

# **Influência da finura da cinza de biomassa da cana-de-açúcar para a obtenção de pozolana**

**Daniela FERREIRA (1); Marcos dos ANJOS (2); Edilberto BORJA (3)**

(1) Aluna de iniciação científica-PIBIT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, CEP: 59015-000 - Campus Central - Natal, RN – Brasil, e-mail:

[dani\\_dff@hotmail.com](mailto:dani_dff@hotmail.com)

(2) Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, CEP: 59015-000 - Campus Central - Natal, RN – Brasil, e-mail: [marcos.anjos@ifrn.edu.br](mailto:marcos.anjos@ifrn.edu.br)

(3) Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, CEP: 59015-000 - Campus Central - Natal, RN – Brasil, e-mail: [edilbero.borja@ifrn.edu.br](mailto:edilbero.borja@ifrn.edu.br)

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta os resultados iniciais da avaliação da atividade pozolânica da cinza de biomassa da cana-de-açúcar (CBC), com três diferentes finuras, através de técnicas de fluorescência de raios X (FRX), difração de raios-X (DRX) e resistência à compressão de argamassas produzidas com essas cinzas. Para isto, o resíduo da biomassa da cana-de-açúcar (RBC) foi beneficiado através de peneiramento da cinza residual, moagem por 1 hora e 30 minutos e moagem por 3 horas e 30 minutos, obtendo-se assim as três finuras distintas. As cinzas beneficiadas passaram pelo processo de caracterização por FRX e DRX, sendo em seguida produzidas argamassas de acordo com a NBR 5752 para avaliar o índice de atividade pozolânica (IAP) das cinzas. As cinzas foram classificadas como pozolanas classe E de acordo com as exigências químicas da NBR 12653.

**Palavras-chave:** cinza da biomassa da cana-de-açúcar, fluorescência de raios X, difração de raios-X, atividade pozolânica.

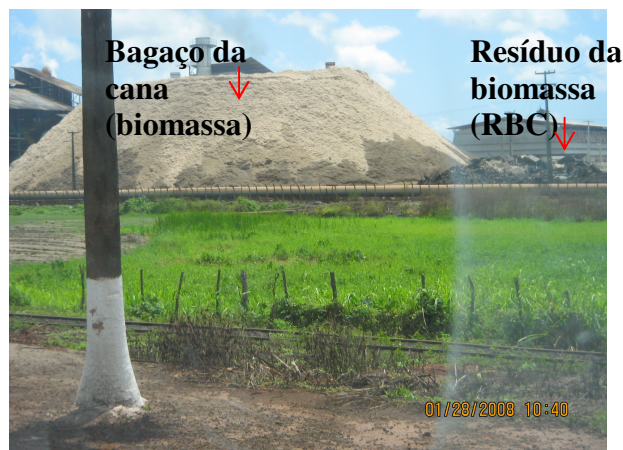
## **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, essa atividade econômica é uma das mais antigas do país e tem o Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste como as principais regiões de cultivo, permitindo duas safras da cultura por ano. Portanto, o Brasil produz açúcar e etanol, tanto para o mercado interno quanto externo, durante todo o ano (ÚNICA, 2004).

Recentemente, os resíduos de biomassa da cana-de-açúcar da indústria sucroalcooleira têm despertado interesse devido a sua disponibilidade crescente, visto a expansão da demanda por combustíveis menos poluentes e energias renováveis como as geradas pela biomassa. A safra brasileira de cana-de-açúcar em 2006/2007 foi de 428 milhões de toneladas (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2007).

O resíduo de biomassa da cana-de-açúcar apresenta em sua composição alto teor de sílica, o que o torna uma fonte suplementar de aditivo mineral e pozolana para a produção de materiais cimentícios. O Rio Grande do Norte produz, a cada safra, cerca de 11 mil toneladas de resíduo de biomassa da cana-de-açúcar (RBC), na forma de cinza, figura 1, podendo esta cinza ser utilizada como aditivo mineral para produção de pozolana para a construção civil e para a indústria de cimentação de poços (ANJOS, 2009).

Além do aumento contínuo da disponibilidade da cinza de biomassa da cana-de-açúcar, a preocupação com o meio ambiente também é responsável pelo interesse na utilização deste resíduo, pois o emprego de resíduos na produção de materiais cimentícios, pode reduzir o uso de cimento e consequentemente o consumo energia e a emissão de gases poluentes como o CO<sub>2</sub>, oriundo da fabricação do cimento.



**Figura 1 – Bagaço da cana-de-açúcar para utilização como biomassa nas caldeiras da Usina Estivas e RBC.**

Desta forma, além dos benefícios que este resíduo pode proporcionar ao desempenho dos materiais cimentícios, busca-se também o aproveitamento do resíduo da biomassa da cana-de-açúcar como forma de diminuição do impacto ambiental e dos custos na produção destas misturas.

Devido a grande produção de resíduos sólidos as novas tecnologias se tornam fundamentais para que se possa explorar e avaliar as características desses materiais (PAYA, *et al*, 2003). Neste contexto o presente trabalho visa contribuir para o entendimento das propriedades químicas das cinzas provenientes da biomassa da cana-de-açúcar e posteriormente o entendimento dos mecanismos de hidratação das misturas cimentícias contendo este material.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992) materiais pozzolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos, que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando finamente divididos e na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Essa norma classifica as pozolanas naturais como os materiais de origem vulcânica ou de origem sedimentar com teor de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) maior que 65%, e as pozolanas artificiais como materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico, determinando-se a pozzolanicidade do material através do índice de atividade pozzolânica com o cimento, de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 1992) e pela atividade pozzolânica com a cal, de acordo com a NBR 5753 (ABNT, 1992).

As pozolanas são constituídas basicamente de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) na forma não cristalina, com algum teor de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). São classificadas pela NBR 12653 (ABNT, 1992) nas classes N, C e E, de acordo com as exigências químicas e físicas apresentadas nas tabelas 1 e 2. Os materiais vulcânicos, *cherts* silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas são classificadas na classe N, as cinzas volantes produzidas pela queima do carvão vegetal estão na classe C e os outros materiais pozzolânicos cujos requisitos diferem das anteriores são englobados na classe E.

**Tabela 1 - Exigências químicas para as pozolanas segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992)**

Propriedades	Classes de material pozzolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , % mínima	70	70	50
$\text{SO}_3$ , % máxima	4	5	5
Teor de umidade, % máxima	3	3	3
Perda ao fogo, % máxima	10	6	6
Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2$ , % máxima	1,5	1,5	1,5

**Tabela 2 - Exigências físicas para as pozolanas segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992)**

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 µm, % máx.	34	34	34
Índice de atividade pozolânica:			
- com o cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	75	75	75
- com a cal aos 7 dias, em relação ao controle, em MPa	6,0	6	6
- água requerida, % máx.	115	110	110

Os materiais pozolânicos reagem com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), através da reação apresentada na equação 1, onde o C-S-H é o silicato de cálcio hidratado. O C-S-H não é um composto bem definido podendo assumir variadas estequiometrias, dependendo da relação  $\text{CaO/SiO}_2$  da mistura, dos aditivos empregados, do teor de água quimicamente combinada, da temperatura e pressão imposta durante a hidratação (TAYLOR, 1990).



A reação pozolânica tem grande importância nas propriedades físicas e mecânicas dos produtos cimentícios, pois é uma reação lenta que afeta o processo de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, contribui para a durabilidade da pasta endurecida de cimento frente a ataques ácidos devido à ação química (reação pozolânica) e a ação física das pozolanas no preenchimento dos espaços e obstrução dos poros capilares grandes, proporcionando um refinamento do diâmetro dos poros, melhorando assim a resistência e diminuindo a permeabilidade do sistema (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Desta forma, a reação pozolânica que ocorre durante o período de hidratação do cimento Portland podendo ser avaliada diretamente através da análise de difração de raios-X e indiretamente por técnicas termogravimétricas e resistência a compressão (MONTANHEIRO *et al.* 2002).

Assim, essas técnicas podem ser utilizadas na avaliação de materiais cimentícios com adições minerais, já que os compostos formados pela hidratação do cimento e pela reação pozolânica tem uma composição bastante semelhante. Sendo possível a análise da influência dessas adições na quantidade de água quimicamente combinada com os compostos hidratados.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

Foram utilizados dois tipos de agregado miúdo, pois se pretende fazer uma comparação entre os traços de referência produzidos com a areia normal e a areia grossa, verificando se há diferenças significativas nas características dessas duas misturas ao final dos 28 dias. Além disso, também serão utilizadas cinzas com de três diferentes finuras, para avaliar a influência de cada uma na atividade pozolânica. A tabela 3 descreve todos os materiais que serão utilizados.

**Tabela 3 – Materiais utilizados**

Material	Descrição
Aglomerante	Cimento Portland CP II-F 32
Agregado miúdo	Areia Normal
	Areia Grossa

Adição	RBC1 - Sem Moagem
	RBC2 - Moagem de 1h30min.
	RBC3 - Moagem de 3h30min

**Tabela 4 – Composição química do Cimento Portland CP II-F 32 por fluorescência de raios X**

Composição	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Teor (%)	83,54	7,32	3,66	3,54	1,33	0,41

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Caracterização dos materiais

A caracterização dos materiais é de fundamental importância para uma dosagem adequada dos traços. Os métodos de ensaios adotados para a caracterização dos materiais constam na tabela 5.

**Tabela 5 - Métodos de ensaios para a caracterização dos materiais**

Determinação	Norma
Determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco Chapman	NBR 9776/1987
Massa Específica do Cimento e do RBC por meio do Frasco de Lê Chatelier	NBR 6474/84

Os resíduos de biomassa foram peneirados, a fim de que este material tenha características físicas próximas as do cimento, já que substituirá parte deste aglomerante. As cinzas submetidas ao processo de moagem passaram na peneira de abertura 0,075 mm (200 mesh), já a cinza sem moagem foi passada na peneira de abertura 0,150 mm (100 mesh).

### 3.2.2 Preparação das argamassas

Todas as argamassas foram preparadas em um misturador de argamassa de acordo com a NBR 5752/1992 nas proporções estabelecidas nas tabelas 6.

**Tabela 6 – Traços das argamassas produzidas com cimento Portland CP II-F 32**

Material	Massa necessária (g)				
	Argamassa de Referência (areia grossa) - ArgAG	Argamassa de Referência (areia normal) - ArgAN	Argamassa Cinza sem moagem - ArgSM	Argamassa Cinza 1h30min – Arg130	Argamassa Cinza 3h30min- Arg330
Cimento Portland	312	312	202,8	202,8	202,8
CBC	-	-	85	91,9	92,3
Areia	936	936	936	936	936
Água	175	175	192	186	196
Espalhamento	230	220	227	225	225

Para a produção das argamassas os materiais são misturados na argamassadeira acrescentando-se água aos poucos para a obtenção do fator água/cimento necessário para um espalhamento de  $225 \pm 5$  mm. Após o

amassamento, são moldados corpos de prova, que ficam no interior dos moldes cilíndricos (50 mm x 100 mm) durante 24h. Decorrido este período a argamassa é retirada do molde e colocada em cura a 38°C por 27 dias, para argamassas, após este procedimento os corpos de prova são rompidos à compressão, adicionalmente serão retiradas amostras para ensaios de DRX e TG.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resíduos de biomassa foram peneirados e moídos, a fim de se obter três finuras diferentes para este material. As cinzas submetidas ao processo de moagem passaram na peneira de abertura 0,075 mm (200 mesh), já a cinza sem moagem foi passada na peneira de abertura 0,150 mm (100 mesh), após a moagem e peneiramento foram determinadas as massa específica dos materiais, os resultados contam na tabela 7, onde se pode verificar que o processo de moagem proporciona um aumento na densidade da cinza proveniente do RBC, pois a cinza sem moagem apresenta ainda uma quantidade significativa de bagaço não queimado.

**Tabela 7 – Massas Específicas dos materiais**

<b>Material</b>	<b>CP II-F 32</b>	<b>Cinza Sem Moagem</b>	<b>Cinza 1h30min</b>	<b>Cinza 3h30min</b>
Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	2,94	2,34	2,48	2,49

Os resultados das fluorescências das cinzas estão discriminados nas tabelas 8. Após a realização desse ensaio foi possível determinar, devido a sua composição, que o resíduo de biomassa da cana-de-açúcar atende aos requisitos da NBR 12653 para um material pozolânico, sendo classificada quanto a composição química na classe E.

No entanto, é importante verificar que este não é o único requisito da norma 12653 para classificação do material como pozolana, existem ainda as exigências físicas, onde os principais parâmetros são os índices de atividade pozolânica (IAP) com a cal e o cimento. Porém críticas são feitas aos métodos mecânicos para avaliação da atividade pozolânica, uma vez que esta é uma reação química e não pode ser detectada por estes métodos mecânicos, sendo sempre necessária uma confirmação por técnica de difração de raios X, pois como determinado por Anjos (2009) materiais compostos por sílica cristalina como areias muito fina podem atender ao índice de atividade pozolânica com o cimento, de acordo com a norma 12653, no entanto não são capazes de reagir o teor de hidróxido de cálcio.

**Tabela 8 – Composição química por fluorescência de raios X das cinzas e classificação de acordo com a NBR 12653**

<b>Composição</b>	<b>Cinza Sem Moagem</b>	<b>Cinza 1h30min</b>	<b>Cinza 3h 30min</b>	<b>Requisitos NBR 12653: pozolana classe E</b>
SiO <sub>2</sub>	68,645	80,529	72,694	> 50%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,054	11,646	9,609	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	6,910	
K <sub>2</sub> O	10,899	3,029	4,708	-
CaO	4,487	1,698	2,836	-
SO <sub>3</sub>	3,059	1,295	0,915	< 5%
Na <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,000	< 1,5%

As argamassas foram preparadas para determinação do IAP com o cimento, porém estão em cura, pois o tempo necessário para que a hidratação fosse realizada ainda não foi atingido (28 dias), não sendo possível romper os corpos de prova.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a composição química as cinzas de biomassa da cana-de-açúcar analisadas neste trabalho podem ser classificadas como pozolana classe E.

As argamassas estão em fase de cura, para após 28 dias serem realizados os ensaios de compressão e determinação do IAP e as análises da hidratação das argamassas por DRX.

Críticas são feitas aos métodos mecânicos sugeridos na NBR 5752, por entender que apenas a resistência mecânica não é suficiente para avaliar a atividade pozolânica de um material, pois não se detecta efetivamente a formação do silicato de cálcio hidratado a partir da reação do material supostamente pozolânico com o hidróxido de cálcio, assim os métodos mecânicos deveriam ser utilizados de forma complementar.

## 6 AGRADECIMENTOS

A Pró-reitoria de Pesquisa e Inovação do IFRN, Campus Central – Natal, pelo apoio financeiro e a Usina Estivas, localizada no município de Arez – RN, que gentilmente cedeu o resíduo de biomassa da cana-de-açúcar, pois sem esses apoios a pesquisa não poderia ser realizada.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, M. A. S. **Adição do resíduo de biomassa da cana-de-açúcar em pastas para cimentação de poços petrolíferos produtores de óleos pesados**. Natal: PPGCEM/UFRN, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Especificação, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com a cal, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

MEHTA, P. Kumar, MONTEIRO, P. J. **Concreto - estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MONTANHEIRO, T. M., YAMAMOTO, J. K., & KIHARA, Y.. **Características e propriedades pozolânicas de arenitos opalinos da serra de Itaqueri, SP**. Revista do Instituto Geológico 23, 13-24, 2002.

PAYA, J., J. MONZO, M. V. BORRACHERO, S. VELÁZQUEZ, e M. BONILLA. **Determination of the pozzolanic activity of fluid catalytic cracking residue. Thermogravimetric analysis studies on FC3R–lime pastes**. Cement and Concrete Research 33, 1085–1091, 2003.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2007. <http://www.agricultura.gov.br> (acesso em 30 de Maio de 2008).

TAYLOR, H. F. (1990). **Cement Chemistry**. London: Academic Press, 1997.

ÚNICA. *ÚNICA* - **União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo**. 2004.  
[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br) (acesso em novembro de 2008).