

ANÁLISES DE DURABILIDADE DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS INCORPORADOS¹

BESSA, S., Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: sofiabessa@ufmg.br;
MELLO, T., Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: tiagoaugustogm@gmail.com;
BELO, B., Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: baahbelo@gmail.com.

ABSTRACT

Civil construction is one of the most relevant sectors in Brazilian economic scenario. However, it also affects negatively the environment in consequence of its large waste generation. Around 60% of all the solid waste produced in Brazil comes from the construction and demolition activities, which represents about 45 million tons of construction and demolition waste (CDW) per year. Recycling this material is a sustainable alternative to minimize those impacts. The main purpose of this paper is to compare and analyze the mechanical performance and the durability of soil-cement specimens with CDW incorporated, aiming at the verification of the viability of its use in monolithic walls with no structural function. Therefore, 40 specimens were studied in absorption, compression and durability tests according to NBR 13553. All the results overcame Brazilian standards minimum recommendations. The technical viability of the material and the compatibility of CDW with soil was verified. Besides the certified security of the use of CDW soil-cement, its application reinforces the benefits of constructive solutions with low economic and environmental impact.

Keywords: Construction and demolition waste. Compression. Absorption. Accelerated aging cycle.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais relevantes no cenário econômico brasileiro. Mesmo durante períodos de recessão, as atividades desse domínio correspondem a cerca de 6% do PIB (CBIC, 2017).

Contudo, o setor é, também, um dos que mais causa impactos negativos no meio ambiente. Em 2016, em torno de 60% de todo o resíduo sólido gerado no Brasil teve como origem as atividades de construção e de demolição, o que equivale a, aproximadamente, 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) gerados por ano (ABRELPE, 2016).

Levando-se em consideração a gestão de resíduos sólidos, sabe-se que esse volume pode ser ainda maior, quando contemplados os números referentes aos descartes clandestinos em lixões públicos. Em Belo Horizonte, nessa situação, em torno de 230 toneladas de resíduo são coletados por dia (SLU/PBH, 2018).

Para além da racionalização dos processos construtivos, que evita o desperdício e aumenta a eficiência da produção (MOURA e SÁ, 2013), o uso

¹ BESSA, S., MELLO, T., BELO, B. Análises de durabilidade de blocos de solo-cimento com resíduos incorporados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

do RCD como agregado aparece, também, como alternativa sustentável à degradação ambiental causada por sua má disposição.

Santos *et al.* (2015) estudaram o comportamento e os impactos na redução de custo de pavimentações com uso de solo e RCD reciclado em vias de tráfego intenso. O material estudado cumpriu as exigências estabelecidas pelas normas nacionais e teve um custo total 8,8% menor do que o padrão, produzido com material convencional.

Gomes *et al.* (2015) analisaram o desempenho do RCD incorporado visando à verificação da viabilidade da produção de concreto leve e obtiveram como resultado que o RCD pode ser utilizado em concretos de média resistência.

Todavia, sabe-se que o consumo energético para a fabricação de materiais industrializados é elevado. O processo de produção de componentes cerâmicos demanda, durante o processo de queima, temperaturas entre 900 e 1000°C. Dessa forma, soluções que contemplem também o uso de materiais naturais (não calcinados) são necessárias (MELO *et al.*, 2011).

O solo é considerado um dos mais antigos materiais de construção. Estima-se que um terço da população mundial habita ou trabalha em edificações construídas com terra (PIATTONI *et al.*, 2011; MINKE, 2015). Grande parte das cidades coloniais brasileiras foi erguida com o uso da terra. Todavia, com o surgimento dos materiais industrializados, essas técnicas deixaram de ter protagonismo no contexto formal da construção no país (MELO *et al.*, 2011).

Diversos pesquisadores (BUSON, 2009; HERNANDEZ *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2011; GUTIERREZ *et al.*, 2014; MENDES *et al.*, 2014; ARANDA-JIMÉNEZ, 2016; MARTINS *et al.*, 2016; entre outros) têm buscado comprovar as propriedades da terra em seus usos tradicionais, otimizar as técnicas através do uso de aditivos, agregados, novos equipamentos e ferramentas, dentre outros, a fim de encontrar soluções mais sustentáveis para as necessidades contemporâneas.

Com vistas à destinação adequada de um resíduo com expressiva geração no país, este trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade do solo-cimento com a incorporação de RCD após ciclos de envelhecimento acelerado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos corpos de prova (CPs) de solo-cimento, todos os materiais utilizados foram adquiridos na região metropolitana de Belo Horizonte e estão especificados na Tabela 1.

Tabela 1: Especificação dos materiais utilizados.

Material	Especificações
Solo	Perfil argiloso. Extraído em Pedro Leopoldo, município da região metropolitana de Belo Horizonte.
Areia	Utilizada para a adequação do solo à produção do material.
RCD	Coletado na Estação de Reciclagem de Entulho de Belo Horizonte, em granulometria equivalente à areia utilizada.
Cimento	Cimento Portland V ARI, de alta resistência inicial.

Fonte: Os autores.

O solo utilizado foi caracterizado conforme os ensaios listados na Tabela 2, bem como os demais materiais utilizados, para melhor entendimento de suas propriedades e necessidades quanto aos ensaios realizados.

Tabela 2: Métodos de caracterização.

Material	Solo	Areia	RCD
Métodos de caracterização	Granulometria NM 248 (ABNT, 2003).	Granulometria NM 248 (ABNT, 2003).	Granulometria NM 248 (ABNT, 2003).
	Limite de Liquidez NBR 6459 (ABNT, 1984).	Volume de Vazios e Massa Unitária NM 45 (ABNT, 2006).	Volume de Vazios e Massa Unitária NM 45 (ABNT, 2006).
	Limite de Plasticidade NBR 7180 (ABNT, 1984).	Massa Específica NM 52 (ABNT, 2001).	Massa Específica NM 52 (ABNT, 2001).
	Índice de Plasticidade NBR 6457 (ABNT, 1984).		

Fonte: Os autores.

Para a produção dos CPs, todos os materiais foram homogeneizados em um argamassadeira durante 30' em consistência seca e por mais 30' após a adição de água (Figura 1).

Figura 1: Mistura (esq.), moldagem (centro) e desmoldagem (dir.) dos CPs.



Fonte: Os autores.

Diferente do indicado pela NBR 12024 (1992), que sugere o uso de moldes metálicos de 100 mm x 127 mm, o molde utilizado para a produção dos CPs foi o mesmo recomendado pela NBR 7215 (ABNT, 1996) para a produção de

CPs de argamassa, com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (Figura 1). Souza (2011) realizou estudos com o mesmo molde, enquanto Pinto (2016) propôs um novo equipamento nas mesmas dimensões. Ambos levantaram questionamentos acerca da quantidade de material seco consumido pelo molde previsto pela ABNT.

O desmolde dos CPs se deu no mesmo dia, 1 hora após a finalização das moldagens. As peças repousaram numa caixa durante o processo de cura, que ocorreu durante os períodos de 7 e 28 dias em ambiente de laboratório (Figura 1), de acordo com os ensaios a serem realizados. Ao todo, foram produzidos 40 CPs em 2 diferentes grupos (Tabela 3).

Tabela 3: Materiais utilizados na produção dos corpos de prova.

	Grupo 1	Grupo 2
Solo	45%	45%
Areia média	45%	-
RCD	-	45%
cimento	10%	10%

Fonte: Os autores.

Para a análise da resistência à compressão, de acordo com a NBR 12025 (ABNT, 2012), foram moldados 4 CPs para cada idade - 7 e aos 28 dias. Com base nas recomendações da NBR 13555 (ABNT, 2012), foram utilizados 3 CPs para cada idade para o ensaio de absorção, também aos 7 e 28 dias.

Para a determinação da durabilidade, com base na NBR 13554 (ABNT, 1996), e seguindo adaptações feitas por Souza (2011) e Pinto (2016), foram moldados 6 CPs para a execução dos ensaios (molhagem-secagem) para cada um dos 2 grupos estudados.

Foi realizada uma moderada adaptação da NBR 13554 (ABNT, 1996) para melhor adequação do procedimento à rotina do laboratório, afim de eliminar inconsistências metodológicas (Tabela 4). A estrutura do procedimento, aparentemente simples, vê-se incoerente, uma vez que *“estabelece intervalos entre operações que resultam em horários inadequados para a realização de algumas etapas do ensaio, mesmo com um bom planejamento”* (PINTO, 2016).

Tabela 4: NBR 13554 –Tempos de molhagem e de secagem.

	Molhagem	Secagem
Metodologia padrão – NBR 13554	5 horas	42 horas a 72° C
Metodologia adaptada pelos autores	24 horas	48 horas a 72° C

Fonte: Os autores.

Após os seis ciclos estendidos de molhagem e de secagem (adaptados) de 72 horas cada, foram determinadas as variações de umidade, o volume e a perda de massa dos CPs, conforme a norma técnica (Figura 3). Ao final de todos os procedimentos, foram realizados testes de resistência à compressão afim de caracterizar o material.

Figura 3: Execução dos ensaios de absorção, compressão axial e durabilidade.



Fonte: Autores.

Para comparar os resultados obtidos por ambos os grupos nos ensaios realizados, utilizou-se como parâmetro a norma D2487 (ASTM, 2011) para a classificação do solo. Após essa definição, os resultados mínimos determinados pela NBR 13553 (ABNT, 1996) foram comparados com os obtidos no estudo para a verificação do desempenho alcançado pelos CPs com e sem RCD, com o objetivo de classificar o material como apto ou não para o uso em paredes monolíticas de solo-cimento sem função estrutural.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais estão discriminados na Tabela 5. Quanto à granulometria, tanto o RCD quando a areia utilizada se enquadraram dentro da zona utilizável (NBR 7211/2005) por apresentarem Módulo de Finura - MF nos valores de 3,44 e 3,21, respectivamente. A Figura 4 apresenta o perfil granulométrico dos materiais utilizados na produção dos CPs.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de caracterização.

Material	Solo	Areia	RCD
Métodos de caracterização	Limite de Liquidez (30,28%) - LL	Volume de Vazios e Massa Unitária (0,11%; 1,39 g/cm ³)	Volume de Vazios e Massa Unitária (1,38%; 1,56 g/cm ³)
	Limite de Plasticidade - LP (22,54%)	Massa Específica (2,49 g/cm ³)	Massa Específica (2,22 g/cm ³)
	Índice de Plasticidade - IP (7,74%)		

Fonte: Os autores.

Com base nas diretrizes estabelecidas pela D3282 (ASTM, 2009), as amostras de solo de Pedro Leopoldo foram classificadas como tipo A-2-4 (menos que 35% passando na #200), pois: LL 40% (máximo), IP 10% (máximo), material passante na peneira 75 µm 30% (máximo). Para essa classificação de solo, a perda de massa após o sexto ciclo de molhagem-secagem não pode ser superior a 14%.

Figura 4: Perfil granulométrico dos materiais utilizados.

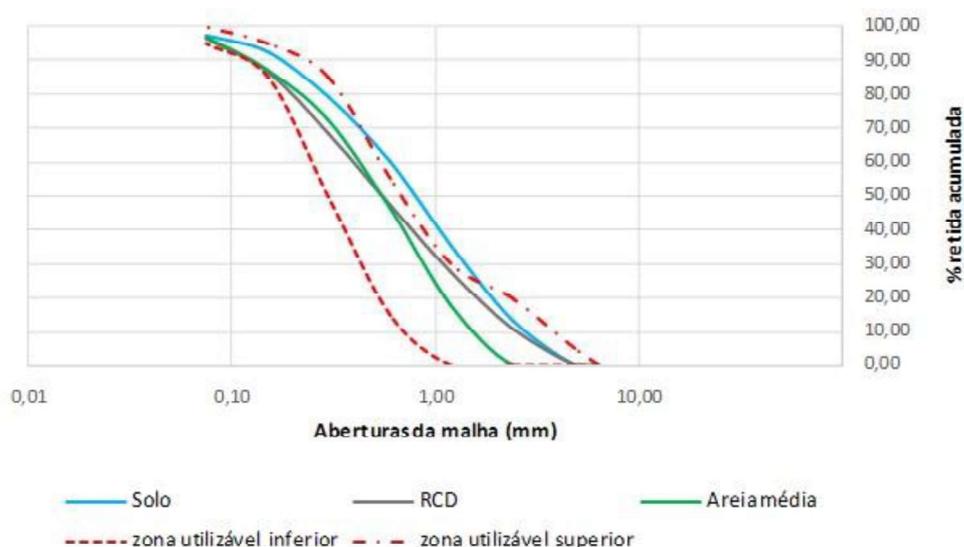


Tabela 6 – Parâmetros e resultados obtidos.

Avaliações	NBR 13553	Tempo de Cura	Grupo 1 (sem RCD)	Grupo 2 (com RCD)
Absorção	$\leq 20\%$	7 dias	13,45 %	16,43 %
		Desvio padrão	0,97%	0,71%
		Coeficiente de variação	7,21%	4,32%
		28 dias	13,18 %	15,84 %
		Desvio padrão	0,11%	0,93%
		Coeficiente de variação	0,83%	5,87%
		Pós-durabilidade	10,23%	11,91 %
		Desvio padrão	0,02%	0,02%
		Coeficiente de variação	0,24%	0,17%
Compressão	$\geq 1,0$ MPa	7 dias	3,74 MPa	2,33 MPa
		Desvio padrão	0,23 MPa	0,01 MPa
		Coeficiente de variação	5,97%	0,54%
		28 dias	4,45 MPa	3,96 MPa
		Desvio padrão	0,39 MPa	0,58 MPa
		Coeficiente de variação	8,9%	14,71%
		Pós-durabilidade	17,83 MPa	14,73 MPa
		Desvio padrão	2,26 MPa	2,23 MPa
		Coeficiente de variação	8,43%	15,19%
Variação de Volume	1%	28 dias	0,82%	0,80%
		Desvio padrão	0,02%	0,03%
		Coeficiente de variação	0,12%	0,14%
Perda de Massa	$\leq 14\%$	28 dias	10,94%	13,28%
		Desvio padrão	0,11%	0,02%
		Coeficiente de variação	0,84%	0,12%

Fonte: Os autores.

Os CPs produzidos com RCD obtiveram valores compatíveis com todas as análises realizadas. As adaptações nos tempos de secagem-molhagem empregadas na realização do ensaio podem ter alterado o valor final desse ensaio, de forma quantitativa, ainda que minimamente (Tabela 6).

O parâmetro relativo ao desenvolvimento da resistência à compressão ao longo de ensaio de durabilidade, que atinge 14,7 MPa no Grupo 2, merece destaque pelo fato de que a perda de massa um pouco mais elevada não interferiu na resistência final da matriz cimentícia.

Visualmente, os CPs de solo-cimento produzidos com areia e com RCD se mostraram semelhantes, mesmo após os ciclos de secagem-molhagem, o que demonstra a compatibilidade do RCD com as matrizes de solo-cimento (Figura 5).

Figura 5: Aspecto final dos CPs após ensaios de absorção e de durabilidade (secagem-molhagem). Nas 2 imagens, os exemplares com RCD estão à esquerda.



Fonte: Os autores.

A estabilidade dimensional é característica importante dos produtos à base de terra, uma vez que se trata de um material higroscópico. Mesmo que os blocos de solo-cimento não sejam utilizados sem revestimento, valores elevados de absorção e de variação dimensional cíclica podem acelerar a deterioração do material. Todos os CPs analisados obtiveram valores compatíveis com a normas brasileiras.

4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que:

- O material proposto obteve desempenho superior às determinações mínimas propostas pelas normas técnicas brasileiras, estando, assim, apto a ser usado em paredes monolíticas e/ou em componentes construtivos;
- Foi comprovada a eficiência e a viabilidade do uso do RCD, além de comprovada a sua compatibilidade com o solo na produção de componentes construtivos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7180**: Solo - determinação de limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7181**: Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR 12024**: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.

____. **NBR 12025**: Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2012.

____. **NBR 13553**: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR 13554**: Solo-cimento - ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR 13555**: Solo-cimento - determinação da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR NM45**: Agregados - determinação de massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

____. **NBR NM49**: Agregado miúdo - determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

____. **NBR NM52**: Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM248**: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2016**. São Paulo, 2016.

ARANDA-JIMÉNEZ, Y. G., GARCÍA-IZAGUIRRE, V. M. Efectos de utilización de savias vegetales em bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión. **LEGADO de Arquitectura y Diseño**, 19 (2016), pg. 101-110.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2487**: Unified soil classification system. 2011.

____. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3282**: American Association of State Highway and Transportation Officials. 2009.

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.

CBIC. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **PIB Brasil e Construção Civil: IBGE, 2017**. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

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.

GOMES, P. C. C., ALENCAR, T. F. F., SILVA, N. V., MORAES, K. A. M., ÂNGULO, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados, **Ambiente Construído**, 15 (2015), pg. 31-46.

GUTIERREZ, R. S. R., IZAGUIRRE, V. M. G., MUJICA, J. A. E. Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. **Nova Scientia**, Universidad de la Salle Bajío, 2014.

HERNANDEZ, A. V., BOTERO, L. F. B., ARANGO, D. C. Fabricación de bloques de tierra comprimida com adición de residuos de construccion y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. **Ingeniería y Ciencia**, Vol. 11. No. 21 (2015), pg. 197-220.

LIMA, S. A., VARUM, H., SALES, A., NETO, V. F. Analysis of the mechanical properties of compressed earth blocks masonry using sugarcane bagasse ash, **Const. Building Materials**, 35, 2012, p. 829-837.

MARTINS, L. R., FERNANDES, F. F., CAMPOS, A. M. L. S. Utilização de resíduo de construção e demolição na estabilização do solo de Iranduba para confecção de tijolo de solo-cimento. CONTECC - Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2016.

MELO, A. B., BARBOSA, N. P., LIMA, M. R. F., SILVA, E. P. Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, 2011.

MENDES, R., ZANOTTI, R. A. R., MENEZES, J. C. S. S. Produção de solo-cimento utilizando resíduo de polimento de grés de porcelanato como fonte de sílica, **Revista de Engenharia Civil IMED**, 1, 2014, p. 50-55.

MINKE, G. **Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável**. São Paulo: B4 Editores, 2015. 225p.

PIATTONI, Q., QUAGLIARINI, Q., LENCI, S. Experimental analysis and modelling of the mechanical behavior of earthen bricks, **Const. Building Materials**, 25 (2011), p. 2067-2075.

MOURA, A., SÁ, M. V. V. A. Influência da racionalização e industrialização na construção sustentável. **Tecnologia e Informação**. Petrópolis/RN, 2013

PBH. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Superintendência de Limpeza Urbana** - Estatísticas, 2018. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/estatisticas>>. Acesso em: 10mar. 2018.

PINTO E. S. **Solo-cimento compactado**: proposta de métodos de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica. Eduardo Souza Pinto. – Bauru:

PPG/FAAC/UNESP, 2016. 209 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual de São Paulo, 2016.

SANTOS, A. G; TEIXEIRA, R. W; MELLO, E. A; TEIXEIRA, J. Avaliação do custo de construção de uma estrutura de pavimento empregando agregado reciclado de RCD. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 10 (2015), pg. 1-13.

SOUZA F. A. **Estudo da durabilidade de blocos de solo-cimento com a incorporação de casca de arroz**. Francisco Augusto de Souza. – Campina Grande: PPG/CCT/UFCG, 2011. 226 p.: 68 il. Tese (doutorado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2011.