

## TEMA 3 – Caracterización de materiales

### **Análise da resistência mecânica e da absorção de blocos de terra comprimida feitos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar**

Sofia Araújo Lima <sup>1,a</sup>, Humberto Varum <sup>2,b</sup> e Almir Sales <sup>3,c</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

<sup>a</sup> [salbessa@gmail.com](mailto:salbessa@gmail.com), <sup>b</sup> [hvarum@ua.pt](mailto:hvarum@ua.pt), <sup>c</sup> [almir@ufscar.br](mailto:almir@ufscar.br)

**Palavras-chave:** blocos de terra comprimida, cinza do bagaço da cana-de-açúcar, resistência mecânica.

#### **Resumo**

O cultivo da cana-de-açúcar e a produção de seus derivados está intimamente ligado à própria história e ao desenvolvimento do Brasil. A destinação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um dos problemas enfrentados pelos administradores das usinas, uma vez que essas cinzas constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de redução do mesmo. O bloco de terra comprimida (BTC) é uma alternativa aos tijolos queimados de barro, tendo como vantagem de não necessitar de altas temperaturas de cura. Dessa forma, considerando a importância da inclusão de resíduos nos materiais de construção e priorizando as técnicas construtivas com terra, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência da adição das cinzas em BTCs por meio de ensaios de resistência à compressão e de absorção. Para as análises, os blocos foram produzidos em duas séries, uma com 6% e outra com 12% de cimento em adição a mistura de solo. O solo utilizado foi proveniente da região de Aveiro, Portugal, e para a correção do teor de finos, utilizou-se o caulino. Para cada série de blocos, utilizou-se teores de adição de CBC nos valores de 0%, 2%, 4% e 8%. Os resultados obtidos permitiram concluir que a CBC pode ser incorporado aos blocos produzidos com terra crua sem alterar suas características mecânicas.

#### **Introdução**

O Brasil possui tradição no plantio de cana-de-açúcar desde o século XVIII. Somente no século XX o Brasil descobriu que o álcool poderia ser uma opção energética viável [1]. Atualmente, o país produz cerca de 60% do álcool etílico (etanol) consumido no mundo e é o maior produtor mundial de açúcar.

A cultura da cana-de-açúcar representa uma das principais atividades agrícolas do Brasil e ocupa uma área plantada de cerca de três milhões de hectares [2, 3]. A produção de cana-de-açúcar está em crescimento desde o

ano 2000 e atingiu mais de 603.000.000 toneladas na safra 2009/2010, segundo o Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A demanda por etanol de cana-de-açúcar deverá continuar crescendo nos próximos dez anos, de acordo com o Ministério das Minas e Energia (MME). A geração de eletricidade com a queima do bagaço e da palha poderá superar a capacidade da maior hidrelétrica do Brasil, a Usina de Itaipu [4].

Mesmo assim, a indústria sucroalcooleira ainda busca soluções para o descarte dos resíduos gerados no processo de produção de açúcar e álcool. A cinza da queima do bagaço é o último resíduo gerado pela cadeia da cana-de-açúcar. Para cada tonelada de bagaço queimado, são gerados 25 kg de cinza. Somente na última safra, a produção de cinza passou de 10.000 toneladas por dia, no Brasil [5].

A CBC apresenta uma grande quantidade de dióxido de silício, normalmente acima de 60% (em massa). A areia proveniente da lavoura é uma das fontes da sílica encontrada na cinza. Esta areia permanece no bagaço e pode ser observada nas operações de limpeza dos salões das caldeiras, onde ocorre a combustão [6].

A prática de dispor a cinza como adubo, misturada à torta de filtro e/ou à vinhaça, é comum nos canaviais do Estado de São Paulo. Os produtores atestam, dessa forma, que há o aproveitamento de todos os resíduos na própria cadeia produtiva. Apesar de ser tratada como uma iniciativa “ambientalmente correta”, essa prática ignora o uso dos agrotóxicos nas plantações e a persistência desses produtos no solo quando a cinza é utilizada como adubo. Além disso, essas cinzas são utilizadas como adubo nas lavouras, mas não possuem nutrientes minerais adequados para tal finalidade [5, 7].

### **Os blocos de terra comprimida**

A terra tem sido usada como material de construção desde os tempos mais antigos, em conjunto com a madeira e a pedra. As tecnologias de construção com terra usadas podem mudar de acordo com a zona geográfica e com o período histórico. Como vantagens da terra podem-se apontar as propriedades de isolamento térmico e acústico [8], de modo que pode ser usada também para elementos não estruturais em edifícios modernos.

Uma das muitas possibilidades para o uso da terra para a construção é o bloco de terra comprimida. Rigassi [9] apud Buson [10] afirma que o bloco de terra compactada é o moderno descendente do bloco de terra adensada, mais comumente conhecido como bloco de adobe. Entretanto, a idéia de comprimir a terra para melhorar o desempenho dos blocos de terra adensada não é nada recente. Foi com o uso de socadores de madeira que os primeiros blocos de terra compactada foram produzidos, processo esse que ainda é usado em algumas partes do mundo.

O BTC também se apresenta como uma alternativa aos tijolos queimados de barro. A vantagem desse tijolo é que não necessita de altas temperaturas de cura, tal como é exigido pelo barro, e o grau de compactação deles pode ser obtido com equipamentos hidráulicos ou alavancas manuais [8].

As Normas Brasileiras não apresentam definições para Bloco de Terra Compactada - BTC, apenas para componentes construtivos prensados de terra crua estabilizada com cimento, o chamado “solo-cimento”.

De acordo com o manual de construção com BTC, disponibilizado pelo Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical - CECAT, se o solo não tem as características ideais para a produção do BTC, pode ser melhorado agregando um ou mais estabilizantes. A estabilização consiste em modificar as características de um solo para uma determinada aplicação [10].

Para cada tipo de solo ou compósito existe uma umidade de moldagem mais adequada. Para se obter um BTC de qualidade com um determinado solo, é necessário estabelecer a percentagem ideal de água em relação à quantidade de material a ser moldada. Caso se conheça a umidade ótima do ensaio de compactação estática, pode-se trabalhar com esse dado [11].

Quanto aos estabilizantes, o mesmo autor afirma que um dos melhores e mais difundidos é o cimento, que trabalha reagindo quimicamente com a água, ao formar agentes cimentícios, e também com as partículas finas do solo. A percentagem do estabilizante depende do tipo de solo que se vai empregar na mistura. Se houver muita argila presente, é exigido o mínimo de 6% de cimento, em massa. Se o solo é excessivamente arenoso, podem ser requeridas taxas maiores. Se o solo é bem graduado, 4% de cimento pode resultar em blocos de ótima qualidade [11].

Os solos mais indicados para o solo-cimento são os arenosos; que o consumo de cimento depende fundamentalmente do tamanho dos grãos e da sua uniformidade; e que o acréscimo nos teores de silte e argila, ou a ocorrência de grãos muito uniformes, acarretam um aumento nos teores de cimento. Entretanto, também comenta que os solos devem ter um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento compactado é devida à coesão da fração fina compactada [12].

Segundo Barbosa [11], para os tijolos prensados, pode-se dizer que é desejável que o solo tenha: (a) 10% a 20% de argila; (b) 10% a 20% de silte; e (c) 50% a 70% de areia.

Milani e Freire [13], estudaram as características físicas e mecânicas da mistura de solo, cimento e casca de arroz, consideraram 1,5 MPa como o valor mínimo necessário para que a mistura solo-cimento-casca fosse aceitável, em termos de resistência mecânica de elementos construtivos. Mesmo assim, os autores atestaram que os valores de massa específica aparente seca máxima e de resistência à compressão simples das composições de solo-cimento-casca de arroz decresceram com o aumento do teor de casca de arroz.

Basha et al. [14] estudaram o uso da cinza da casca do arroz (CCA) como estabilizante de solo e obtiveram uma máxima resistência à compressão com uma mistura de 8% de CCA e cimento, além de concluírem que a resistência à compressão do solo-cimento estabilizado aumenta com a adição de CCA à mistura.

Por sua vez, Shon et al. [15] estudaram a aplicação das cinzas de combustão em leito fluidizado como matéria-prima na produção de blocos de terra comprimida. A combustão em leito fluidizado é um método de queima de carvão em um leito de partículas em suspensão aquecida em um fluxo de gás. Os autores concluíram que as misturas contendo a cal, como aglomerante, e a cinza volante obtiveram os melhores resultados de resistência à compressão, massa específica e absorção de água.

Buson [10], no entanto, concluiu que os critérios para a seleção do solo quanto à granulometria para a produção de BTCs não estão bem definidos e

que, para um estudo de caracterização de um novo compósito, deveriam ser analisadas diferentes composições de solos e estabilizantes.

Dessa forma, considerando a importância da inclusão de resíduos nos materiais de construção e priorizando as técnicas construtivas com terra, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência da adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em blocos de terra comprimida por meio de ensaios de resistência à compressão e absorção.

### Programa experimental

Para a confecção dos blocos, utilizou-se solo arenoso proveniente da região de Aveiro, Portugal. Antes de ser misturado com os demais materiais, o solo passou por um processo de separação de eventuais restos orgânicos e quaisquer outros detritos existentes, e de uniformização da granulometria, através da utilização de uma peneira n°. 4 (# 4,8 mm), de acordo com as recomendações da norma NBR 10832 [16]. Uma vez que o solo apresentou uma fração de areia grossa muito elevada (acima de 70%), optou-se por corrigir a granulometria com uma argila, o caulino, que foi escolhida pela disponibilidade na região.

Após algumas análises em relação à moldagem e compactação do BTC, escolheu-se a proporção de uma parte de caulino para sete partes de solo (1:7), em massa. A análise granulométrica do solo encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise granulométrica do solo utilizado nos blocos de terra comprimida

Solo Aveiro - amostra 1			Solo Aveiro - amostra 2		
Peneiras (mm)	% retida	% retida acumulada	Peneiras (mm)	% retida	% retida acumulada
4,76	0,00	0,00	4,76	0,06	0,06
2,00	14,70	14,70	2,00	20,14	20,20
0,85	55,51	70,21	0,85	60,17	80,37
0,425	16,23	86,44	0,425	13,00	93,37
0,250	5,88	92,32	0,250	3,00	96,37
0,106	5,22	97,54	0,106	2,09	98,46
0,075	1,08	98,62	0,075	0,48	98,94
Fundo	1,36	99,98	Fundo	1,05	99,99
Soma	99,98		Soma	99,99	
<b>Argila+silte</b>		<b>1,4%</b>	<b>Argila+silte</b>		<b>1,1%</b>
<b>Areia</b>	Fina	6,3%	<b>Areia</b>	Fina	2,6%
	Média	5,9%		Média	3,0%
<b>83,9%</b>	Grossa	71,7%	<b>78,7%</b>	Grossa	73,2%
Cascalho		14,7%	Cascalho		20,2%

O aglomerante utilizado como estabilizante do solo foi o Cimento Portland de calcário CEM II/B-L 32,5 N, da CIMPOR - Indústria de Cimentos, S.A. A composição química desse cimento encontra-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características do cimento CEM II/B-L utilizado nos blocos. Fonte: Fabricante.

<b>Composição química</b>	
Substância	Teor no cimento, em massa (%)
Clínquer de cimento Portland	45-100
Calcário	0-35
Cinzas volantes	0-55
<b>Massa específica</b>	2750-3200 kg/m <sup>3</sup>
<b>Massa unitária</b>	900-1500 kg/m <sup>3</sup>
<b>Dimensão média das partículas</b>	5-30 µm

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) foi utilizada em adição à massa total de solo+cimento. As amostras de CBC foram coletadas em usinas do Estado de São Paulo, Brasil, próximas à cidade de São Carlos. A cinza foi submetida ao peneiramento (# 4,8 mm) e à moagem por 3 minutos em moinho tipo almofariz-pistilo, apenas para homogeneização [Figura 1].



**Fig. 1.** Moagem da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar utilizada apresentou como resultados: massa específica, no valor de 2650 kg/m<sup>3</sup>; massa unitária, no valor de 1390 kg/m<sup>3</sup>; dimensão máxima característica no valor de 0,60 mm e módulo de finura no valor de 1,23. Os valores da análise química da CBC estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Análise química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar utilizada.

Elementos (%)	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O*	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	PF**
<b>CBC</b>	96,2	1,9	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	1,04

\* teor de álcalis

\*\* PF = Perda ao fogo

Para as análises, os blocos foram produzidos em duas séries, uma com 6% e outra com 12% de cimento em adição ao solo. Para cada série de blocos, utilizou-se teores de adição de CBC nos valores de 0%, 2%, 4% e 8%. A

quantidade de água foi ajustada para cada série e aumentou à medida que se aumentou a quantidade de CBC na mistura, para uma mesma consistência de amassamento e moldagem. A Tabela 4 apresenta a quantidade de material utilizado em cada série de blocos.

**Tabela 4.** Materiais utilizados na preparação dos blocos de terra comprimida

Série	Teor de cimento (em massa)	Proporção dos materiais - % (em massa)			Teor de água (%)
		Solo	Cimento	CBC	
<b>CP6-C0</b>	6% CP	1,00	0,06	-	10,85
<b>CP6-C2</b>		1,00	0,06	0,02	10,88
<b>CP6-C4</b>		1,00	0,06	0,04	11,36
<b>CP6-C8</b>		1,00	0,06	0,08	11,40
<b>CP12-C0</b>	12% CP	1,00	0,12	-	12,72
<b>CP12-C2</b>		1,00	0,12	0,02	12,81
<b>CP12-C4</b>		1,00	0,12	0,04	12,84
<b>CP12-C8</b>		1,00	0,12	0,08	13,33

A mistura dos materiais foi realizado em betoneira portátil com capacidade para 80 litros, onde se consegue misturar 10-12 blocos de solo-cimento por vez. Com o uso da betoneira, foram tomados alguns cuidados para se obter misturas homogêneas. Buson [10] também atestou que se a mistura fica girando por um tempo um pouco maior que o tempo necessário para a homogeneização do compósito, começa a apresentar “grumos”, ou pequenas bolas normalmente constituídas de um só material. Quanto maior a ocorrência dos grumos numa mistura menos homogênea ela resultará.

A moldagem dos blocos foi realizada em uma prensa manual do tipo TERSTARAM, da Appro-Techno. Essa prensa produz dois blocos por vez, não possui compartimento para depósito da mistura, nem sistema para colocação de material dentro dos moldes de compactação. Após a moldagem, os blocos foram dispostos em local com ventilação controlada e sem incidência direta do sol, até a data de ensaio [Figura 2].



**Fig. 2.** Blocos após a moldagem.

O ensaio de resistência à compressão e de absorção dos tijolos foram executados segundo as recomendações das normas NBR 8491 e NBR 8492 [17, 18], com algumas adaptações.

Em relação ao ensaio de resistência à compressão, algumas mudanças foram adotadas em relação às normas. A primeira foi em relação à submersão dos blocos em água antes da ruptura, na qual adotou-se a mesma metodologia de Buson [10]. E em segundo lugar, foi em relação ao número de exemplares submetidos ao ensaio. Foram ensaiados três blocos em cada série, e não dez, como a norma estipula.

Após o tempo de cura de 28 dias, os blocos foram cortados ao meio e unidos com uma pasta de cimento. Após 48 horas de secagem da pasta, foram nivelados com uma pasta de solo apenas para um melhor ajuste e regularização nos pratos da prensa [Figura 3].



**Fig. 3.** Ensaio de resistência à compressão dos blocos.

Em relação ao ensaio de absorção, tendo em vista que a NBR 10832 [16] prevê que os blocos tenham que ser utilizados com uma idade mínima de 14 dias, a aferição da absorção foi feita com tal idade.

### **Resultados e discussões**

Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos encontram-se na Tabela 5. Na série confeccionada com 6% de cimento, o aumento de adição de CBC resultou no aumento da resistência máxima à compressão dos blocos em até 54%, mas os valores médios da série não ultrapassaram o valor de 1,54 MPa, aos 28 dias. Apenas os blocos feitos com 12% de cimento obtiveram valores acima dos 2,00 MPa [17].

Para a série com 12% de cimento, os blocos de referência (CP12-C0) atingiram o valor médio de 3,13 MPa, aos 28 dias, enquanto que os blocos com 8% de CBC chegaram a 2,89 MPa. O coeficiente de variação foi bem menor nos blocos com 12% de cimento. Esse fato pode ser explicado pela maior quantidade de partículas finas dispersas na mistura, o que pode ter resultado em blocos mais homogêneos, e conseqüentemente, mais densos e resistentes.

**Tabela 5.** Resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos, aos 28 dias.

Séries	Resistência à compressão (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
CP6-C0	0,70	0,08	11,16
CP6-C2	0,92	0,19	20,67
CP6-C4	1,44	0,15	10,36
CP6-C8	1,54	0,16	10,16
CP12-C0	3,13	0,21	6,63
CP12-C2	2,77	0,11	3,81
CP12-C4	2,62	0,10	3,72
CP12-C8	2,89	0,11	3,81

Todos os valores de resistência à compressão médios da série com 12% de cimento ficaram acima do valor mínimo estipulado pela normalização brasileira, podendo-se destacar a série produzida com 8% de CBC, em massa. Uma vez que o valor médio dessa série (CP12-C8) ficou bem próximo do valor de referência (CP12-C0), um teste *t-Student* foi aplicado e determinou que não há subsídios suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade entre os valores médios obtidos. Dessa forma, pode-se concluir, neste ensaio, que a adição de CBC em 8% não influenciou a resistência à compressão dos BTC's.

Shon et al. [15] conseguiram valores de resistência à compressão na ordem de 24 MPa utilizando 80% de cinza de leite fluidizado, 10% de argila, 7% de cinza volante e 3% de cal. Os blocos foram moldados em prensa hidráulica, compressão de compactação de 55,20 MPa, em formas metálicas de 90x65x90 mm.

Buson [10] obteve valores de resistência à compressão de 7,01 MPa para BTCs produzidos com 6% de fibras dispersas de karft e 6% de cimento. Os BTCs de solo-cimento sem fibras atingiram valores de 6,42 MPa, aos 28 dias.

Em relação ao ensaio de absorção, a NBR 8491 também estabelece que os valores de absorção para os tijolos de solo-cimento podem chegar até os 20%, em média, a partir de sete dias. Os resultados mostraram que o aumento do teor de CBC aumentou a massa específica no estado seco dos blocos em até 6%, mas que os valores de absorção continuaram bastante próximos, em torno de 12% para todas as amostras. Os baixos valores obtidos para o desvio-padrão das amostras e também o coeficiente de variação entre 0,84% e 4,35%, para a absorção dos blocos, e entre 0,43% e 4,87% para os valores de massa específica seca, atestam a pequena variabilidade dos ensaios realizados [Tabela 6].

Buson [10] obteve valores de absorção nos blocos de Kraftterra de 25,67%, enquanto os BTCs de solo-cimento (referência) obtiveram valores de 18,08%, em média, aos 7 dias. O autor afirmou que a incorporação das fibras de papel kraft (de sacos de cimento) aumentou significativamente o índice de absorção de água dos blocos em valores acima dos recomendados pela norma brasileira.

**Tabela 6.** Resultados do ensaio de absorção, aos 14 dias.

Série	Absorção (%)	DP <sup>(1)</sup> - Absorção	CV <sup>(2)</sup> - Absorção (%)	Massa específica seca (kg/m <sup>3</sup> )	DP <sup>(1)</sup> - Massa Específica Seca	CV <sup>(2)</sup> - Massa Específica
CP6-C0	12,41	0,33	2,64	1927,3	40,77	2,12
CP6-C2	12,61	0,52	4,14	1951,3	8,33	0,43
CP6-C4	13,79	0,31	2,30	1991,0	16,86	0,85
CP6-C8	11,86	0,25	2,15	2021,0	44,23	2,19
CP12-C0	11,94	0,52	4,35	2017,0	98,20	4,87
CP12-C2	12,20	0,41	3,36	2006,3	65,03	3,24
CP12-C4	11,57	0,10	0,84	2033,0	30,05	1,48
CP12-C8	12,11	0,35	2,85	2041,0	22,91	1,12

1 – DP = Desvio Padrão; 2 – CV = Coeficiente de Variação

No trabalho de Shon et al. [15], o menor valor de absorção encontrado entre todas as séries foi de 23,20%. Já Milani e Freire [13] obtiveram valores mínimos da ordem de 15% nos blocos de terra comprimida que utilizaram solo arenoso, apesar da massa específica aparente seca dos blocos não terem superado o valor de 1900 kg/m<sup>3</sup>.

## Conclusões

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- A resistência à compressão dos blocos com 12% de cimento foram satisfatórias e atenderam aos valores estipulados pela normalização brasileira;
- A adição de CBC não afetou a resistência mecânica e a absorção de água dos blocos de terra comprimida produzidos com solo e cimento, e que este resíduo pode ser incorporado a esse tipo de componente;
- A série produzida com 12% de cimento Portland e 8% de CBC, em massa, pode ser utilizada na fabricação de blocos de terra comprimida para alvenaria não-estrutural.

## Referências

- [1] Pró-Álcool. Programa Brasileiro do Álcool. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>.
- [2] MAPA (2011). Produção Brasileira de Cana-de-açúcar. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>.
- [3] ÚNICA (2009). Setor Sucroenergético - Mapa da Produção. Disponível em: <http://www.unica.com.br/content/show.asp?> .
- [4] Revista Pesquisa FAPESP (2009). Cardápio energético. Edição Impressa, número 157, Março 2009.
- [5] Lima, S. A.; Sales, A.; Moretti, J. P.; Santos, T. J. (2009). Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 87-97.

- [6] Cordeiro G.C., Toledo Filho R.D., Tavares L.M., Fairbairn E.R.M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars, *Cem. & Conc. Composites*, 30 (2008), p. 410-418.
- [7] Cordeiro, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Tavares, L. M.; Fairbairn, E. M. R. Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete. *Cem. Conc. Research*, 39 (2009) p. 110-115.
- [8] Piattoni, Q., Quagliarini, Q., Lenci, S. Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks, *Const. Building Materials*, 25 (2011), p. 2067-2075.
- [9] Rigassi V. Compressed earth blocks – manual of production. CRATerre-EAG, vol.1, GATE/GTZ/BASIN, ISBN 3-528-02079-2, Alemanha, 1985.
- [10] Buson M. A. KRAFTTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical. Márcio Albuquerque Buson. – Brasília: PPG/FAU/UnB, 2009. 135 p.: 64 il. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2009.
- [11] Barbosa N. P. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: Coletânea Habitar, Volume 2 – Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional, p. 12-39. ANTAC. Porto Alegre, 2003.
- [12] CEPED. Manual de Construção com solo-cimento. Associação Brasileira de Cimento Portland. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Convênio CEPED/BNH/URBIS/ CONDER/PMC/OEA/CEBRACE, 4ª ed. São Paulo, 1999.
- [13] Milani, A. P. S.; Freire, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. *Engenharia Agrícola*, 26-1 (2006), p. 1-10.
- [14] Basha E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B., Muntohar, A.S. Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Const. Building Materials*, 19 (2005) 448–453.
- [15] Shon, C.-S., Saylak, D., Zollinger, D. G. Potential use of stockpiled circulating fluidized bed combustion ashes in manufacturing compressed earth bricks. *Const. Building Materials* 23 (2009) 2062–2071.
- [16] ABNT. NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989.
- [17] ABNT. NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984.
- [18] ABNT. NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1984.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a CAPES (Programa BEX), pela bolsa de estudos concedida; ao MCT/ CNPq, pelo auxílio financeiro; e ao Laboratório do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade de Aveiro.