

## **AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TIJOLO SOLO-CIMENTO**

Mateus Carvalho Amaral; José Nilson França de Holanda

*Universidade Estadual do Norte Fluminense*

**Resumo:** Neste trabalho, o resíduo de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) foi submetido à caracterização tecnológica e avaliado quanto à viabilidade de ser incorporado na composição da mistura solo-cimento, em substituição parcial do cimento, para ser empregado como um novo material cimentício, mais especificamente na fabricação de tijolos solo-cimento. Corpos de prova cilíndricos de solo-cimento, contendo 0%, 10%, 20% e 30% em peso de resíduo de CBC em substituição ao cimento, e com teor de umidade de 16%, foram fabricados por prensagem uniaxial. Foi utilizada uma carga de duas toneladas e os procedimentos descritos na NBR 12024 (1992) - Solo-cimento - Método A. Os corpos de prova resultantes foram submetidos ao processo de cura em câmara úmida por 28 dias. Depois de curados, foram caracterizados em termos de resistência à compressão simples, absorção de água, massa específica aparente e variação dimensional. Os resultados mostraram que a incorporação de resíduo de CBC reduziu a resistência à compressão e absorção de água das misturas. Já a densificação da mistura não foi influenciada pela incorporação. Pode ser visto que todos os traços estudados são viáveis para a fabricação do tijolo solo-cimento de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 10834 (2013) - Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Portanto, a incorporação de resíduo de CBC em mistura solo-cimento é muito atraente para produção de solo-cimento, porque contribui com a diminuição da poluição causada por este abundante resíduo e ainda promove uma redução no custo do produto final.

**Palavras-chave:** Solo-cimento, Tijolo, Incorporação.

## **EVALUATION OF INCORPORATION OF SUGARCANE BAGASSE ASH IN SOIL-CEMENT BRICK**

**Abstract:** In this work the sugarcane bagasse ash was submitted to technological characterization and evaluated for viability to be incorporated into of soil-cement mixture in partial replacement of cement to be used as a new cementitious material, more specifically in the manufacture of soil-cement

bricks. Soil-cement cylindrical specimens containing up to 30 wt.% of sugarcane bagasse ash were prepared by uniaxial pressing using a load of 2 tons. The specimens were subjected to a process of curing for 28 days. The cured specimens were characterized in terms of simple compressive strength, water absorption, and apparent specific mass. The results showed that all the studied traces are feasible to manufacturing of soil-cement bricks in according to NBR 10834 Norm criteria – hollow block of soil-cement without structural function. Although the incorporation of sugarcane bagasse ash into soil-cement mixture is very attractive for the manufacturing of soil-cement brick, as well as result in technical benefits, it contributes to reduction of pollution caused by this abundant waste and also promotes a reduction in the cost of the final product.

**Keywords:** Brick, Soil-cement, Incorporation.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais têm nos forçado a adquirir novos conceitos em que se buscam soluções técnicas que visem à sustentabilidade de suas atividades (SOUZA, 2011). Sendo assim, o setor de cerâmica se revela como uma alternativa na busca da valorização e aproveitamento de grande quantidade de materiais descartados, de diversos tipos e origens, quando comparado aos métodos tradicionais. Em muitos casos, existe ainda a possibilidade de trazer vantagens técnicas e redução do custo do produto final.

Uma das principais razões que tornam o setor cerâmico atrativo para absorver resíduos poluentes é a disponibilidade da indústria cerâmica, particularmente do setor de materiais cerâmicos para construção civil. Pode ser dito também que a economia de matérias-primas naturais, as poucas modificações no processo produtivo, a larga variabilidade da composição química e mineralógica e a possibilidade de inertização do resíduo poluente na matriz cerâmica têm contribuído para este cenário (FREIRE et. al., 2008).

O Brasil é considerado o maior produtor de açúcar e álcool do mundo. A atividade sucroalcooleira tem sido ao longo dos últimos cem anos uma das principais fontes de riqueza da região Norte-Fluminense. Porém, o processo produtivo das usinas de álcool e açúcar gera grandes quantidades de bagaço de cana, que geralmente é prensado e queimado pelas usinas na produção de

energia. Este processo produz um abundante resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), que muitas vezes é descartado de maneira incorreta no meio ambiente (PARANHOS, 2010).

Desta forma, este estudo analisa a viabilidade de incorporar o resíduo de cinza de bagaço de cana-de-açúcar numa mistura de solo-cimento, a fim de oferecer mais uma opção de destino final para este resíduo. Além disso, analisa também a viabilidade do uso deste novo material cimentício na fabricação de tijolo solo-cimento.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

O tijolo solo-cimento é um material cimentício que é definido como um bloco de solo comprimido, obtido pela mistura, em proporção adequada, de solo, cimento e água, devidamente prensada.

No Brasil, o solo-cimento foi inicialmente empregado na confecção de bases e sub-bases de pavimentos de estradas. Posteriormente, começou a ser utilizado em construções de residências. Em 1949, foi construído o Hospital Adriano Jorge, do Serviço Nacional de Tuberculose, em Manaus, edifício com 10.800 m<sup>2</sup> ainda em funcionamento (FIQUEROLA, 2004).

Apesar de seu baixo custo e propriedades tecnológicas adequadas, somente por volta de 1978 o tijolo solo-cimento começou a ser amplamente utilizado no Brasil na construção de moradias. Um dos motivos foi que o antigo BNH aprovou o uso desse tipo de tijolo para construção de habitações populares. Na época, estudos feitos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e pelo CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) comprovaram que, além do bom desempenho termoacústico e de minimizar os danos ambientais, o tijolo de solo-cimento aplicado na construção de moradias levava a uma redução do tempo e de custos, de 20 % a 40 %, se comparado com a alvenaria tradicional (FIQUEROLA, 2004).

O tijolo solo-cimento é considerado como ecológico porque sua produção dispensa a etapa de queima, o que elimina o uso de óleo combustível ou madeira. Isto evita a emissão de grandes quantidades de gases causadores

do efeito estufa no ambiente e o desmatamento. Por outro lado, a fabricação de mil tijolos cerâmicos tradicionais consome cerca de 120 kg de óleo combustível ou cinco árvores de médio porte (FIQUEROLA, 2004). Além disso, por ser utilizado à vista, não é necessário o uso de chapisco, emboço e reboco, diminuindo o desperdício de matéria-prima. Ele também possui furos que ficam sobrepostos no assentamento, formando dutos por onde são passados os fios e as tubulações, o que evita rasgos nas paredes, reduzindo o volume de entulho gerado.

O cimento é um dos componentes do tijolo ecológico; logo, não se deve ignorar o alto consumo de energia gasto para a fabricação do cimento, além de suas implicações ambientais. Porém esta energia ainda é inferior à que seria gasta com a queima de tijolos cerâmicos, além do fato de que o cimento é usado em pequenas proporções (PISANI, 2004). Por outro lado, existe a possibilidade de que a incorporação de certos resíduos reduza ainda mais a quantidade necessária de cimento na composição deste produto.

A crescente preocupação com o meio ambiente, o fato de os recursos naturais serem finitos, a busca por arquiteturas mais sustentáveis, a possibilidade de reciclagem de resíduos, redução de custos, além de outros fatores, faz com que este tijolo solo-cimento venha a ser, cada vez mais, atrativo para a construção civil.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas envolvidas neste trabalho.



**Figura 1.** Fluxograma do procedimento experimental que foi utilizado para produção e caracterização da mistura de solo-cimento.

As matérias-primas utilizadas foram:

- Solo Arenoso: coletado na empresa Artercerâmica Sardinha, localizada na região de Campos dos Goytacazes-RJ;
- Cimento Portland do tipo CP III – 40RS;
- Água;
- Resíduo de CBC: coletado como rejeito da usina Sapucaia, indústria de açúcar e álcool localizada na região de Campos dos Goytacazes - RJ. O resíduo de CBC *in natura* foi submetido ao processo de beneficiamento. Inicialmente passou pelo processo de secagem e depois moagem. Finalmente, o resíduo de CBC cominuído foi submetido ao peneiramento à fração < 200 mesh, utilizando a peneira n° 200 ASTM (75 µm).

A composição química do resíduo de CBC foi determinada em termos de óxidos via técnica de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDX), perda ao fogo a 1000°C, teor de umidade e teor de matéria orgânica.

A Tabela 1 apresenta a composição dos traços estudados. Foi utilizada uma mistura de solo-cimento padrão (traço A<sub>0</sub>), constituído de nove partes de solo para uma de cimento (9:1). O resíduo de CBC foi usado em substituição parcial ao cimento Portland nas proporções de 10% (traço A<sub>10</sub>), 20% (traço A<sub>20</sub>) e 30% (traço A<sub>30</sub>).

As misturas de solo-cimento foram umedecidas com 16% de água em relação à massa total (192 g).

**Tabela 1.** Composição dos traços utilizados na produção dos corpos de prova.

Traço	Solo (g)	Cimento (g)	Resíduo (g)	Total (g)
A <sub>0</sub>	1.080	120	0	1.200
A <sub>10</sub>	1.080	108	12	1.200
A <sub>20</sub>	1.080	96	24	1.200
A <sub>30</sub>	1.080	84	36	1.200

Para cada traço, foram fabricados 10 corpos de prova, seguindo os procedimentos da norma ABNT NBR 12024 (2012) – Solo-cimento – Método A.

Foram estudadas as propriedades de resistência à compressão e absorção de água dos corpos de prova fabricados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 2 é apresentada a composição química e perda ao fogo do resíduo de CBC. Pode ser visto que ele é constituído principalmente por SiO<sub>2</sub> (49,19%), seguido por quantidades significativas de CaO, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Porém, a quantidade de sílica encontrada no resíduo utilizado está abaixo da faixa encontrada na literatura, que é acima de 60% em peso de sílica. Isto pode ser resultado do tipo de solo da região de cultivo da cana-de-açúcar (CORDEIRO, 2009). E a soma dos percentuais de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> estão abaixo do valor mínimo de 70% exigido pela NBR 12653 (2012) – Materiais pozolânicos.

Ainda, a perda ao fogo do resíduo foi relativamente alta, da ordem de 9,17% em peso. Este valor está próximo ao valor máximo de 10,0% permitido pela NBR 12653 (2012). Esta perda ao fogo pode estar relacionada à presença de matéria orgânica na amostra de resíduo de CBC estudado, que é de 10,32%.

Tabela 2. Composição química do resíduo de CBC.

Óxidos	Resíduo de CBC utilizado (%)	Teixeira et. al. (2008) (%)	Borlini et. al (2006) (%)	Freitas (2005) (%)
SiO <sub>2</sub>	49,19	85,58	77,5	83,1 / 65,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,97	5,25	4,70	5,1 / 13,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,73	1,31	3,80	2,6 / 4,1
SO <sub>3</sub>	1,73	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	0,95	0,32	0,30	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,03	0,54	2,30	-
CaO	10,02	2,08	2,30	1,9 / 3,5
MnO	0,20	0,08	0,30	-
K <sub>2</sub> O	9,47	3,46	5,40	4,5 / 8,1
ZrO <sub>2</sub> + SrO + ZnO + V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	-	-	-
P.F.(1000 °C)	9,17	-	-	-

PF = perda ao fogo

Na Figura 1, é apresentado o comportamento da resistência à compressão, em função do teor de resíduo de CBC incorporado para os corpos de provas ensaiados após os 28 dias de cura. Este é o tempo de cura recomendado para ensaio dos corpos de prova, visando ao seu emprego em tijolos solo-cimento, pois nesta idade o cimento praticamente completa a sua hidratação e atinge a resistência máxima. Nesta figura é apresentado o valor mínimo médio de resistência à compressão ( $\geq 2,0$  MPa), de acordo com a norma NBR 10834 (2013).

Na Figura 2, são apresentados os menores valores individuais de resistência à compressão, obtidos em função do teor de resíduo de CBC para os corpos de provas ensaiados após os 28 dias de cura. Nesta figura é apresentado o valor mínimo de resistência à compressão individual ( $\geq 1,7$  MPa), de acordo com a norma NBR 10834 (2013).

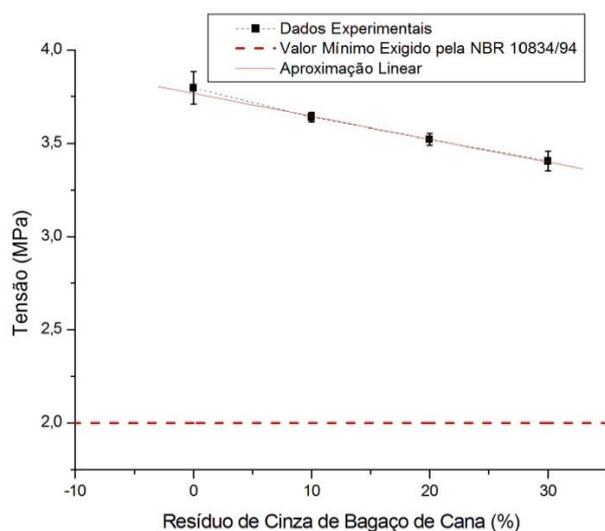


Figura 1. Resistência à compressão média *versus* porcentagem de resíduo de CBC incorporada dos corpos de prova cilíndricos aos 28 dias de cura.

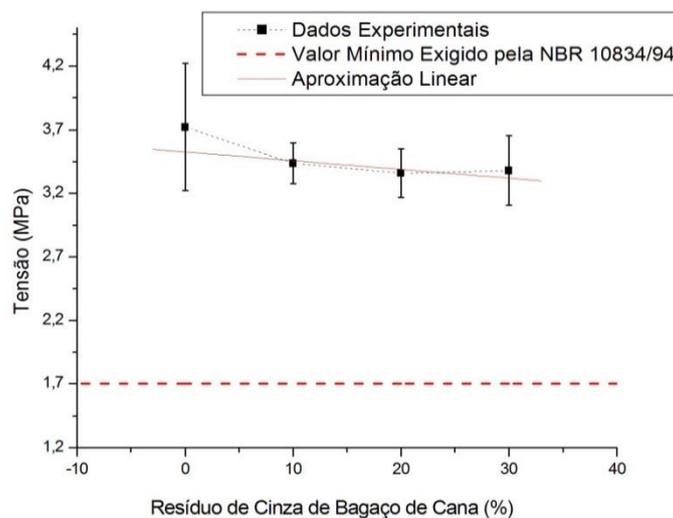


Figura 2. Menores valores de resistência à compressão individual *versus* porcentagem de resíduo de CBC incorporada dos corpos de prova cilíndricos aos 28 dias de cura.

Pode ser visto que, quanto maior a adição de resíduo CBC em substituição ao cimento Portland, a resistência mecânica diminui. Isto ocorre porque há redução da quantidade de cimento no traço, e o cimento é que promove o aumento de resistência da mistura. Por outro lado, os resultados das Figuras 4.1 e 4.2 também mostram que todos os corpos de prova apresentaram valor de resistência à compressão média e individual acima do estabelecido pela norma NBR 10834 (2013), independentemente do traço utilizado.

Na Figura 3, é apresentado o comportamento da absorção de água (porosidade aberta), em função do teor de resíduo incorporado para os corpos de provas ensaiados após os 28 dias de cura. Nesta figura, é também apresentado o valor máximo médio permitido de absorção de água ( $\leq 20\%$ ) de acordo com a norma NBR 10834 (2013).

Na Figura 4, é apresentado um gráfico com os maiores valores individuais de absorção de água obtidos em função do teor de resíduo de CBC para os corpos de provas ensaiados após os 28 dias de cura. Nesta figura, é apresentado o valor máximo de absorção de água individual ( $\leq 22\%$ ) de acordo com a norma NBR 10834 (2013).

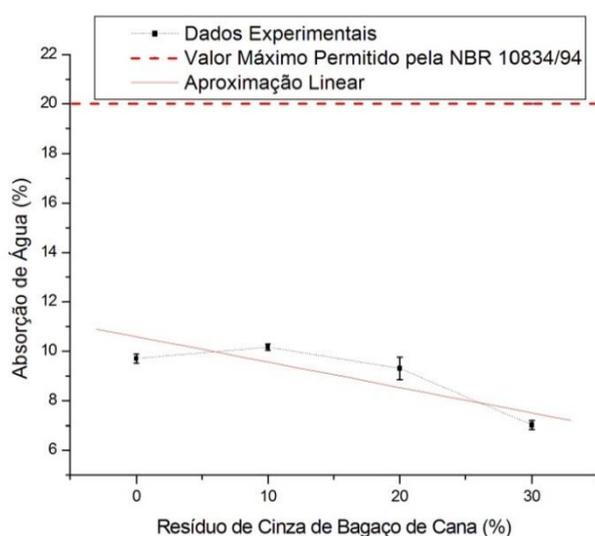


Figura 3. Absorção de água média versus porcentagem de resíduo de CBC incorporada dos corpos de prova cilíndricos após 28 dias de cura.

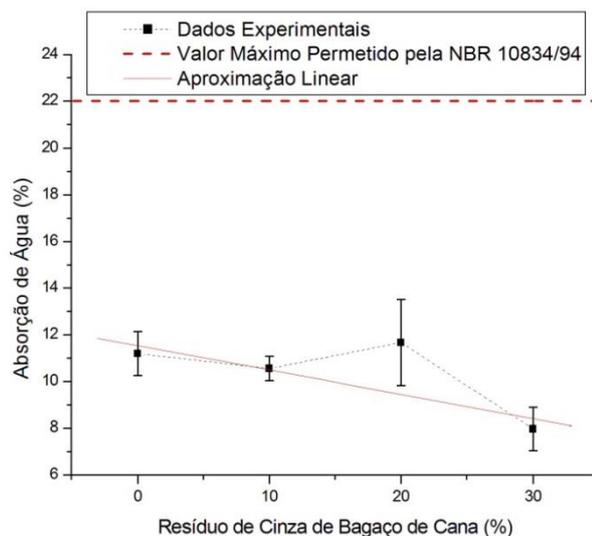


Figura 4. Maiores valores de absorção de água individual obtidos no ensaio *versus* porcentagem de resíduo de CBC incorporada dos corpos de prova cilíndricos após 28 dias de cura.

Nas Figuras 3 e 4 pode ser observado que todos os traços estudados após 28 dias de cura apresentaram valores de absorção de água médios e individuais dentro do estabelecido pela NBR 10834 (2013). Pode ser notado que, com o aumento da adição de resíduo de CBC, ocorreu uma diminuição no valor de absorção de água. Este comportamento é mais bem visualizado no ajuste linear dos dados experimentais traçado nestas figuras.

### **Considerações Finais**

A partir dos resultados experimentais obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- O resíduo de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) utilizado é constituído, do ponto de vista químico, principalmente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e quantidades significativas de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e quantidade considerável de matéria orgânica (10,32 %), apresentando uma perda ao fogo de 9,17 %;
- A incorporação de resíduo de CBC na mistura solo-cimento resultou em uma menor resistência à compressão e uma menor absorção de água;
- Todos os traços fabricados apresentaram valores, médios e individuais, de resistência à compressão e absorção de água dentro das faixas estabelecidas pela norma NBR 10834 (2013) para produção de tijolo solo-cimento;
- O resíduo de CBC pode ser utilizado como matéria-prima alternativa de baixo custo em substituição parcial do cimento na produção de tijolos solo-cimento. Isto porque, além de ser uma nova alternativa para reuso deste abundante resíduo, a incorporação resulta em vantagens técnicas e ainda promove uma redução no custo do produto final.

**REFERÊNCIAS:**

- 1- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos**: NBR 12653. Rio de Janeiro, 2012.
- 2- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos**: NBR 12024. Rio de Janeiro, 2012.
- 3- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de solo-cimento. Especificação. Método de ensaio**: NBR 10834. Rio de Janeiro, 2013.
- 4- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e a absorção de água. Método de ensaio**: NBR 10836. Rio de Janeiro, 2013.
- 5- BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO / CEPED. **Tijolos maciços de solo-cimento: fabricação e utilização**. Rio de Janeiro, 1985. 20 p. ilustr.
- 6- BORLINI, M. C.; MENDONÇA, J. L. C. C.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Influência da temperatura de sinterização nas propriedades físicas, mecânicas e macroestruturais de cerâmica vermelha incorporada com cinza de bagaço de cana-de-açúcar. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 433-441, 2006.
- 7- FIQUEROLA, V. Alvenaria de solo-cimento. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 85, 2004.
- 8- FREIRE, M.N.; SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F. **Using eggshell in red wall tiles**. *Waste and Resource Management*, n. 161, p. 23-27, 2008.
- 9- FREITAS, E. S. **Caracterização de cinza de bagaço da cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF. Campos dos Goytacazes, RJ, 2005. 97 p.
- 10- PARANHOS, R. J. S. **Aproveitamento de resíduos de cinzas da cana de açúcar em massas cerâmicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010. 98 p.
- 11- SOUZA, T. I.; CARDOSO, A. V. **Utilização de Resíduos Sólidos da Indústria de Celulose Kraft na Fabricação de Cimento**:

**Caracterização Físico-Química**, 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto de Galinhas, PE, 2008.

- 12-TEIXEIRA, R. S.; SOUZA, A. E.; SANTOS, G. T. A.; PENA, A. F. V. Sugarcane bagasse ash as a potential quartz replacement in red ceramic. **Journal of the American Ceramic Society**, n. 91, p. 1883 – 1887, 2008.