

# Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná

*Soil-cement hollow bricks produced in the Caiuá Arenite Region of Paraná*

Vladimir José Ferrari  
Álvaro Henrique Cândido de Souza  
Henrique Paes Baltazar  
Wilgner Dotto  
José Gabriel Vieira Neto

## Resumo

**P**esquisas sobre materiais e técnicas de construção que considerem o contexto atual de preservação do meio ambiente e de desenvolvimento socioeconômico regional sustentável estão cada vez ganhando mais espaço na sociedade. Nesse aspecto, cita-se o caso das misturas de cimento ao solo para fins de emprego como material de construção. O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar o solo da região do Arenito Caiuá do Noroeste do Paraná com vistas a sua incorporação com o cimento para produção de tijolos de solo-cimento. O efeito da substituição parcial do cimento pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar na resistência à compressão dos tijolos e na capacidade de absorção de água também é avaliado no presente trabalho. Foram produzidos tijolos vazados de solo-cimento e de solo-cimento-cinza segundo as prescrições da NBR 10833 (ABNT, 2012a), e a propriedade mecânica de resistência a compressão simples e a capacidade de absorção de água foram determinadas segundo a NBR 8492 (ABNT, 1994). As condições exigíveis para esses parâmetros, considerando-se a aplicação de tais tijolos à execução de alvenaria sem função estrutural, são avaliadas com base nas prescrições da NBR 8491 (ABNT, 2012b). Os resultados indicam que o solo da região do Arenito Caiuá pode ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de tijolos de solo-cimento.

Vladimir José Ferrari  
Universidade Estadual de Maringá  
Maringá - PR - Brasil

Álvaro Henrique Cândido de Souza  
Universidade Estadual de Maringá  
Cidade Gaúcha - PR - Brasil  
E-mail: alvarohcs@hotmail.com

Henrique Paes Baltazar  
Universidade Estadual de Maringá  
Cidade Gaúcha - PR - Brasil

Wilgner Dotto  
Universidade Estadual de Maringá  
Cidade Gaúcha - PR - Brasil

José Gabriel Vieira Neto  
Universidade Estadual de Maringá  
Cidade Gaúcha - PR - Brasil

Recebido em 02/05/13  
Aceito em 19/06/14

**Palavras-chave:** Solo-cimento. Tijolos vazados. Resistência a compressão. Cinza.

## Abstract

*Research studies on materials and construction techniques that consider the current context of environmental preservation and regional sustainable socioeconomic development are increasingly gaining more space in society. In this respect, the use of mixed cement and soil for the production of construction materials must be pointed out. The main objective of this research work is to evaluate the soil of Caiuá Arenite Region in the northwest of the State of Paraná, with the aim of using it for producing ecological soil-cement bricks. The effect of adding ash bagasse from sugar cane in the strength compression of bricks was also assessed in this investigation. Soil-cement hollow bricks were produced in accordance with the requirements of NBR 10833 (ABNT, 2012a) standard, and the compressive strength was evaluated according to NBR 8492 (ABNT, 1994) standard. The conditions required for those parameters in to application of such bricks for the non-structural masonry were evaluated based on the requirements of NBR 8491 (ABNT, 2012b). The results indicated that the soil from the Caiuá Arenite Region can be effectively used as raw material for the manufacture of soil-cement bricks.*

**Keywords:** Soil-cement. Hollow bricks. Strength. Ash.

## Introdução

O solo-cimento pode ser definido como um material resultante da compactação da mistura de solo com certa quantidade de cimento Portland e água. Esse material tem sido aplicado na indústria da construção em alguns casos, como, por exemplo, base de pavimento para rodovias (ESTABRAGH; BEYTOLAHPOUR; JAVADI, 2011), proteção de encostas e aterros (ESTABRAGH; BEYTOLAHPOUR; JAVADI, 2011) e blocos para alvenarias (TENNANT; FOSTER; REDDY, 2013).

Um dos princípios envolvidos na obtenção desse material é a melhoria das propriedades (resistência e permeabilidade) do solo por meio de sua estabilização química através do cimento Portland. Segundo Houben e Guillaud (1994), a estabilização do solo consiste em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de obter propriedades de longa duração compatíveis com uma aplicação particular. De certa forma, o processo de estabilização confere ao solo uma resposta mais adequada ante as deformações quando ele é submetido ao efeito de cargas aplicadas.

Segundo Milani e Freire (2006), na estabilização do solo com o cimento, ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo-lhe resistência inicial.

Por questões ambientais, segundo Lima Junior, Willrich e Barbosa (2003), o uso do cimento como um material de estabilização tem sido criticado. Lima Junior, Willrich e Barbosa (2003) comentam que tal fato tem levado pesquisadores a aplicar outras adições minerais (cinza volante, cinza da casca de arroz, sílica ativa, etc.) em substituição ao cimento na estabilização do solo. Ainda segundo os autores, essas adições têm sílica e alumínio sob a forma amorfa, e podem reagir quimicamente com a cal que vem da hidratação do cimento, para formar compostos semelhantes aos silicatos e aluminato de cálcio hidratado.

Lima Junior, Willrich e Barbosa (2003) também comentam que outras adições minerais usadas em substituição ao cimento não têm atividade pozolânica, mas que, por conta de suas partículas, que possuem elevada finura, podem preencher os vazios entre as partículas do cimento e aumentar, consequentemente, a densidade e a resistência do solo.

Neste trabalho, investiga-se o solo da região do Arenito Caiuá, localizada no noroeste do Paraná, mais especificamente o solo do interior do Campus

do Arenito da Universidade Estadual de Maringá (UEM), do Município de Cidade Gaúcha, com vistas a sua utilização na fabricação de tijolos vazados de solo-cimento. Tijolos com diferentes teores de cimento foram moldados, e sua resistência à compressão simples e a absorção de água foram avaliadas.

Na região do Arenito Caiuá existe forte presença da indústria sucroalcooleira, em que os principais subprodutos da cana-de-açúcar são a vinhaça e o bagaço. O bagaço da cana-de-açúcar é reaproveitado como combustível nas caldeiras para geração de energia. Esse bagaço é calcinado em temperaturas na faixa de 1.000 °C e tem como resultado a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Esse resíduo industrial pode poluir o ambiente quando descartado de forma incorreta, após a limpeza das caldeiras.

Para cada tonelada de cana-de-açúcar são gerados cerca de 250 quilos (25%) de bagaço, que, quando queimado, produz aproximadamente 6 quilos (2,4%) de cinzas, que contêm 77% de areia de quartzo e pó de carvão. Cabe salientar que previsão total de cana-de-açúcar a ser moída para a safra 2013/2014 é de 652,02 milhões de toneladas, com aumento de 10,7% em relação à safra 2012/2013 (COMPANHIA..., 2013).

Assim, numa segunda etapa do trabalho (como estratégia para o vislumbre de uma possível destinação desse resíduo muito abundante nas usinas da região noroeste do Paraná), a CBC foi incorporada às misturas de solo-cimento com vistas à fabricação de tijolos de solo-cimento-cinza. A ideia da CBC foi substituir parcialmente o cimento das misturas e fabricar tijolos vazados para avaliar sua resistência à compressão simples e sua capacidade de absorção de água.

Assim, o objetivo geral do trabalho foi o de estudar o solo da região do Arenito Caiuá do Paraná com vistas a sua incorporação com o cimento Portland para a produção de tijolos ecológicos de solo-cimento. Já os objetivos específicos do trabalho foram: produzir tijolos vazados de solo-cimento e avaliar a resistência à compressão simples e sua capacidade de absorção de água; e produzir tijolos vazados de solo-cimento com substituição parcial do cimento pela CBC e avaliar sua propriedade mecânica de resistência à compressão simples e sua capacidade de absorção de água.

## Características do solo com vistas à produção de tijolos de solo-cimento

### Coleta do solo e investigações preliminares

O solo foi coletado sempre de uma mesma área (fonte de coleta), localizada nas dependências do Campus do Arenito, no Município de Cidade Gaúcha, PR. Na Figura 1 mostra-se o aspecto do solo da área de coleta.

As amostras coletadas do solo foram preparadas seguindo-se as recomendações descritas na NBR 6457 (ABNT, 1986a). De acordo com a NBR 10832 (ABNT, 2003a), o solo destinado à fabricação de tijolos maciços de solo-cimento com prensa manual deve atender às seguintes características:

- (a) 100% passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº 4);
- (b) 10% a 50% passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº 200);
- (c) limite de liquidez (LL) menor ou igual a 45%; e
- (d) índice de plasticidade (IP) menor ou igual a 18%.

Para investigar a porcentagem de material passante nas peneiras 4,8 mm e 0,075 mm foram tomados 100 g do solo e realizado o peneiramento, contando-se com o auxílio de um agitador mecânico de peneiras.

O solo teve 100% de sua massa passando na peneira de 4,8 mm, o que satisfaz a primeira das condições descritas anteriormente, todavia teve apenas 7,8% de material passante na peneira de 0,075 mm. Esse valor está um pouco abaixo do limite inferior especificado como condição a ser atendida.

### Análise granulométrica

O ensaio de análise granulométrica foi realizado no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da UEM, seguindo-se as recomendações descritas na NBR 7181 (ABNT, 1984a). O resultado da composição granulométrica do solo é indicado na Figura 2, dispondo-se, na abscissa, os diâmetros das partículas em escala logarítmica e, na ordenada, as porcentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados (em escala aritmética).

Conforme composição mostrada na Figura 2, tem-se a classificação granulométrica indicada na Tabela 1. Vê-se que o solo é arenoso, como já sabido, tendo 78% de areia e 22% de teor de argila e silte.

### Limites de consistência

Os ensaios para determinação dos limites de consistência do solo foram realizados no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da UEM, seguindo-se os procedimentos descritos na NBR 7180 (ABNT, 1984b) e NBR 6459 (ABNT, 1984c).

O índice de plasticidade (IP) do solo foi obtido utilizando-se a Eq. 1, onde LL representa o limite de liquidez (em %) e LP o limite de plasticidade (em %).

$$IP = LL - LP \quad \text{Eq. 1}$$

Com relação ao LP, verificou-se impossibilidade de se obter o cilindro de 3 mm de diâmetro com a amostra de solo. Sendo assim, classificada como não apresentando limite de plasticidade, ou seja, NP (não plástico). Já com relação ao LL, verificou-se impossibilidade de se conseguir a abertura da ranhura quando da colocação da amostra na concha do aparelho de Casagrande. Sendo assim, foi classificada como não apresentando limite de liquidez, ou seja, NL (não líquido).

Figura 1 - Fonte de coleta do solo do Arenito Caiuá



Figura 2 - Composição granulométrica do solo

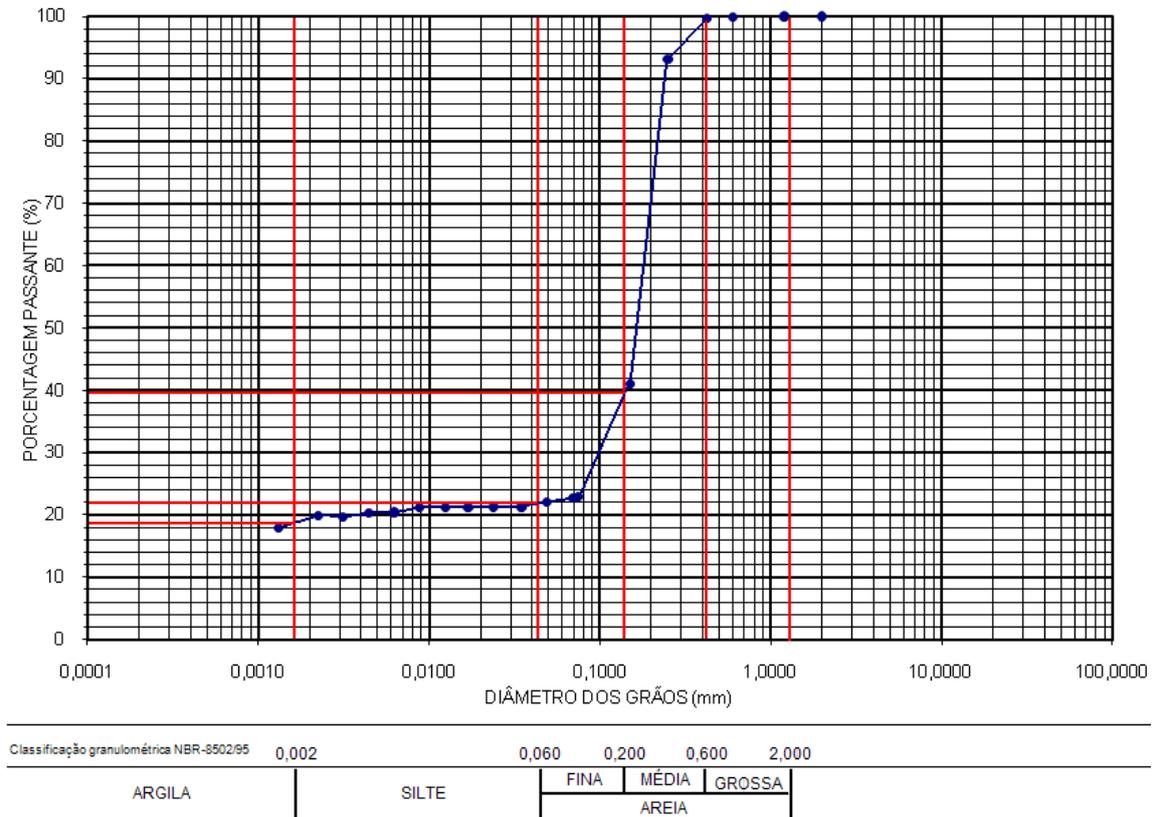


Tabela 1 - Classificação granulométrica do solo

Solo	Classificação Granulométrica				
	Argila (%)	Silte (%)	Areia		
			Fina (%)	Média (%)	Grossa (%)
Campus do Arenito	19	3	18	60	0

### Teste de retração

O teste de retração consistiu em colocar a amostra de solo misturado com certa quantidade de água em uma fôrma de madeira com dimensões de 8,5x60x3,5 cm. A mistura foi colocada na fôrma sem compactação e protegida do sol e chuva por 7 dias. Após esse período fez-se a leitura da retração do solo no sentido do comprimento da fôrma, utilizando-se para tanto um paquímetro. Foi obtido o valor de retração total igual a 2,5 mm para o solo investigado, sendo esse valor dado a partir da formação de 3 pequenas fissuras. Ainda desse valor pode-se dizer que é bem inferior ao limite de 20 mm, recomendado pelo Ceped (CENTRO..., 1984).

### Ensaio de compactação do solo

O ensaio, segundo a NBR 7182 (ABNT, 1986b), foi realizado no Laboratório de Solos do DEC da UEM com reúso de material sobre amostras

preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica.

Na Figura 3 é mostrada a curva de compactação do solo a partir dos dados coletados no ensaio. Na abscissa são marcados os teores de umidade (h) e, na ordenada, as massas específicas aparentes secas correspondentes ( $\gamma_s$ ). Vê-se que a umidade ótima correspondente ao solo é igual a 9,3%.

### Ensaio de compactação das misturas de solo-cimento

O método de ensaio "A" prescrito na NBR 12023 (ABNT, 1992b) foi o utilizado para realizar o ensaio de compactação das misturas de solo-cimento. Para definir o teor de cimento, em massa, a ser misturado ao solo para realizar o ensaio de compactação, utilizou-se como referência a Tabela 2, extraída da NBR 12253 (ABNT, 1992a).

A partir dos resultados até então obtidos, o solo foi classificado, segundo os parâmetros da ASTM D-

3282 (AMERICAN..., 2009), como sendo do grupo A.2. De posse dessa informação, o teor de cimento tomado como referência inicial foi de 7%. No entanto, tendo-se como objetivo a obtenção da umidade ótima da mistura de solo-cimento para outros teores de cimento, foi também selecionado um teor imediatamente abaixo (6%) do valor de

referência de 7%, e outro, imediatamente acima (8%).

Foi dada sequência aos ensaios, adicionando-se cimento (CP II – F32) às amostras de solo nos teores referentes a 6%, 7% e 8%, em massa. O cimento foi completamente misturado ao solo, até atingir uma coloração uniforme em toda a massa, compondo, assim, a mistura seca (Figura 4).

Figura 3 - Curva de compactação do solo natural

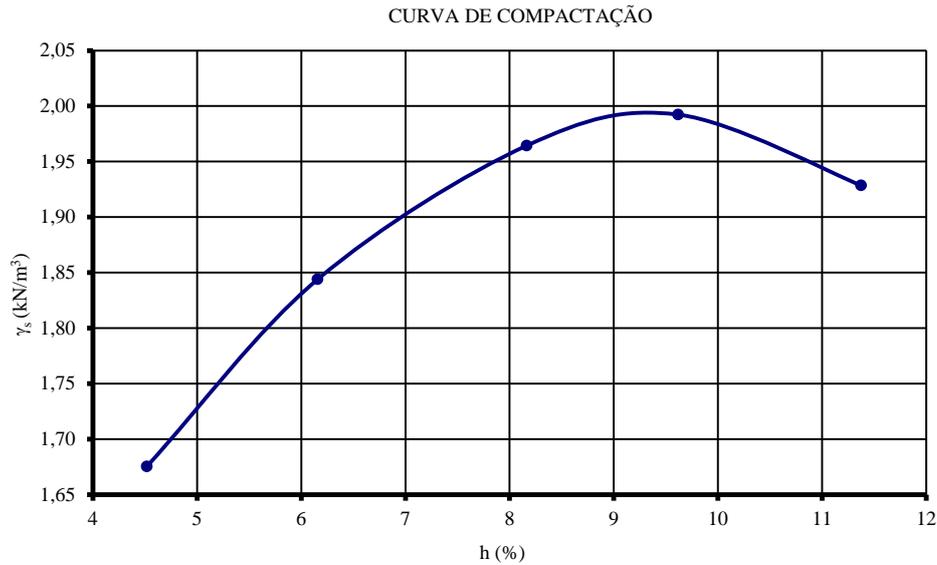


Tabela 2 - Teor de cimento sugerido para ensaio de compactação de solo-cimento

Classificação do solo	Teor de cimento sugerido, em massa (%)
A.1.a	5
A.1.b	6
A.2	7
A.3	9
A.4	10

Fonte: NBR 12253 (ABNT, 1992a).

Figura 4 - Mistura seca do cimento ao solo



São reunidas na Figura 5 as curvas de compactação das misturas de solo-cimento, e na Tabela 3 são indicados os valores de umidade ótima e da massa específica aparente seca para cada uma das misturas analisadas.

## Fabricação de tijolos vazados de solo-cimento

### Composições estudadas e fabricação dos tijolos

Foram fabricados tijolos vazados de solo-cimento tendo-se como referência a norma NBR 10833 (ABNT, 2012a). Nessa fase do trabalho foi produzido um total de 27 corpos de prova de tijolos vazados de solo-cimento, distribuídos de acordo com as três diferentes composições indicadas na Tabela 4. Para cada uma das composições foram moldados 9 tijolos, que foram ensaiados para determinação da resistência à compressão simples e da capacidade de absorção

de água nas idades correspondentes a 7, 14 e 21 dias.

As composições indicadas na Tabela 4 foram idealizadas com o objetivo de avaliar o efeito do aumento do teor de cimento na resistência dos tijolos vazados, como também avaliar a influência da idade dos tijolos nessas propriedades.

Os tijolos foram moldados utilizando-se uma prensa manual (Figura 6), adquirida com recursos oriundos de financiamento do projeto de pesquisa aprovado pela Fundação Araucária (órgão que apoia o desenvolvimento científico e tecnológico no estado do Paraná).

Para produção dos tijolos uma considerável quantidade de solo foi coletada e mantida no interior do Laboratório de Materiais de Construção do DEA da UEM até atingir a umidade higroscópica, sendo, em seguida, triturado e, posteriormente, peneirado, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 5 - Curvas de compactação das misturas de solo-cimento

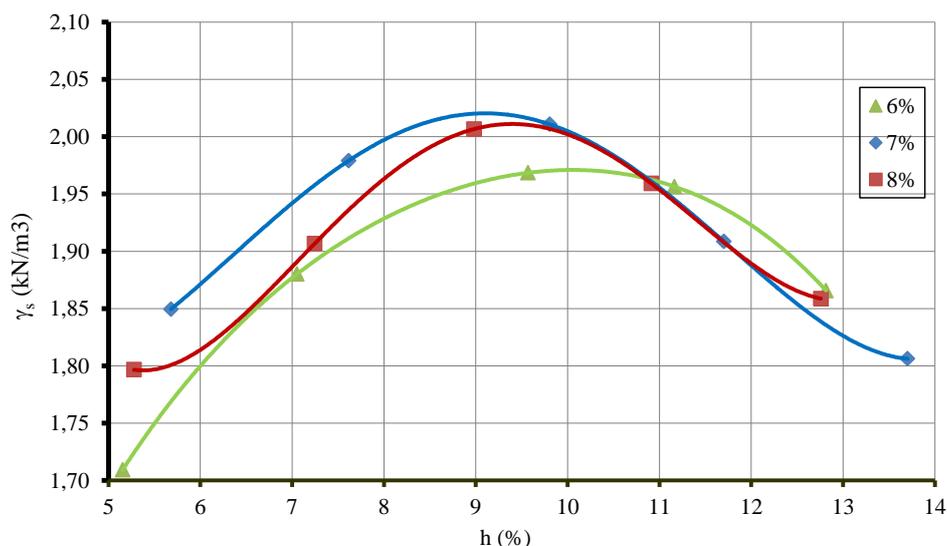


Tabela 3 - Umidade ótima e massa específica aparente seca das misturas de solo-cimento

Teor de cimento da mistura	h (%)	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )
6%	10,0	1,97
7%	9,0	2,04
8%	9,4	2,01

Tabela 4 - Composições utilizadas para fabricação dos tijolos vazados

Composições estudadas		Idade (dias)		
		07	14	21
A	6% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	03	03	03
B	7% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	03	03	03
C	8% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	03	03	03

Figura 6 - Prensa manual para fabricação dos tijolos vazados



Figura 7 - Preparo do solo para produção dos tijolos



Para a produção dos tijolos foi adicionado ao solo o teor de cimento referente a cada composição em estudo e a quantidade de água conforme o valor de umidade ótima obtida para cada uma das misturas. Os materiais foram manualmente misturados até atingir uma constância de coloração, como mostrado na Figura 8. A água foi adicionada aos poucos procurando-se revirar toda a mistura até o momento em que, através de um simples teste prático, com o auxílio das próprias mãos, percebeu-se que era possível formar pequenas bolas com a mistura já umedecida.

Cada corpo de prova foi então preparado, colocando-se uma quantidade suficiente da mistura na prensa manual, na qual cada um dos tijolos foi moldado. Na Figura 9 mostra-se o tijolo logo após a moldagem e seu aspecto após 24 h decorridas da moldagem.

Após a moldagem cada tijolo foi armazenado em uma bancada no interior do Laboratório, onde

permaneceram sob as mesmas condições, sem a realização de nenhum processo de cura. Para realizar o ensaio de absorção de água, os tijolos foram secos em estufa elétrica entre 105 e 110 °C, até constância de massa ( $M_1$ ). Em seguida foram imersos em água durante 24 h, para obtenção da massa do tijolo saturado ( $M_2$ ). O valor da absorção de cada tijolo foi calculado pela Eq. 2.

$$A(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Para realizar o ensaio de compressão simples, após a retirada do tijolo da água, cada uma das duas maiores superfícies do corpo de prova foi capeada utilizando-se enxofre derretido (Figura 10). Tal procedimento foi realizado para regularizar e nivelar as superfícies, a fim de uniformizar a transferência de carga para todo o volume do tijolo durante o ensaio de resistência à compressão simples.

Cada corpo de prova foi então levado até a prensa hidráulica para a realização do ensaio de compressão simples. A carga foi aplicada lentamente, e anotaram-se os valores referentes à

ruptura do corpo de prova. Na Figura 11 mostra-se o aspecto do tijolo com o surgimento da primeira fissura e também seu aspecto no instante da ruptura.

Figura 8 - Mistura de solo-cimento para a produção dos tijolos



Figura 9 - Aspecto dos tijolos moldados



Figura 10 - Remoção das saliências do tijolo e seu aspecto após o capeamento



Figura 11 - Primeira fissura e ruptura do tijolo em ensaio de compressão simples



## Resultados obtidos

Na Tabela 5 são indicados os resultados obtidos de resistência à compressão simples para os corpos de prova das composições A, B e C para as idades de 7, 14 e 21 dias.

Na Figura 12 os resultados médios da resistência à compressão simples dos tijolos são graficamente comparados. Observa-se que já aos 7 dias de idade a resistência obtida com as três composições estudadas foi superior ao valor mínimo de 2,0 MPa, recomendado pela NBR 8491 (ABNT, 2012b). Os valores individuais que compõem a média também são superiores ao valor de 1,7 MPa,

recomendado pela referida norma. Importante registrar que esses valores-limites da norma são referenciados à idade de 28 dias.

Na Figura 13 mostra-se a evolução da absorção de água dos tijolos com a idade. O gráfico, que apresenta o resultado médio de cada composição estudada, evidencia uma tendência de redução da capacidade de absorção de água dos tijolos com a evolução da idade. Essa característica é mais evidenciada entre as idades de 14 e 21 dias. Importante registrar que os valores de absorção de água dos tijolos são sempre menores do que 20%, conforme prescreve a NBR 8491 (ABNT, 2012b).

Tabela 5 - Cargas e resistências dos tijolos vazados de solo-cimento

Composição	Dimensões (cm)			Cargas (kN)	Resistências (MPa)		
	Largura	Comprimento	Espessura	P <sub>r</sub>	Máxima	Média	
Idade: 7 dias	A	12,43	24,8	6,25	51,5	2,14	<b>2,04</b>
		12,43	24,8	6,10	41,4	1,72	
		12,44	24,8	6,36	55,0	2,29	
	B	12,42	24,8	6,26	60,3	2,51	<b>2,41</b>
		12,43	24,7	6,28	57,2	2,34	
		12,44	24,8	6,10	56,0	2,32	
	C	12,40	24,78	5,70	59,8	2,49	<b>2,36</b>
		12,42	24,82	5,43	52,1	2,17	
		12,42	24,80	5,37	58,2	2,41	
Idade: 14 dias	A	12,43	24,8	6,25	70,2	3,13	<b>2,92</b>
		12,43	24,8	6,10	58,2	2,68	
		12,44	24,8	6,36	70,6	2,96	
	B	12,42	24,8	6,26	80,3	3,41	<b>3,14</b>
		12,43	24,7	6,28	69,2	3,16	
		12,44	24,8	6,10	68,6	2,85	
	C	12,43	24,9	5,40	61,3	2,54	<b>2,55</b>
		12,40	24,8	5,55	61,0	2,54	
		12,47	24,8	5,64	62,4	2,58	
Idade: 21 dias	A	12,42	24,8	6,32	65,4	2,89	<b>2,93</b>
		12,38	24,8	6,18	66,1	2,95	
		12,40	24,8	6,30	46,7	2,97	
	B	12,41	24,8	6,14	67,3	3,36	<b>3,18</b>
		12,40	24,7	6,20	52,9	2,58	
		12,40	24,8	6,25	81,0	3,59	
	C	12,43	24,9	5,56	68,2	3,06	<b>3,08</b>
		12,44	24,9	5,44	63,4	3,03	
		12,44	24,9	5,64	71,8	3,15	

Figura 12 - Evolução da resistência à compressão dos tijolos com a idade

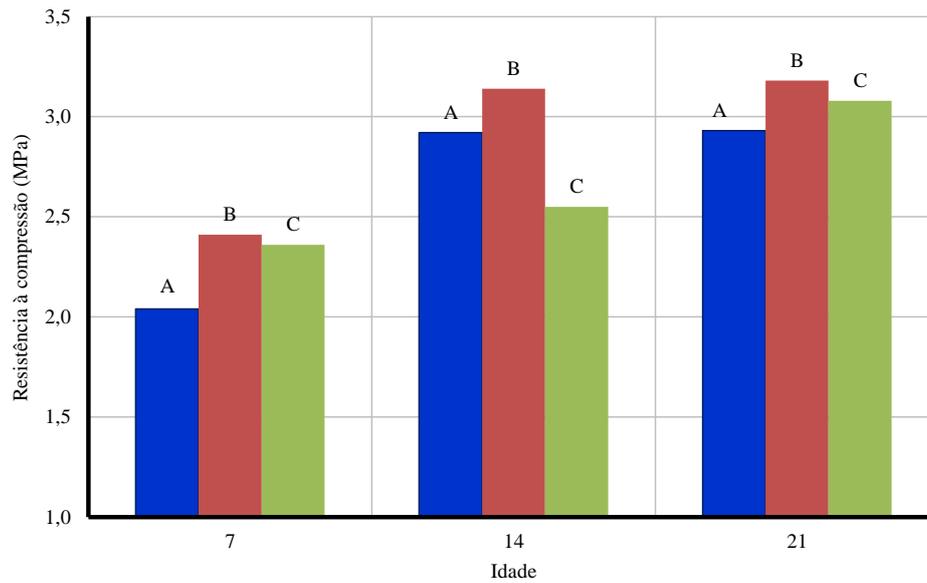
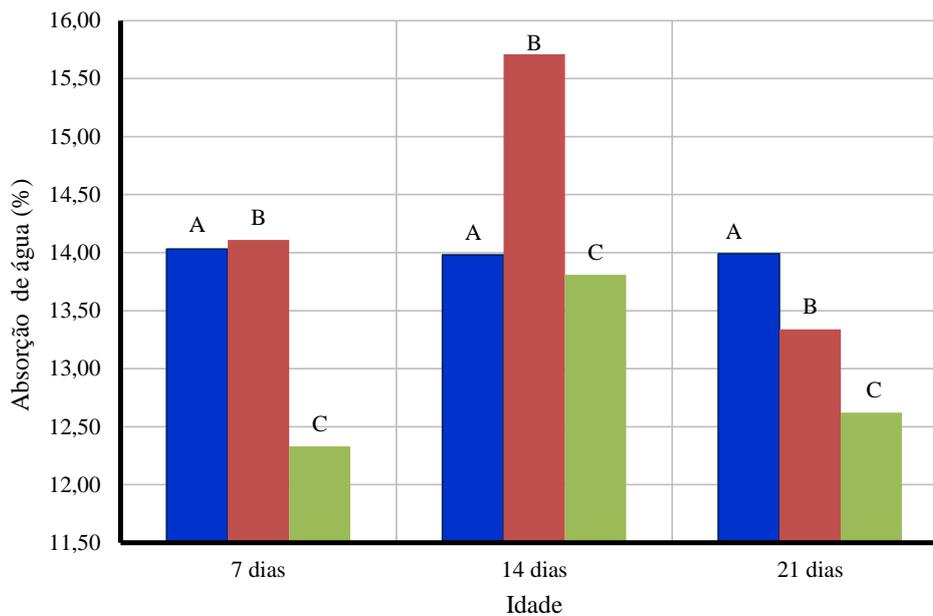


Figura 13 - Evolução da absorção de água dos tijolos com a idade



## Fabricação de tijolos vazados de solo-cimento-cinza

### Composições estudadas e fabricação dos tijolos

Como a resistência à compressão simples das composições estudadas no item anterior é superior à resistência mínima estabelecida pela NBR 8491 (ABNT, 2012b), foram nessa etapa do trabalho fabricados tijolos vazados de solo-cimento com a substituição parcial do cimento pela CBC. A CBC

é muito abundante na região noroeste do Paraná, e o objetivo aqui foi avaliar o efeito desse resíduo sobre a resistência e a absorção de água dos tijolos e sua evolução com as idades de 7, 14 e 21 dias quando aplicado em substituição parcial ao cimento da mistura. Para tanto, foram analisadas seis novas composições, sendo moldados para cada composição 9 corpos de prova, que foram ensaiados para a determinação da resistência à compressão simples e da capacidade de absorção de água. Cada uma das composições estudadas está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Composições utilizadas para a fabricação dos tijolos vazados de solo-cimento-cinza

Composições estudadas		Idade (dias)		
		07	14	21
A 1	6% de adição (90% de cimento + 10% de cinza)	03	03	03
A 2	6% de adição (80% de cimento + 20% de cinza)	03	03	03
B 1	7% de adição (90% de cimento + 10% de cinza)	03	03	03
B 2	7% de adição (80% de cimento + 20% de cinza)	03	03	03
C 1	8% de adição (90% de cimento + 10% de cinza)	03	03	03
C 2	8% de adição (80% de cimento + 20% de cinza)	03	03	03

### Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)

A cinza utilizada foi proveniente da Usina Sulcr-alcooleira do Distrito de Iguatemi, localizada próximo ao município de Maringá, PR. Alguns resultados provenientes da caracterização física e química estão na sequência relatados, podendo-se obter maiores detalhes por meio da consulta aos seguintes autores: Nunes *et al.* (2008), Liberati, Machado e Martins (2011) e Martins e Machado (2009).

Após a coleta, a amostra da cinza foi conduzida ao laboratório e seca ao ar na sombra por dois dias. A amostra foi passada pela peneira com abertura de 0,595 mm (malha 30). O material retido foi levado a um almofariz e destorroado com um gral revestido com borracha em sua ponta; em seguida, foi peneirado até que não houvesse material retido ou a presença de gravetos, folhas, pedras e outros resíduos considerados impurezas. Após o peneiramento, coletou-se quantidade suficiente de material para a realização dos ensaios.

Na Tabela 7 apresenta-se a percentagem retida acumulada da cinza conforme análise granulométrica realizada, obedecendo-se à NBR 7181 (ABNT, 1984a). Vê-se que, praticamente, a totalidade da cinza possui diâmetro entre 0,006 mm e 0,6 mm.

A determinação mineralógica foi realizada pela análise de difração de raios X, através do método do pó, realizada em um difratômetro (Shimadzu, modelo D6000). Os resultados do ensaio de difração de raios X (DRX) apresentam picos que evidenciam que a amostra possui material cristalino (Figura 14). Através do comparativo entre fichas cristalográficas de referência de materiais puros do JCPDS-ICCD (INTERNATIONAL..., 1996 <sup>1</sup> *apud* FREITAS, 2005), pode-se afirmar que há presença de mais de 98% de SiO<sub>2</sub> cristalino (quartzo) e menos de 2% de trimidita e cristobalita.

A determinação da atividade pozolânica foi realizada pelo método de Chapelle Modificado (RAVERDY *et al.*, 1980). Essa atividade é diretamente proporcional à área específica e depende da composição química do material. Dessa forma, materiais com estrutura desordenada (amorfa) apresentam maior reatividade em comparação com materiais cristalinos. Na Tabela 8 apresentam-se os resultados da atividade pozolânica da cinza. Os baixos resultados podem ser explicados pelo elevado teor de SiO<sub>2</sub> cristalino na forma de quartzo.

Os resultados da caracterização mostram que a cinza possui alta concentração de materiais cristalinos na forma de quartzo e possui baixa área superficial. Dessa forma, a baixa atividade pozolânica da cinza no estado natural permite seu emprego apenas como enchimento em compósitos à base de cimento Portland curados ao ar.

Por não ser um material reativo, a cinza não foi utilizada para obter melhorias na resistência dos tijolos, mas, sim, com objetivo de dar destinação adequada e possível a esse resíduo, e também avaliar seu efeito na capacidade de absorção de água dos tijolos.

### Ensaio de compactação das misturas de solo-cimento-cinza

Cada uma das seis novas composições de misturas foi submetida a ensaios de compactação para a obtenção do teor de umidade ótimo de cada uma. Esse teor de umidade é o que será utilizado na fabricação dos tijolos.

Os ensaios de compactação das misturas de solo-cimento-cinza foram realizados no Laboratório de Solos do DEC da UEM, seguindo-se o método "A" de ensaio, conforme as recomendações da NBR 12023 (ABNT, 1992b).

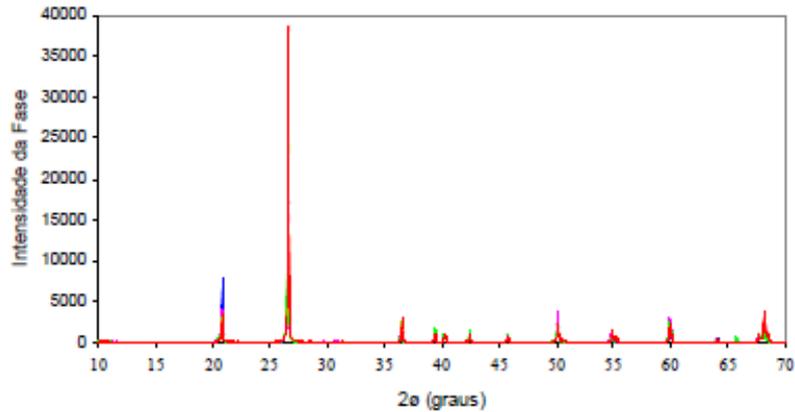
Na Figura 15 mostra-se a cinza e o cimento adicionados à amostra de solo seco. O cimento (CP II – F32) e a cinza foram misturados completamente ao solo até atingir uma coloração uniforme em toda a massa.

<sup>1</sup>INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA. [sem título]. Disponível em: <www.icdd.com/>. Acesso em: ???

Tabela 7 - Porcentagem retida de material

0,6 a 2 mm	0%
0,2 a 0,6 mm	50%
0,06 a 0,2 mm	46%
0,002 a 0,06 mm	2%
< 0,002 mm	2%

Figura 14 - Difração de raios X



Fonte: Nunes *et al.* (2008).

Tabela 8 - Índice de atividade pozolânica

Matéria orgânica	3,55%
Umidade	0,95%
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2.610%
mg CaO/g de material	23
Área específica (m <sup>2</sup> /kg)	5.356

Figura 15 - Mistura do cimento e cinza ao solo



Na Tabela 9 são reunidos os valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca, obtidos para cada uma das composições. Para efeito comparativo os resultados das composições A, B e C são rerepresentados.

### Resistência à compressão simples dos tijolos vazados de solo-cimento-cinza

A mesma metodologia para fabricar os tijolos vazados de solo-cimento foi a usada para fabricar

os tijolos vazados de solo-cimento-cinza. A única observação foi a de incluir na mistura de solo-cimento a cinza na quantidade necessária para cada mistura.

Na Tabela 10 são reunidos os valores de resistência média à compressão simples para cada uma das misturas de solo-cimento-cinza. Para efeito comparativo, são rerepresentados os resultados de compressão obtidos para as misturas A, B e C. Para melhor ajuste do formato da tabela, são indicados apenas os valores médios das resistências, suprimindo-se os valores individuais.

Na Figura 16 os resultados médios da resistência à compressão simples dos tijolos aos 7 dias de idade são representados graficamente. Fica bem evidenciada a diminuição ocorrida na resistência à compressão com a substituição parcial do cimento pela cinza. Quando da substituição de 10% do cimento pela cinza na mistura, a queda na resistência dos tijolos foi de 17%, 31% e 22% para as composições A, B e C respectivamente. Porém, para 20% de substituição do cimento pela cinza, a queda na resistência dos tijolos foi em torno de 50% para as composições estudadas (A: 47%; B: 51%; e C: 49%).

Na Figura 17 é indicada graficamente a absorção de água na idade de 7 dias dos tijolos produzidos com substituição parcial do cimento pela cinza. Nota-se que nessa idade os tijolos com substituição de 10% de cimento pela cinza das composições A e B absorveram menos água do que os tijolos sem

cinza. No entanto, com a substituição de 20% de cimento pela cinza, a absorção de água foi maior do que nos tijolos com apenas 10% de substituição, mantendo-se num valor abaixo da absorção de água do tijolo sem cinza para a composição A. Já para a composição C, os resultados denotam que há sempre aumento da absorção de água com a substituição do cimento pela cinza.

Na Figura 18 os resultados médios da resistência à compressão simples dos tijolos aos 14 dias de idade são representados graficamente. Permanece evidenciada a diminuição da resistência com o aumento da substituição parcial do cimento pela cinza. Quando da substituição de 10% do cimento pelo resíduo na mistura, a queda na resistência dos tijolos foi de 57%, 56% e 18% para as composições A, B e C respectivamente.

Tabela 9 - Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima das diversas composições estudadas

Composição		$h_{ótima}$ (%)	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )
	<b>Solo natural (0% de adição)</b>	<b>9,3</b>	<b>1,99</b>
A	6% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	10,0	1,97
A.1	6% de adição (90% de cimento + 10% de cinza)	10,3	2,00
A.2	6% de adição (80% de cimento + 20% de cinza)	10,5	2,01
B	7% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	9,0	2,04
B.1	7% de adição (90% de cimento + 10% de cinza)	9,9	1,98
B.2	7% de adição (80% de cimento + 20% de cinza)	10,0	1,97
C	8% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	9,4	2,01
C.1	8% de adição (90% de cimento + 10% de cinza)	9,7	1,98
C.2	8% de adição (80% de cimento + 20% de cinza)	9,9	1,95
C.3	9% de adição (100% de cimento + 0% de cinza)	9,4	2,01

Nota: Legenda:

$h_{ótima}$ : umidade ótima da composição obtido através de ensaio de compactação através do cilindro Proctor em energia normal; e

$\gamma_s$ : massa específica aparente seca.

Tabela 10 - Resistência média à compressão simples dos tijolos vazados de solo-cimento

Idade: 7 dias									
Composição	A	A.1	A.2	B	B.1	B.2	C	C.1	C.2
Resistência média (MPa)	2,04	1,74	1,08	2,41	1,84	1,18	2,36	1,93	1,21
Idade: 14 dias									
Composição	A	A.1	A.2	B	B.1	B.2	C	C.1	C.2
Resistência média (MPa)	2,92	1,85	1,14	3,14	2,01	1,38	2,55	2,17	1,20
Idade: 21 dias									
Composição	A	A.1	A.2	B	B.1	B.2	C	C.1	C.2
Resistência média (MPa)	2,93	2,04	1,19	3,18	2,22	1,67	3,08	2,18	1,48

Figura 16 - Resistência à compressão dos tijolos na idade de 7 dias

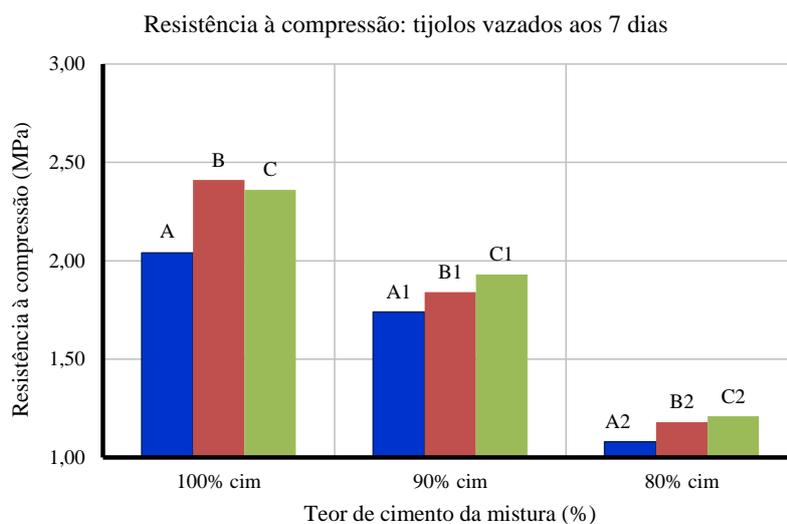


Figura 17 - Absorção de água dos tijolos na idade de 7 dias

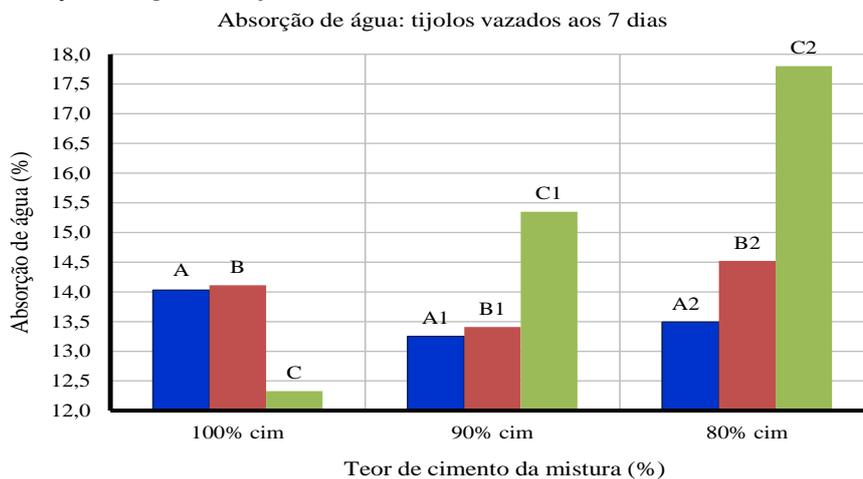
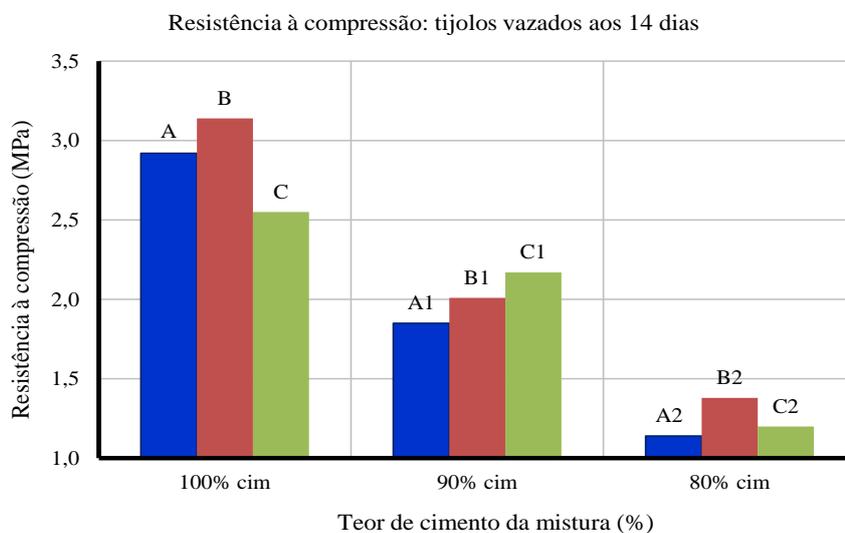


Figura 18 - Resistência a compressão dos tijolos na idade de 14 dias



Na Figura 19 é indicada graficamente a absorção de água na idade de 14 dias dos tijolos produzidos com substituição do cimento pela cinza. Aqui se nota que nessa idade os tijolos com substituição de 10% de cimento pela cinza absorveram menos água do que os tijolos sem a substituição do cimento (exceção para a composição contendo B, 7% de teor de cimento, na qual a absorção aumentou para 10% de cinza e apresentou decréscimo para 20% de cinza). Com a substituição de 20% de cimento pela cinza, a absorção de água nas composições A e C foram maiores do que nos tijolos com apenas 10% de substituição.

Na Figura 20 os resultados médios da resistência à compressão simples dos tijolos aos 21 dias de idade são representados graficamente. Permanece evidenciada a diminuição da resistência com o

aumento da substituição do cimento pela cinza. Importante registrar que na idade de 21 dias a resistência dos tijolos com substituição de 10% de cimento pela cinza superam o valor mínimo de 2,0 MPa, estabelecido pela norma. O mesmo não ocorre para os tijolos contendo 20% desse resíduo. Quando da substituição de 10% do cimento pela cinza na mistura, a queda na resistência dos tijolos aos 21 dias de idade foi de 44%, 43% e 41% para as composições A, B e C respectivamente.

Na Figura 21 é indicada graficamente a absorção de água na idade de 21 dias dos tijolos produzidos com substituição do cimento pela cinza. Nota-se que nessa idade, em geral, os tijolos com substituição do cimento pela cinza apresentaram maior capacidade de absorção de água do que os tijolos sem a substituição do cimento.

Figura 19 - Absorção de água dos tijolos na idade de 14 dias

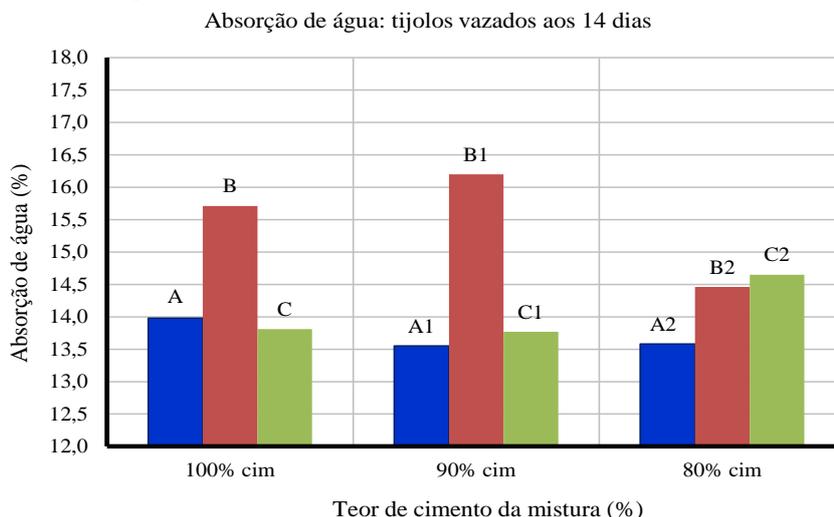


Figura 20 - Resistência à compressão dos tijolos na idade de 21 dias

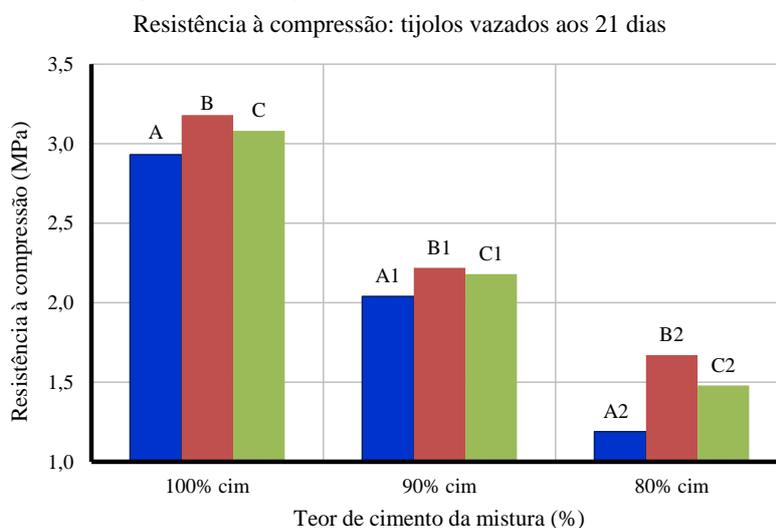
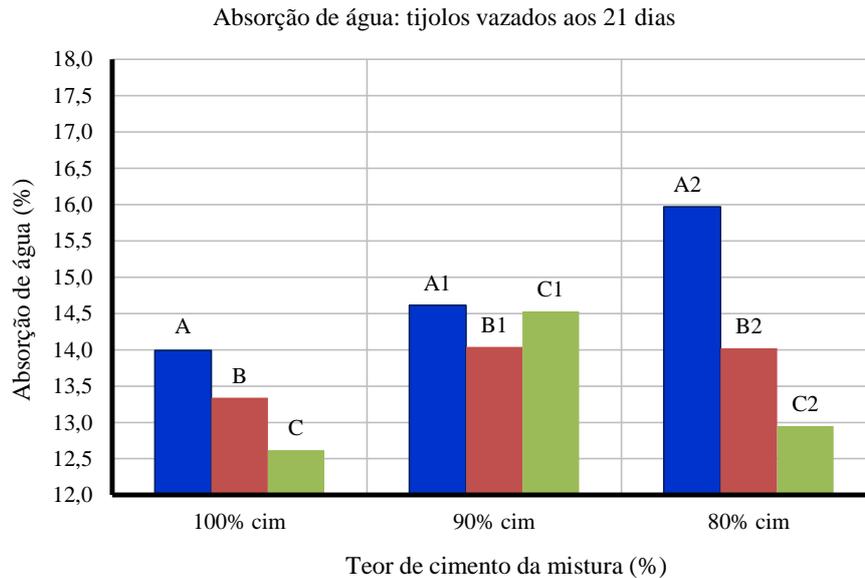


Figura 21 - Absorção de água dos tijolos na idade de 21 dias



## Conclusões

- (a) é possível fabricar tijolos de solo-cimento empregando-se o solo da região do Arenito Caiuá, do noroeste do Paraná, mais especificamente do Município de Cidade Gaúcha;
- (b) tal solo atende aos limites especificados pela norma NBR 10832 (ABNT, 2003);
- (c) tijolos vazados de solo-cimento produzidos com teores de cimento, em massa, de 6%, 7% e 8% tiveram, já com a idade de 7 dias, sua propriedade mecânica de resistência à compressão superando o valor-limite mínimo de 2,0 MPa, estipulado pela NBR 8491 (ABNT, 2012b);
- (d) os tijolos produzidos com o teor de 7% de cimento apresentaram maior resistência à compressão em todas as idades analisadas;
- (e) com a substituição do cimento pela cinza nas misturas de solo-cimento, a resistência à compressão dos tijolos sempre diminuiu. A resistência dos tijolos também diminuiu com o aumento da quantidade de cinza adicionada à mistura;
- (f) quando da substituição parcial de 10% de cimento pela cinza na mistura, a queda na resistência dos tijolos aos 21 dias de idade foi da ordem de 40% para todas as composições estudadas. No entanto, mesmo assim, a resistência dos tijolos manteve-se superior ao valor mínimo recomendado pela norma, podendo dessa maneira, por considerações econômicas e ambientais, incorporar a cinza numa taxa não superior a 10% para a fabricação de tijolos sem função estrutural;

- (g) não se recomenda utilizar 20% de cinza em substituição ao cimento para fabricação dos tijolos. Nesse teor, a resistência à compressão obtida aos 21 dias de idade ficou inferior ao valor de 2,0 MPa para as três composições estudadas;
- (h) mesmo com a substituição do cimento pela cinza, os teores de absorção de água dos tijolos mantiveram-se abaixo do valor máximo de 20%, recomendado pela norma;
- (i) ficou evidenciada tendência de redução da capacidade de absorção de água dos tijolos de solo-cimento com a evolução da idade; e
- (j) com relação à absorção de água dos tijolos de solo-cimento-cinza somente na idade de 21 dias, ficou evidenciada a tendência de aumento da absorção de água com o aumento da substituição do cimento pela cinza. Já nas outras idades observou-se tendência de diminuição da absorção de água do tijolo para 10% de substituição do cimento pela cinza.

## Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3282**: standard practice for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. Washington, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984c.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: tijolo de solo-cimento: requisitos. Rio de Janeiro, 2012b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10832**: fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento. Rio de Janeiro, 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: solo-cimento: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: solo-cimento: dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 1992a.
- CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Manual de Construção Com Solo-Cimento**. Camaçari: CEPED, 1984. 116 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**: segundo levantamento da safra 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 24 out. 2013.
- ESTABRAGH, A. R.; BEYTOLAHPOUR, I.; JAVADI, A. A. Effect of Resin on the Strength of Soil-Cement Mixture. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. 7, p. 969-976, 2011.
- FREITAS, E. de S. **Caracterização da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar do Município dos Campos Goytacazes Para Uso na Construção Civil**. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Earth Construction: a compressive guide**. London: Intermediate Technology Publications, 1994. 362 p.
- LIBERATI, E. A. P.; MACHADO, P. H. T.; MARTINS, C. H. Resistência Mecânica de Concretos Com Substituição Parcial de Cimento Por cinza de bagaço de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 8., Maringá, 2011. **Anais...** Maringá: UEM, ENTECA, 2011.
- LIMA JUNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Structural Behavior of Load Bearing Brick Walls of Soil-Cement With the Addition of Ground Ceramic Waste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 552-558, 2003.
- MARTINS, C. H.; MACHADO, P. H. T. Uso da Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar Como Agregado Miúdo em Argamassas. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 7., Maringá, 2009. **Anais...** Maringá: UEM, ENTECA, 2009.
- MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características Físicas e Mecânicas de Misturas de Solo, Cimento e Casca de Arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.
- NUNES, I. H. S. *et al.* Estudo as Características Físicas e Químicas da Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar Para Uso na Construção. **Revista Tecnológica**, v. 17, p. 39-48, 2008.
- RAVERDY, M. *et al.* Appréciation de l'Activité Pouzzolanique des Constituants Secondaires. In: CONGRÉS INTERNATIONAL DE LA CHIMIE DES CIMENTS, 7., Paris, 1980.
- TENNANT, A. G.; FOSTER, C. D.; REDDY, B. V. V. Verification of Masonry Building Code to Flexural Behavior of Cement-Stabilized Soil Block. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 25, p. 303-307, 2013.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Araucária, pelo financiamento proporcionado ao desenvolvimento da presente pesquisa, de grande valia para o desenvolvimento regional sustentável da região do Arenito Caiuá.

### **Vladimir José Ferrari**

Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia | Universidade Estadual de Maringá | Av. Colombo, 5790, Zona 07 | Maringá - PR - Brasil | CEP 87020-900 | Tel.: (44) 3011-1336 | E-mail: vladimirjf@hotmail.com

### **Álvaro Henrique Cândido de Souza**

Departamento de Engenharia Agrícola | Universidade Estadual de Maringá | Rodovia PR 482 - Km 45 | Cidade Gaúcha - PR - Brasil | CEP 87820-000 | Tel.: (44) 3675-1879 | E-mail: alvarohcs@hotmail.com

### **Henrique Paes Baltazar**

Departamento de Engenharia Agrícola | Universidade Estadual de Maringá | E-mail: pb\_henrique@yahoo.com.br

### **Wilger Dotto**

Departamento de Engenharia Agrícola | Universidade Estadual de Maringá | E-mail: will.dtt@hotmail.com

### **José Gabriel Vieira Neto**

Departamento de Engenharia Agrícola | Universidade Estadual de Maringá | E-mail: zeh.gvn@hotmail.com

### ***Revista Ambiente Construído***

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído  
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro  
Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP 90035-190  
Telefone: +55 (51) 3308-4084  
Fax: +55 (51) 3308-4054  
[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)  
E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)