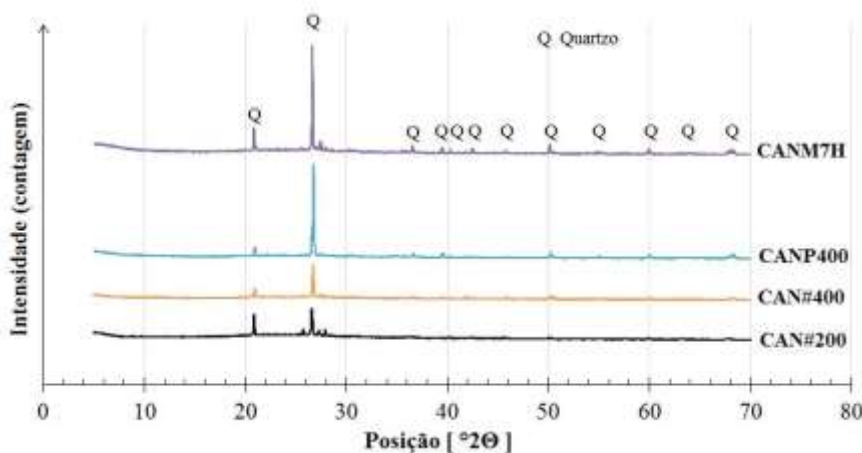


Figura 2: Amostras *in natura*.

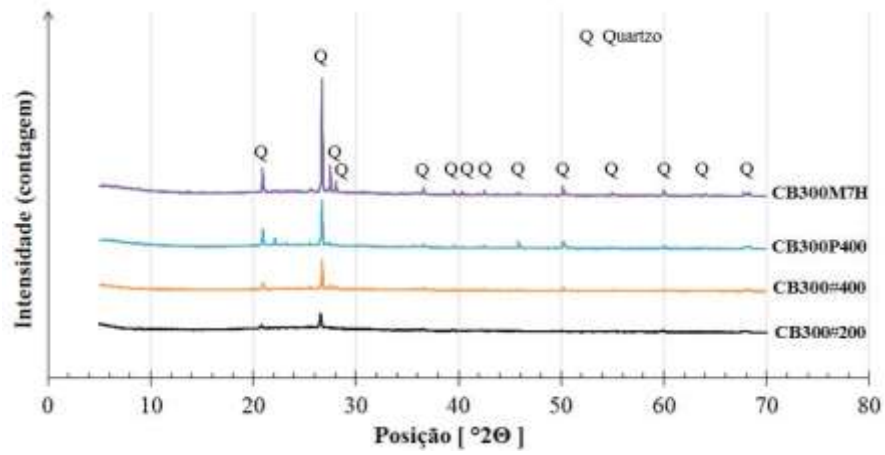


Figura 3: Amostras calcinadas a 300°C.

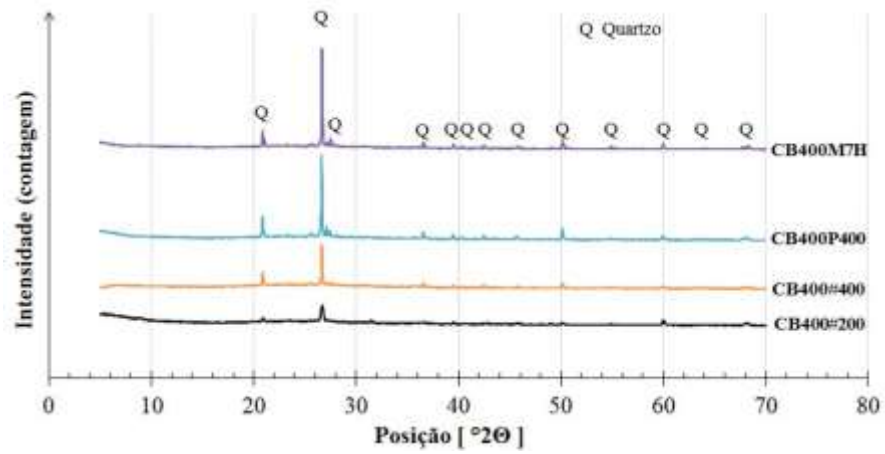


Figura 4: Amostras calcinadas a 400°C.

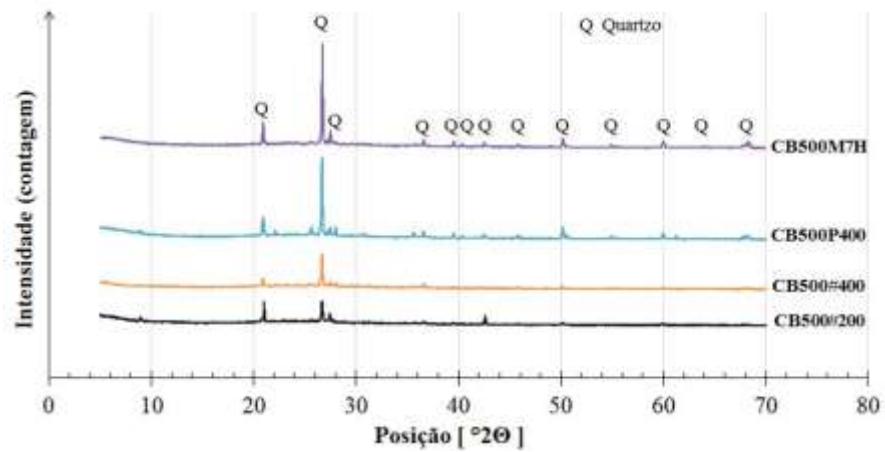


Figura 5: Amostras calcinadas a 500°C.

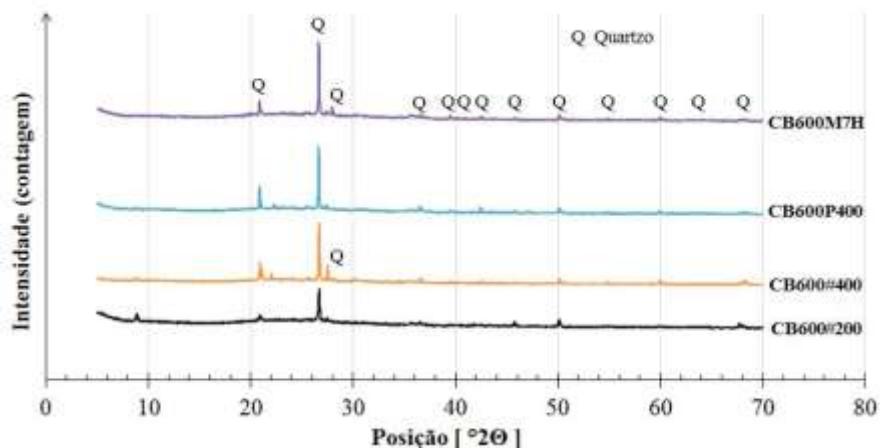


Figura 6: Amostras calcinadas a 600°C.

3.3 Avaliação do IAP com Cal - NBR 5751 (2012)

Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos ensaios da norma [12] para a CBCA com diferentes tratamentos e do MTC - pozolana de referência. De acordo com os resultados, observa-se que o MTC alcançou mais do que o dobro da resistência mecânica à compressão prevista pela NBR 5751 [12] que é de (6,0 MPa), mesmo apresentando uma relação água/aglomerante superior em relação às demais misturas, confirmando assim seu excelente potencial como adição.

A Figura 7 ilustra o ganho de resistência à compressão em (MPa) das CBCA e do MTC, em função do tratamento de peneiramento/moagem aplicada nas CBCA.

Tabela 3: Resumo das propriedades das argamassas de cal hidratada com MTC e CBCA

Mistura	CH (g)	MTC / CBCA (g)	Areia (g)	Água (g)	Consist. média (mm)	a/agl	Adit. (%)	Resist. Comp. (MPa)	IAC (%)
MTC		232,45		309,53	220,00	0,92	0,8	13,17	221,28
CAN#200	104	181,38	936	199,77	211,50	0,7	0,2	0,28	4,67
CAN#400		202,08		214,93	209,00			0,62	10,33
CANP400		203,05		214,26	201,25			0,70	11,67
CANM7H		209,45		219,41	190,25			7,97	132,84
CB300#200		178,15		197,51	229,75			0,42	7,00
CB300#400		207,76		218,23	222,25			1,42	23,67
CB300P400		211,50		220,85	188,50			1,89	31,50
CB300M7H		215,00		223,3	180,00			9,52	158,67
CB400#200		186,84		203,59	200,00			0,38	6,33
CB400#400		212,62		221,64	178,50			1,42	23,67
CB400P400		212,94		221,86	186,75			1,56	26,00
CB400M7H		219,63		226,54	236,50			7,03	117,17
CB500#200		184,93		202,25	214,50			0,24	4,00
CB500#400		214,09		222,67	179,50			1,58	26,33
CB500P400		216,70		224,49	180,32			1,60	26,67
CB500M7H		220,37		227,06	193,50			9,52	158,67
CB600#200		189,29		205,30	222,50			0,24	4,00
CB600#400		206,96		217,68	205,25			0,75	12,50
CB600P400		210,83		220,38	187,00			1,53	25,50

CB600M7H		213,96		222,57	181,75			6,79	113,17
----------	--	--------	--	--------	--------	--	--	------	--------

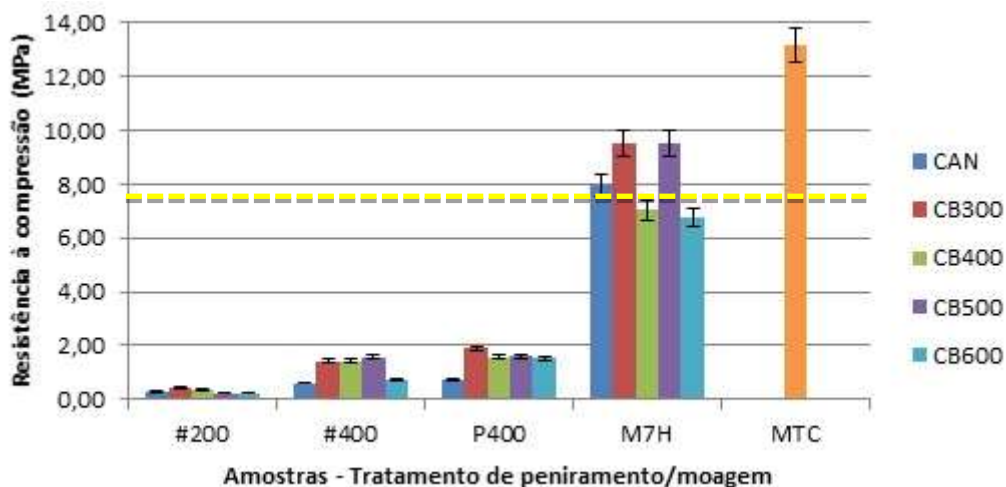


Figura 7: Resistência à compressão em (MPa) das CBCA e do MTC em função do tratamento de peneiramento/moagem.

O IAC da maioria dos diferentes tipos de cinzas, ficou abaixo do estabelecido pela norma [12], sobressaindo-se apenas as cinzas moídas por 7 horas obtendo resistência à compressão superior a 6,0 MPa, evidenciando assim que, as cinzas com maior grau de moagem apresentaram melhores resultados. Os resultados do IAC corroboram para fundamentar que a moagem é essencial para obtenção de material pozolânico ou mesmo para obtenção do efeito *filler*.

Para os resultados da CBCA quando comparados em função do tratamento de calcinação, define claramente que os níveis de calcinação utilizados neste trabalho não foram satisfatórios em melhorar a atividade pozolânica da CBCA, sendo observado que para a temperatura de 600°C houve diminuição da resistência à compressão para todas as amostras em função da finura.

4. CONCLUSÕES

Os resultados das propriedades físicas, químicas e da microestrutura foram de suma importância para o entendimento da CBCA quanto ao seu potencial pozolânico. Os diferentes graus de peneiramento / moagem utilizados nesta pesquisa permitiram que a análise distinguisse de forma satisfatória os efeitos da diminuição do tamanho de partículas, concluindo-se que o efeito da moagem teve impacto positivo na melhoria da atividade pozolânica da CBCA. O efeito da temperatura de calcinação, dentro dos limites deste trabalho, pouco influenciou.

A análise por difração de raios X (DRX) teve grande importância na pesquisa, apesar de prejudicada pela presença de areia oriunda do processo de lavagem da cana-de-açúcar, que causou o encobrimento de um possível halo amorfo nas análises de DRX. A principal fase identificada na DRX da CBCA foi o quartzo, sendo característico o seu principal pico na posição $2\theta = 26,64^\circ$. Na análise do efeito da temperatura de calcinação, a DRX deixou evidente a pouca influência neste trabalho.

Analisando a intensidade dos principais picos detectados na DRX foi possível concluir que a moagem provocou o aumento da intensidade dos picos principais do quartzo. No entanto, os resultados do (IAC) não corroboram para esta conclusão, atribuindo-se este efeito ao aumento do estado de aglomeração das partículas.

O índice de atividade pozolânica com cal hidratada (IAC) das amostras de CBCA ficou bem abaixo do valor de 6,0 MPa para a maioria das amostras como estabelecido pela NBR 5751 [12], com exceção das cinzas moídas por 7 horas, que obtiveram resistência superior à exigida pela norma, independente da temperatura de queima.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FACEPE, a CAPES e à PROPESQ/UFPE, pela concessão de recursos e auxílio de bolsas para o desenvolvimento da pesquisa. Ao CETENE pela realização dos ensaios.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] VASCONCELOS, M.C.A., “Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizando métodos físicos”, Dissertação de M.Sc., UFPE, Recife, PE, Brasil, 2013.
- [2] RODRIGUES, M. S. “Avaliação de cinzas de palha de cana-de-açúcar e sua utilização como adição mineral em matrizes cimentícias”, Tese de D.Sc., UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2012.
- [3] ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (2010 - 2015) Disponível na internet: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em novembro 2015.
- [4] DANTAS FILHO, P.L. “Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo”, Dissertação de M.Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil, 2009.
- [5] NUNES, S. C. P., NUNES, U. R., FONSECA, P. G., *et al.*, “Época de colheita e armazenamento na qualidade e fisiológica da semente de sempre-viva (*Sygonanthus elegans* (Bong) Ruhland- Ericaulaceae)”, *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 30, n.6, p. 1775-17780, nov./dez. 2008.
- [6] 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 D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.
- [7] ZARDO, A. M., BEZERRA, E.M., MARTELLO, L.S., *et al.*, “Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento”, In: *I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável/x Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2004, São Paulo. Anais. São Paulo: Entac, 2004. CD-ROM.
- [8] PAULA, M.O. “Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland”, *Dissertação de M.Sc.*, UFV, Viçosa, MG, Brasil, 2006.
- [9] CORDEIRO, L.N., “Análise da variação do índice de amorficidade da cinza da casca do arroz sobre a atividade pozolânica”, Tese de D.Sc., UFRS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.
- [10] NUNES, I.H.S., “Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar”, Dissertação de M.Sc., PEU/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2009.
- [11] FREITAS, E. S., “Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos goytacazes para uso na construção civil”, Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com cal*. Rio de Janeiro, 2012.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 76: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)*. Rio de Janeiro, 1998.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12653: Materiais pozolânicos – Especificação*. Rio de Janeiro, 1992.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1996.
- [16] FRÍAS, M., VILLAR-COCINA, E., VALENCIA-MORALES, E. Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: calcining temperature and kinetic parameters. *Waste Management*, v.27, p.533-538, 2007.
- [17] CORDEIRO, L.N. “Análise da variação do índice de amorficidade da cinza da casca do arroz sobre a atividade pozolânica”, Tese de D.Sc., UFRS, Porto Alegre, Brasil, 2009.

ORCID

Emerson José da Silva

<https://orcid.org/0000-0001-9854-6244>

Priscilla Elisa de Azevedo Basto

<https://orcid.org/0000-0002-7322-2400>

Fernanda Wanderley Corrêa Araújo

<https://orcid.org/0000-0003-1316-1826>

Leonardo Fagundes Rosemback Miranda

<https://orcid.org/0000-0003-2729-7695>



Antonio Acacio Melo Neto

<https://orcid.org/0000-0003-3331-0577>