

## A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE QUEIMA NA POZOLANICIDADE DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR

Autor 1.  
Autor 2.

**Resumo:** Um dos grandes desafios da indústria da construção civil é a busca por materiais alternativos, que poluam menos e diminuam a extração de recursos naturais e a solução apresentada por diversos pesquisadores é a reciclagem dos mais diversos resíduos industriais, principalmene na consfecção de concretos e argamassas. Para a utilização de residuos como agregados ou aglomerantes de concretos e argamassas é se fazem necessárias diversas análises das características físicas, químicas e mecânicas dos mesmos, garantindo assim as propriedades do produto final. Este trabalho tem como objetivo analisar a possivel atividade pozolanica da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) produzidas em diferentes temperaturas de queima, ou seja, determinar se a CBC pode ser considerada um aglomerante, assim como o Cimento Portland. A finalidade destes ensaios é a determinação da melhor temperatura de queima do bagaço da cana-de-açúcar, no que diz respeito a pozolanicidade das amostras, já que foram obtidas com temperatura de queima variando de 600°C a 850°C. A investigação foi realizada através dos ensaios de Difração de Raio-X e determinação de atividade pozolânica pelo Método de Chapelle modificado. Os resultados comprovam que o bagaço cana-de-açúcar quando queimado com temperatura controlada, variando de 600°C a 650°C, produz uma cinza com características pozalânicas, podendo ser adicionada ao cimento quando da sua fabricação, como o que ocorre com a escória de aço e a pozalana.

**Palavras-chave:** Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Pozolanicidade. Caracterização.

## THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE BURNING OF POZZOLANICITY OF SUGARCANE BAGASSE ASH

**Abstract:** One of the great challenges of the construction industry is the search for alternative materials that pollute less and reduce the extraction of natural resources and the solution presented by several researchers is the recycling of a variety of industrial waste, especially in making of concrete and mortar. For the use of waste as aggregate or concrete and mortar is binders are necessary various analysis of physical, chemical and mechanical characteristics thereof, thus ensuring the final product properties. This work aims to analyze the possible pozzolanic activity of sugarcane bagasse ash (CBC) produced in different firing temperatures, that is, determine whether the CBC can be considered a binder, as well as Portland cement. The purpose of these tests is to determine the best firing temperature of the bagasse from sugar cane, with respect to the pozzolanic samples were obtained as with sintering temperature ranging from 600 ° C to 850 ° C. The research was conducted through the diffraction of X-ray tests and determination of pozzolanic activity of the modified Chapelle method. The results show that sugar cane bagasse when burned under controlled temperature ranging from 600 ° C to 650 ° C to produce a CBC pozzolanic characteristics, may be added when cement manufacture, as occurs with steel slag and pozzolanicity.

**Keywords:** Sugarcane bagasse ash, pozzolanicity, characterization.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, impulsionada pelas necessidades da sociedade como um todo no que se refere às melhorias e ampliações do ambiente construído, seja na forma de moradia, edificações públicas e infraestrutura, enfrenta um grande desafio o de buscar materiais alternativos, que poluam menos e diminuam a extração de recursos naturais, (CHAMBERS; CHEN, 1999 apud JOHN, 2000).

Por outro lado diversas linhas de pesquisas apontam este setor como promissor e viável para utilização de resíduos industriais obtidos das mais diferentes fontes. Além disto, John (2000) aponta como a primeira e mais visível contribuição da reciclagem a preservação dos resíduos naturais. Uma vez que se estes forem substituídos por resíduos pode-se afirmar que ocorrerá uma prolongação da vida útil das reservas naturais e uma redução da destruição da paisagem, flora e fauna.

Hoje o material mais consumido pela indústria da construção civil é o concreto de cimento Portland, reconhecido como um material verde (compatível com o meio ambiente) com relação aos outros materiais de construção. No entanto, muito precisa ser feito para reduzir o impacto ambiental da indústria do cimento. O cimento Portland, o principal ligante hidráulico usado no concreto moderno, é produto de uma indústria não apenas de uso intensivo de energia (4GJ/t cimento), mas também responsável por grandes emissões de CO<sub>2</sub>. A fabricação de uma tonelada de clínquer de cimento Portland lança perto de uma tonelada de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A produção anual mundial de cimento 1,5 bilhão de toneladas, principalmente de cimento Portland, é responsável por quase 7% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (MEHTA, 1999).

O emprego de pozolanas possibilita a redução de problemas ambientais relacionados ao uso de cimento Portland em concreto, como a grande quantidade requerida de matéria-prima natural (argila e calcário) e elevada montante de gases intensificadores do efeito estufa, sobretudo dióxido de carbono, emitidos para a atmosfera durante sua produção. Diversos materiais pozolânicos, como cinza volante, sílica ativa, metacaulim e cinza da casca de arroz, podem ser utilizados em substituição parcial ao cimento Portland em pastas, argamassas e concretos.

No processo de beneficiamento da cana-de-açúcar o maior subproduto gerado é o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado em larga escala como combustível para as caldeiras para geração de energia que resulta em uma cinza pesada e volante, denominada cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Se for levado em consideração a safra 2011/2012 com um montante de 588,915 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e que todo o bagaço seria utilizado como fonte de energia seriam, então, produzidas aproximadamente 3,4 milhões de toneladas de cinza. O estado do Paraná é responsável por aproximadamente 7% desta produção, processadas em 30 usinas e destilarias de açúcar e álcool (CONAB, 2011).

Durante o processo de queima a cinza pode ser obtida em diferentes fases de acordo com a temperatura de queima, o que determina o surgimento de fases amorfas ou cristalina da sílica, para estabelecer as temperaturas ideais de queima, assim como, às faixas de temperatura que determinam a mudança de condição várias pesquisas têm sido feitas.

A substituição de cimento em torno de 20% por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, queimada em temperaturas inferiores a 700°C, em concretos é perfeitamente viável, uma vez que a mesma não apresenta nenhum efeito adverso às propriedades do concreto, além disto, algumas vantagens específicas podem ser enumeradas: o desenvolvimento de alta resistência inicial, redução à permeabilidade da água e uma considerável resistência à permeabilidade e difusão de cloretos. Porcentagens inferiores apresentam um aumento da resistência à compressão em relação ao traço referência, principalmente nas primeiras idades. Este comportamento se deve à presença de sílica amorfa e ao tamanho das partículas da cinza (GANESAN, RAJAGOPAL e THANGAVEL, 2007).

Para Mehta (1999) o ideal é que os resíduos agrícolas quando utilizados como queimados devem ter como temperatura oscilando entre 400 e 800°C, evitando assim a formação de cristais de sílica, otimizando assim as propriedades reativas das cinzas obtidas nos processos. De acordo com Paula (2006) tanto a forma quanto a quantidade da sílica obtida depende da temperatura de combustão e do tempo de queima.

Na pesquisa realizada por Cordeiro (2006) é feita a simulação de queima sob condições controlada, com temperaturas variando de 400°C e 900°C, mostra que de acordo com o aumento da temperatura de queima ocorre uma progressão da cristalinização dos compostos, indo desde fases amorfas até mesmo a picos pronunciados de cristalinização, sendo que a CBC obtida com queima controlada a 600°C pode ser utilizada como pozolana, apresentando, nestas condições, atividade pozolânica recomendada pelos requisitos da ABNT NBR 12653:1992. Estes resultados demonstram que a temperatura de calcinação é fator determinante para a obtenção de CBC reativas (CORDEIRO, TOLEDO E FAIRBAIRN, 2009). O pesquisador afirma ainda que até 40% do cimento pode ser substituído por CBC (com condições de queima, moagem e granulometria controladas em laboratório) em argamassas sem que ocorram mudanças significativas das propriedades mecânicas, de durabilidade e reológicas.

Ganesan; Rajagopal e Thangavel (2007) verificaram que utilizando uma substituição de 20% do cimento por CBC algumas propriedades do concreto foram melhoradas, como: aumento de resistência, diminuição da permeabilidade, maior resistência à penetração dos cloretos, o que melhora a durabilidade do concreto.

A resistência à compressão do concreto pode ser melhorada com adição da CBC, desde que a queima do bagaço da cana-de-açúcar seja realizada de forma controlada e a cinza obtida assa por um processo de moagem adequado. Segundo, Chusilp, Jaturapitakkul e Kiattikomo (2010), a CBC obtida por queima à 600° C e beneficiada em processo de moagem pode substituir em 20% o cimento em concretos, apresentando excelentes resultados nas primeiras idades. Esta propriedade está ligada ao fato das pequenas partículas da CBC preencher os vazios e espaços anteriormente ocupados por ar, produzindo assim, um concreto mais denso.

Com o avanço nas pesquisas com a CBC e a comprovação de possibilidade de sua utilização como substituto do agregado miúdo e do cimento, quando processada da forma adequada. Cordeiro et al. (2010), analisaram a possibilidade de utilizar a CBC, em caráter industrial, como substituição do cimento e com isto conseguir uma redução na emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> das fábricas de cimento, obtendo-se com isto créditos de carbono. O projeto buscou estimar o potencial de reduções e a viabilidade da obtenção do Certificado de Emissão Reduzida, seguindo para isto a metodologia estabelecida pela Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Foram desenvolvidos algoritmos genéticos que permitiram a otimização dos dados referentes às fábricas de etanol e de cimento do estado de São Paulo. Após as análises, seguindo a metodologia proposta, a redução das emissões estimadas chegou à 519,3kt de CO<sub>2</sub>/ano, para esta região do país. As simulações realizadas demonstraram que a CBC misturada ao cimento, em escala industrial, preenche todas as condições para ser candidata a projetos de Mecanismos para Desenvolvimento Limpo e com isto apresenta potencial para emissão de créditos de redução de CO<sub>2</sub> certificadas.

Lima, Sales e Santos (2010) destacam a importância dos estudos da CBC em adições minerais devido à sua composição física, estado amorfo ou cristalino, podendo apresentar reatividade em meio aquoso com o hidróxido de cálcio, podendo ser utilizado como adição mineral pozolânica em substituição parcial ou total ao cimento Portland.

O objetivo do trabalho é analisar a possível atividade pozolânica da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), o que pode levar este material a ser utilizado como pozolana em adição ao cimento, ou então em concretos como substituição parcial do cimento, contribuindo assim para uma destinação a nível racional deste subproduto, além de colaborar para a diminuição do consumo de cimento Portland.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

#### 2.1.1. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC)

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizada na pesquisa é proveniente da usina termoeletrica da COCAMAR Cooperativa Agroindustrial localizada cidade de Maringá, com temperatura de queima variando entre 600°C e 850°C em dois locais distintos, no fundo da caldeira e na piscina de decantação.

### 2.2. Método

#### 2.2.1. Caracterização da CBC

Para cada uma das amostras foram realizados ensaios de determinação de atividade pozolânica e de Difração de Raios-x.

A atividade pozolânica foi determinada através do Método de Chappelle modificado por Raverdy et al (1980), seguindo a NBR 15895:2010 (Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chappelle modificado), pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPT-SP. Este método possui uma formulação teórica consistente e de execução rápida (CORDEIRO, 2006).

Foram realizados ensaios de Difração de Raios-x, o objetivo deste ensaio é a identificação de fases sólidas (orgânicas e inorgânicas) pelo método do pó, permitindo assim a identificação dos minerais presentes na CBC em relação às suas cristalinidades. O ensaio foi realizado no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Coleta da CBC e preparo das amostras

Foram coletadas 10 amostras de CBC, com temperaturas de queimas diferentes e em dois locais distintos da usina, o multiciclone da caldeira e a piscina de cinzas na da usina termoeletrica da COCAMAR - Cooperativa Agroindustrial localizada cidade de Maringá, estado do Paraná.

A cada troca de temperatura a caldeira e a piscina foram limpas evitando assim a contaminação das amostras por cinzas provenientes de queimas realizadas com outras temperaturas. Para garantir a uniformidade da temperatura foi realizado controle através de um dispositivo da caldeira que mede a temperatura interna da mesma e garante que esta não varie ao longo do processo. Os locais de coleta e as temperaturas de queima constam da Tabela 01.

Tabela 01 – Relação das amostras coletadas

Amostra	Temperatura de Queima (°C)	Local de Coleta
---------	----------------------------	-----------------

01	600	Piscina
02	650	Piscina
03	700	Piscina
04	800	Piscina
05	850	Piscina
06	600	Multiciclone
07	650	Multiciclone
08	700	Multiciclone
09	800	Multiciclone
10	850	Multiciclone

Durante o processo de queima do bagaço um sistema faz a aspersão de água nas chaminés, impedindo assim que a fuligem e a poeira sejam lançadas na atmosfera, a água desta lavagem é conduzida para uma piscina de decantação, ficando assim depositada em seu fundo a CBC proveniente da chaminé. As CBC coletadas no multiciclone são cinzas provenientes do fundo da caldeira e são depositadas diretamente no solo. A Figura 01 mostra a usina termoeletrica, a piscina de cinzas e o multiciclone.



(a)

(b)



(c)

Figura 01 – Termoelétrica (a), Saída do Multiciclone(b), Piscina (c)

Após a coleta as amostras foram levadas ao laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá. As cinzas provenientes da piscina foram secas em estufa com temperatura de 100°C durante 24 horas e as cinzas provenientes do multiciclone foram secas à sombra durante 48 horas. Após o processo de secagem as amostras foram destorradadas em um almofariz com auxílio de um mão de gral revestido de borracha e peneiradas para a retirada de galhos, gravetos, pedras e outras impurezas. Uma das amostras pode ser vista na Figura 2.



Figura 2 – Cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC)

### **3.2. Caracterização da CBC**

As amostras inicialmente foram analisadas em ensaios de atividade pozolânica e difração de raios-x para analisar a possível atividade pozolânica, detectar as fases amorfas e cristalinas e estabelecer a melhor temperatura de queima.

#### *3.2.1. Ensaio de atividade pozolânica*

A atividade pozolânica foi determinada através do Método de Chapelle modificado por Raverdy et al (1980), seguindo a NBR 15895:2010 (Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado), pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPT-SP. Este método possui uma formulação teórica consistente e de execução rápida (CORDEIRO, 2006).

Basicamente o ensaio consiste em colocar 2 g de CaO, 1g do material supostamente pozolânico e 250 ml de água isenta de CO<sub>2</sub> dentro de um frasco e agitá-lo em banho-maria por aproximadamente 16 horas. A quantidade em mg de CaO reagida com 1g do material corresponde ao valor de atividade pozolânica, sendo o consumo de Ca(OH)<sub>2</sub> igual a 436mg/g considerado o mínimo necessário para o material apresentar uma atividade pozolânica considerável.

Os resultados dos ensaios de atividade pozolânica, realizados no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, através do Método de Chapelle modificado por Raverdy et al (1980), seguindo a NBR 15895:2010, constam da Tabela 02.

Tabela 02 – Resultados Ensaio de Atividade Pozolânica

Amostra	Temperatura de Queima (°C)	Local de Coleta	Resultado Atividade pozolânica (mg Ca(OH) <sub>2</sub> /g amostra)
01	600	Piscina	554
02	650	Piscina	461
03	700	Piscina	249
04	800	Piscina	245
05	850	Piscina	256
06	600	Multiclone	223
07	650	Multiclone	387
08	700	Multiclone	359
09	800	Multiclone	189
10	850	Multiclone	194

As Amostras 01 e 02 apresentaram consumo superior a 436mg Ca(OH)<sub>2</sub>/g amostra, o que indica a atividade pozolânica destas amostras.

### 3.2.2. Difração de Raios-x

O ensaio foi realizado no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá, em um difratômetro da marca Shimadzu, modelo D6000, com fonte de Cu 40Kv e 30 mA, filtro de Níquel, num sistema completamente computadorizado, operando a 40 kV e 30 mA (Figura 3a). O objetivo deste ensaio é a identificação de fases sólidas (orgânicas e inorgânicas) pelo método do pó, permitindo assim a identificação dos minerais presentes na CBC em relação às suas cristalinidades. As amostras preparadas antes da realização do ensaio, sendo trituradas com gral e pistilo de porcelana, passados na peneira 0,075mm(#200), conforme pode ser visto na Figura 3.

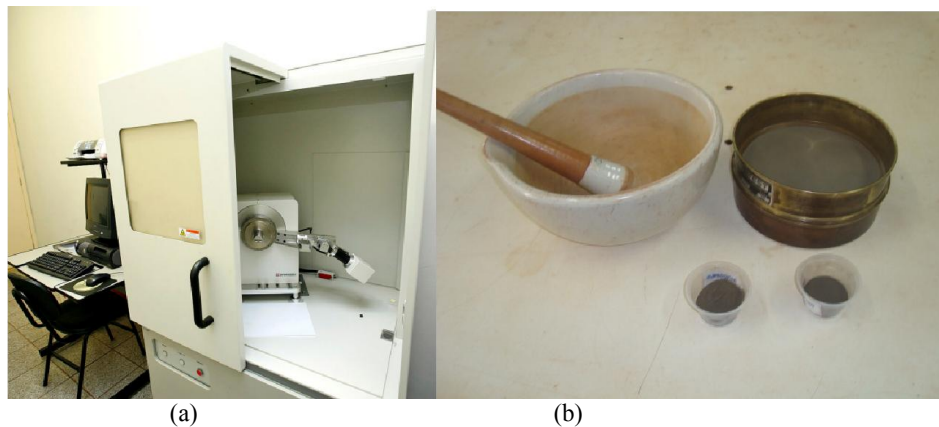
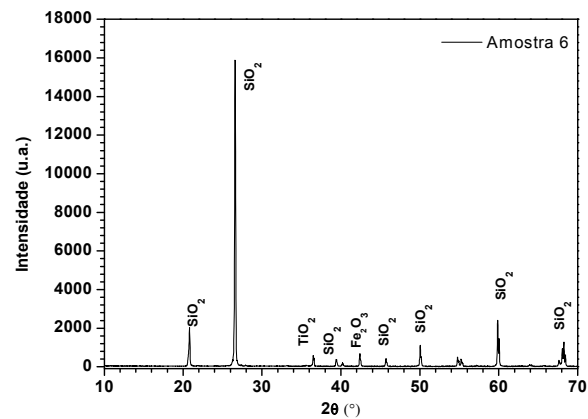
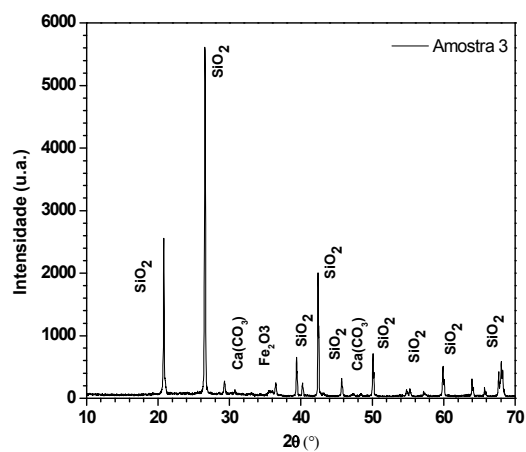
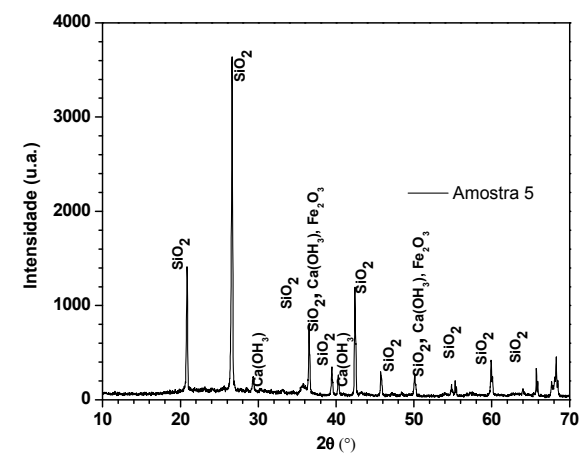
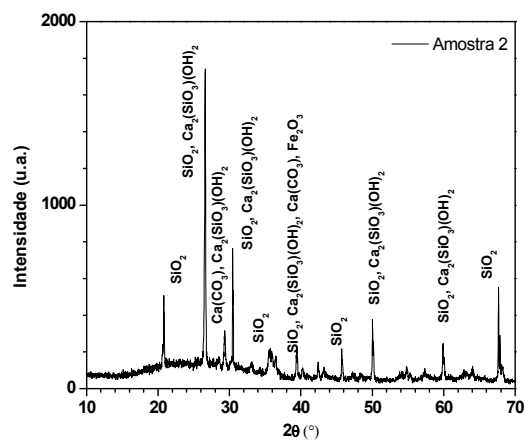
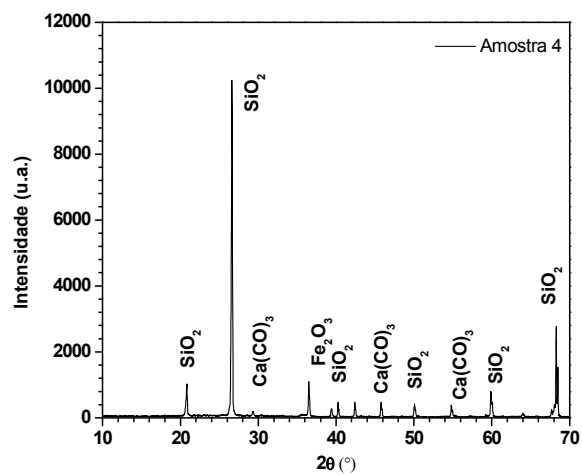
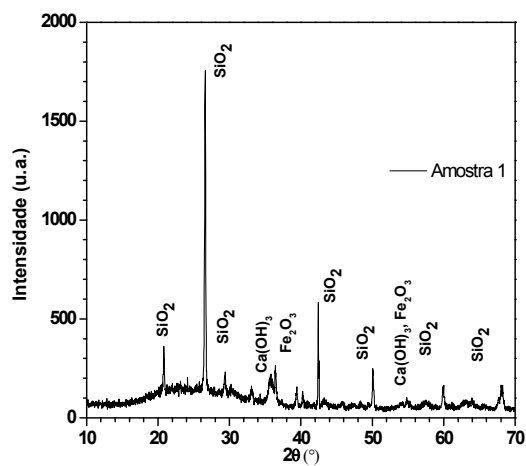


Figura 3 – Difratômetro (a); Pistilo, gral e peneira(b)

A Figura 4 mostra o difratograma de Raios-X das cinzas estudadas.





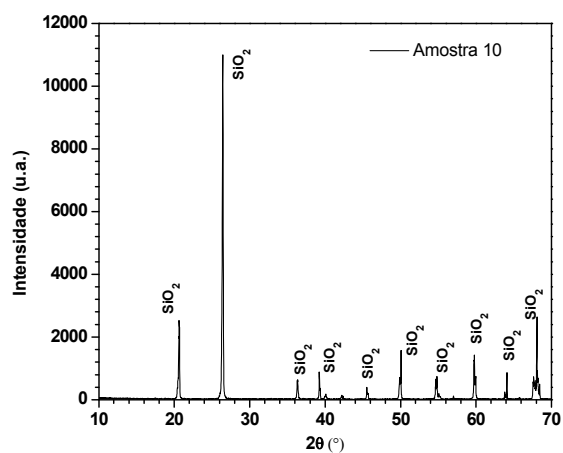
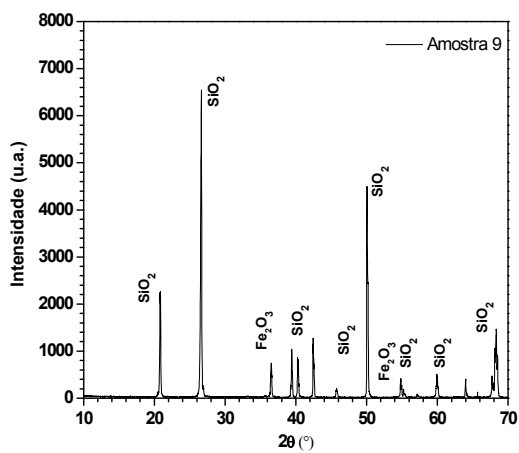
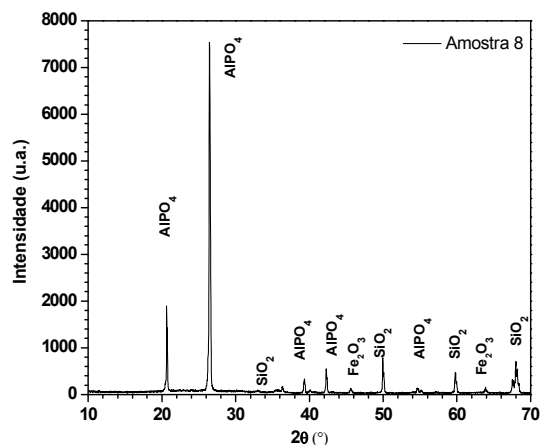
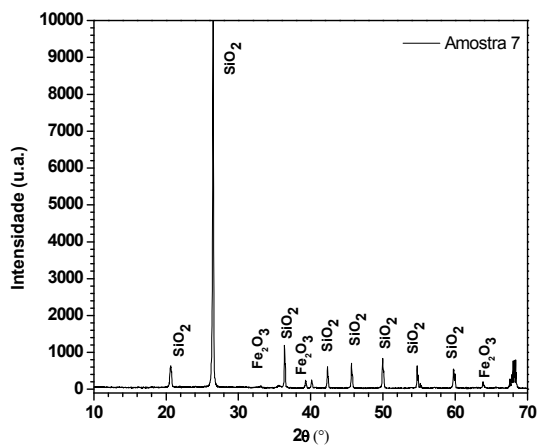


Figura 4 – Digratograma de Raio X das amostras

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios realizados demonstram que a temperatura de queima influencia diretamente nas características de pozolanicidade da CBC, reforçando a afirmação de Cordeiro (2006) de que a quanto maior a temperatura menor a atividade pozolânica. Isto se deve ao fato que em temperaturas elevadas ocorre a formação de cristais de sílica, minimizando assim as propriedades reativas das cinzas obtidas nos processos (MEHTA, 1999).

Os dados obtidos tanto no ensaio de Atividade Pozolânica pelo Método de Chapelle Modificado quanto pela análise dos difratogramas de Raio-X demonstram que as Amostras 01 (600°C) e 02 (650°C) apresentaram atividade pozolânica, enquanto amostras obtidas por queima em maiores temperaturas já não apresentam esta propriedade. É importante ressaltar que estas amostras foram coletadas na piscina, ou seja, são cinzas provenientes do sistema de lavagem dos filtros, extremamente finas. As cinzas coletadas na caldeira com a mesma temperatura não apresentaram esta propriedade, o que poderia levar a conclusão que além da temperatura de queima a granulometria influencia a pozolanicidade.

Algumas variáveis podem ser tornar alvo de estudos para próximas pesquisas, como por exemplo, a influência da variação da temperatura de queima na produção de calor e energia pela caldeira e o que determina a ocorrência de características pozolânicas diferentes para uma mesma temperatura quando da coleta em locais distintos.

Apesar de possuir alguns fatores a serem pesquisadas, pode-se afirmar, com base na pesquisa realizada neste trabalho e em trabalhos de outros autores, que com uma queima controlada seria possível utilizar este produto de uma forma mais racional, como por exemplo, substituindo o cimento em matrizes cimentícias ou então utilizando a CBC como adição ao cimento quando de sua fabricação, como o que já acontece com a escória de alto forno.

#### AGRADECIMENTOS

COCAMAR - Cooperativa Agroindustrial

#### REFERÊNCIAS

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15895:** *Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado.* Rio de Janeiro, 2010.

**CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K.** *Use of bagasse ash as pozzolanic material in concrete.* *Building Materials and Construction*, v.23, 2009, P 3352-3358. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/bulmatcont>>. 2009. Acesso em 15 Jul. 2011.

**CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.** *Acompanhamento da safra brasileira de Cana-de-Açúcar 2011/2012 – Terceiro Levantamento.* 2011. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_12\\_08\\_11\\_00\\_54\\_08.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf)>. Acesso em: 15 Mar. 2011.

**CORDEIRO, G. C.** *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.* 445f. Tese (Doutorado em) – 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 sugarcane bagasse ash.* *Construction and Building Materials*, v.23, 2009. P 3301-3303. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/conbuimat>>. 2009. Acesso em 13 Jul. 2011.

**CORDEIRO, G. C. et al.** *Pozzolanic activity na filler efect of sugarcane bagasse ash in Portland cement na lime mortars.* *Cement & Concret Composites*. 2008. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2008. Acesso em 5 mai. 2011.

**CORDEIRO, G.C. et al.** *Replacement of cement by bagasse ash cane sugar: CO2 and the potential for reducing emissions of carbon credits.* *Journal of Environmental Management*, 91, 2010 p 1864-1871. Disponível em < <http://www.elsevier.com/locate/jorenvman>>.2010. Acesso em 15 Jul. 2011.

**GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K.** *Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material.* *Cement & Concrete Composites*, 29, 2007, p. 515–524. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2007. Acesso em 15 Jul. 2011.

**JOHN, V. M.** *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.* 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

**JCPDS-ICDD** – *International Centre for Diffraction Data (1996).*

**LIMA, S.A.; SALES, A.; SANTOS, T. J.** *Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando o seu uso em argamassas e concretos como substituto do agregado miúdo.* In: *Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. Curitiba. Anais... Curitiba, 2010. INBRACON: CD-ROM.*

**MEHTA, P. K.** *Concrete Technology for Sustainable Development.* 1999. Disponível em: <http://www.ecosmartconcrete.com/kbase/filedocs/trmehta99sustdev.pdf>. Acesso em: 25 Fev. 2012.

**PAULA, M. O.** *Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.* 77f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.