



## COMPORTAMENTO MECÂNICO E VIABILIZAÇÃO TÉCNICA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS SOB MISTURA SOLO EÓLICO-CIMENTO

Campagnolo, L.C.<sup>1</sup> (1); Tapahuasco, W. F. C.<sup>2</sup> (1); Marangon, E.<sup>3</sup> (1); Bertolo, C. E. K.<sup>4</sup> (1); De Oliveira, L.O.<sup>5</sup> (1); Garcez, N. N.<sup>6</sup> (1); Nunes, V. R. C.<sup>7</sup> (1).

(1) Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), *campus* Alegrete.

<sup>1</sup>eng.lucielecampagnolo@gmail.com; <sup>2</sup>wilbertapahuasco@unipampa.edu.br;  
<sup>3</sup>ederlimarangon@unipampa.edu.br; <sup>4</sup>carlosbertolo.aluno@unipampa.edu.br;

<sup>5</sup>luziele31@gmail.com; <sup>6</sup>nataliagarcez.ng@gmail.com;

<sup>7</sup>vitornunes.aluno@unipampa.edu.br

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilização do uso da mistura solo eólico-cimento na confecção de tijolos ecológicos maciços. Seguindo as diretrizes da ABNT NBR 8491/2012, foram preparadas duas proporções da mistura solo eólico-cimento (90%-10% e 80%-20%), combinados com a adição de água de 8,75%, na proporção base seca. Os tijolos foram moldados utilizando um molde metálico para tijolos do tipo A, com dimensões de 20,0 cm x 10,0 cm x 5,0 cm, e prensados em uma prensa hidráulica uniaxial. Após um período de cura de 28 dias, os tijolos foram submetidos a testes de absorção de água e de resistência à compressão. Todos os tijolos compostos da combinação solo eólico-cimento-água, atenderam aos requisitos técnicos da norma da ABNT NBR 8491/2012, apresentando resistência à compressão média superior a 2,0 MPa e absorção de água abaixo de 20%.

**Palavras-chave:** Tijolos ecológicos, Solo-cimento, Resistência à compressão.

### 1. INTRODUÇÃO

Os tijolos de solo-cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos, estão em crescente destaque entre os principais materiais inovadores da construção civil, no qual constituem uma alternativa ao desenvolvimento sustentável para as construções devido ao seu processo de fabricação, que evita a emissão de gases de efeito estufa (1,2,3). Além disso, tem o suporte das técnicas de fabricação solo-

cimento normalizadas pela ABNT (13, 19). Segundo os autores (4), o tijolo ecológico de solo-cimento possui solo, cimento e água em sua composição e, após um período de cura, a sua resistência à compressão equipara-se à do tijolo convencional. Alguns estudos apresentam os melhores resultados de resistência para tijolos de solo-cimento que foram produzidos com solos arenosos ou que apresentaram teor de areia entre 45% e 50% (5,6).

Em edificações civis, as areias mais utilizadas são provenientes da exploração de leitos de rios (7). A exploração de leitos de rios causa diversos problemas ambientais, tais como remoção da cobertura vegetal, erosão, assoreamento dos rios, entre outros (8). Buscando uma maneira de reduzir os impactos negativos da exploração das areias de rios, uma alternativa seria propor a substituição por solos eólicos de arenização.

O processo de arenização eólica ocorre em diversas regiões do mundo, resultando em solos com características comuns, predominantemente arenosos e sem cobertura vegetal contínua, o que leva à formação de manchas de areia visíveis (areais). Diversos estudos têm investigado a viabilidade do aproveitamento desses solos eólicos na construção civil (9,10,11,12). Em todos esses estudos, o cimento Portland tem sido o aglomerante mais utilizado para melhorar as propriedades desses solos.

O presente trabalho tem como objetivo confeccionar tijolos ecológicos maciços sob diferentes proporções de solo eólico-cimento, que atendam aos requisitos exigidos pela norma técnica da ABNT (13).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Inicialmente, foram coletadas amostras deformadas de um solo eólico oriundo de processo de arenização, na área rural do município de Alegrete, nas coordenadas 29°54'44.6"S e 55°29'11.1"O. No laboratório, as amostras foram homogeneizadas, quarteadas e secas a temperatura ambiente até atingir a umidade higroscópica. Seguidamente, foram realizados ensaios básicos de caracterização geotécnica, tais como análise granulométrica pelo método do peneiramento (14), massa específica dos grãos (15), limite de liquidez (16) e limite de plasticidade (17). Como material aglomerante foi utilizado o cimento Portland CP IV-32 RS. A água utilizada foi do abastecimento da rede pública local da cidade de Alegrete-RS.

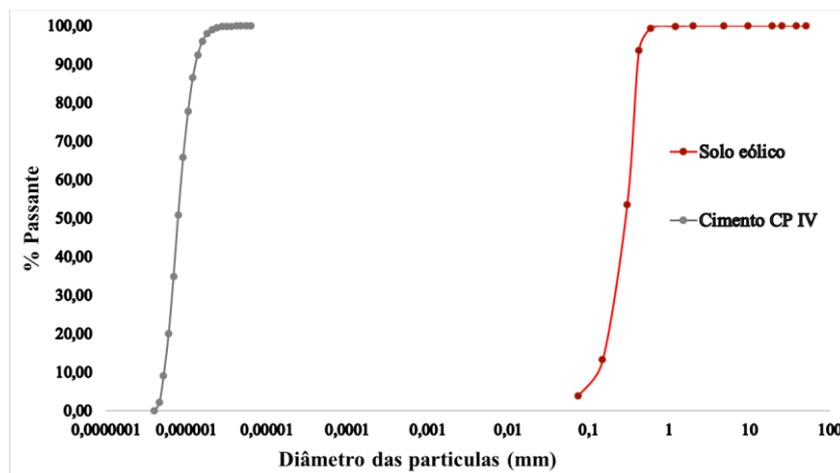
A Tabela 1 e a Figura 1, apresentam, respectivamente, a caracterização geotécnica do solo eólico e a distribuição das curvas de granulometria dos materiais utilizados (solo eólico e cimento Portland - CP IV-32 RS).

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica do solo eólico.

Propriedades	Resultados
Coefficiente de uniformidade (Cu)	2,67
Areia (%)	96,1
Silte e Argila (%)	3,9
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,68
Limite de liquidez (%)	-
Limite de plasticidade (%)	-
Classificação SUCS	SP

Fonte: O autor, 2024.

Figura 1. Distribuição granulométrica dos materiais: Solo eólico, cimento Portland (CP IV) e sílica da casca de arroz (SCA).



Fonte: O autor, 2024.

Os resultados dos testes de caracterização geotécnica mostraram que o solo eólico (Tabela 1) não tem comportamento plástico, não apresentando limite de liquidez e nem limite de plasticidade, além disso possui uma massa específica dos grãos de

2,68 g/cm<sup>3</sup>. Pela classificação SUCS (18), o solo é classificado como areia mal graduada (SP).

Conforme observa-se na Figura 1, o solo eólico possui partículas muito uniformes, apresentando um coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ) menor do que 5, além disso, a sua composição granulométrica está constituída de 96,1% de areia (entre 2,0mm e 0,075mm) e 3,9% de silte e argila (menor do que 0,075mm). O cimento Portland (CP IV) obteve sua granulometria compreendida na faixa de  $0,1 \times 10^{-5}$  a  $0,1 \times 10^{-6}$  mm.

Após a caracterização dos materiais, foram preparadas duas misturas para a fabricação de tijolos ecológicos maciços de solo eólico-cimento, compostas, em peso, por 90%-10% e 80%-20%. Inicialmente, as misturas foram homogeneizadas em condição seca até atingirem uma completa uniformidade. Posteriormente, foi adicionada água na proporção de 8,75% em peso. A massa úmida foi colocada no molde metálico e prensada em uma prensa hidráulica uniaxial com capacidade de 100 toneladas, seguindo as dimensões especificadas pela normativa da ABNT (13) para tijolos maciços do tipo A, medindo 20,0 cm x 10,0 cm x 5,0 cm (comprimento x largura x altura). A Figura 2 apresenta o processo de fabricação dos tijolos ecológicos.

Figura 2. Processo de fabricação dos tijolos ecológicos.



Fonte: O autor, 2024.

Foram moldados pelo menos 12 tijolos para cada dosagem e, após 24 horas de moldados, foram mantidos úmidos por meio de molhagens sucessivas, por um período de cura de 28 dias.

Finalizado o tempo de cura, os tijolos tiveram as dimensões aferidas com o auxílio de um paquímetro, conforme orienta a normativa (19). Seguidamente, foram escolhidos aleatoriamente três tijolos maciços de cada lote para análise da porcentagem média de absorção de água. O ensaio de absorção de água consistiu em colocar os tijolos em estufa por 24 horas, à temperatura de  $105 \pm 2$  °C. Após serem retirados da estufa e atingirem temperatura ambiente, os tijolos foram pesados em balança digital com resolução de 0,01g, anotando suas respectivas massas secas e, em seguida, submersos em água por 24 horas. Passado esse tempo, os tijolos foram novamente pesados para verificar sua massa saturada. A absorção foi calculada a partir da Equação 1.

$$A = [(m2 - m1)/m1] \times 100 \quad (1)$$

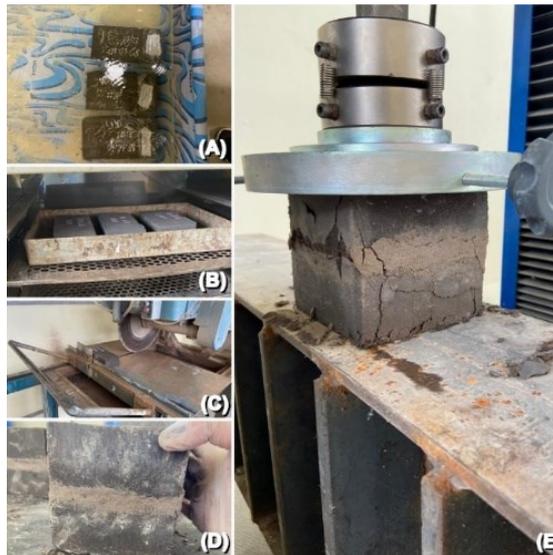
Sendo: "A" a absorção de água, expressa em porcentagem (%); "m1" a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g) e "m2" a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

Para o ensaio de resistência, foram escolhidos aleatoriamente sete tijolos de cada lote, conforme orienta a norma (19). Prévio aos testes de resistência, os tijolos passaram por um processo de corte, sendo cortados ao meio do seu comprimento. Seguidamente aplicou-se o capeamento nas faces superior e inferior, para posteriormente serem unidas por uma camada fina de argamassa (aproximadamente 3mm), constituída de cimento Portland e areia na proporção 1:1. Finalmente, após a argamassa endurecida, os tijolos foram submersos em água por um período de 6 horas e, em seguida, ainda úmidos submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples. O referido ensaio foi realizado com uma prensa hidráulica de capacidade máxima de 200 kN. A movimentação da carga ocorreu com uma velocidade de rompimento constante de 1 mm/s e, o ensaio foi cessado quando o valor da carga

máxima começou a diminuir, apresentando fissuras visíveis nos tijolos. Após o ensaio, foi calculada a resistência à compressão de cada tijolo ensaiado.

A Figura 3, mostra a execução dos ensaios de absorção de água e de resistência à compressão simples nos tijolos ecológicos maciços.

Figura 3. Etapas dos ensaios de absorção e resistência à compressão simples no laboratório: (A) Imersão em água; (B) Secagem em estufa; (C) Corte; (D) Capeamento; (E) Compressão simples.

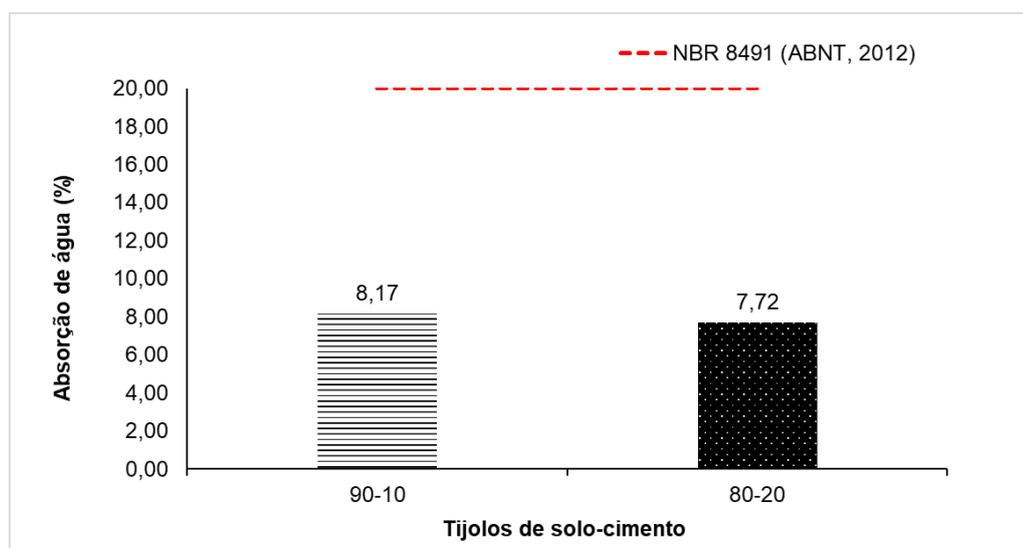


Fonte: O autor, 2024.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o cálculo da absorção de cada tijolo, foi calculada a porcentagem média de absorção de água de cada dosagem aplicada na fabricação dos tijolos ecológicos maciços, aos 28 dias de cura, conforme orienta a norma (19). A Figura 4 apresenta os valores obtidos de cada dosagem aplicada na fabricação dos tijolos ecológicos maciços.

Figura 4. Valores médios de porcentagem de absorção de água.

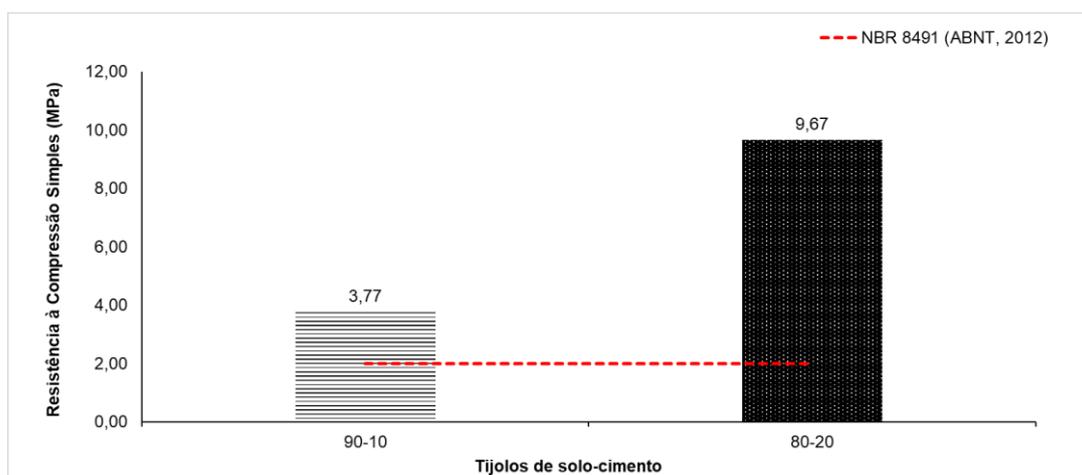


Fonte: O autor, 2024.

A análise dos resultados do ensaio de absorção de água (Figura 4) mostrou que ambas as dosagens utilizadas na fabricação dos tijolos ecológicos de solo-cimento atendem aos requisitos mínimos estabelecidos pela normativa da ABNT (13), com valores de absorção de água inferiores a 20%. Contudo, é possível observar que a dosagem com maior teor de cimento apresentou a menor absorção, o que pode ser atribuído à maior quantidade de cimento, que atua como agente aglutinante, preenchendo os poros e reduzindo a permeabilidade do material. Ambas as dosagens evidenciam o potencial do solo eólico como substituto parcial do cimento e substituto por completo das areias de rios, promovendo o reaproveitamento de materiais sustentáveis e contribuindo para a sustentabilidade na construção civil.

Após o cálculo da resistência à compressão de cada tijolo, foi calculada a média de resistência de cada dosagem aplicada na fabricação dos tijolos ecológicos maciços. A Figura 5 apresenta os valores obtidos para comparação.

Figura 5. Valores médios de resistência à compressão simples (MPa).



Fonte: O autor, 2024.

Conforme apresentado na Figura 5, o aumento no teor de cimento de 10% (mistura 90-10) para 20% na mistura 80-20 resultou em uma elevação significativa na resistência, atingindo um acréscimo de 156,5%, demonstrando assim uma maior eficácia no ensaio. No entanto, apesar desse acréscimo, ambas as dosagens exibiram valores médios de resistência à compressão superiores ao mínimo exigido pela normativa da ABNT (13), que é de 2,0 MPa. Esses resultados indicam que o uso do solo eólico na produção de tijolos ecológicos é uma alternativa promissora, capaz de atender aos requisitos normativos, mostrando-se uma solução sustentável para uso na construção civil.

#### 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que:

- Todos os lotes de tijolos ecológicos confeccionados a partir das misturas 90-10 e 80-20 (solo eólico-cimento) atenderam à resistência à compressão mínima estabelecida pela normativa (13), com valor médio superior a 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>), e nenhum valor individual abaixo de 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>).
- Os valores de absorção de água dos tijolos maciços das misturas 90-10 e 80-20, sob mistura solo eólico-cimento, atenderam aos requisitos da norma ABNT (13), onde a absorção média não foi superior a 20%, e nenhum valor individual superou o limite de 22%.

- c) O solo eólico mostrou-se promissor como substituto parcial do cimento e como substituto por completo das areias de rios, mostrando-se capaz de atender aos requisitos normativos da ABNT (13).
- d) Finalmente, considerando que ambas as dosagens empregadas na fabricação dos tijolos ecológicos apresentaram valores de resistências e de absorção de água de acordo com o exigido pela normativa (13), destaca-se a dosagem 90-10, por envolver a maior concentração de solo eólico e menor teor de cimento na mistura, promovendo o aproveitamento de materiais sustentáveis na construção civil.

## REFERÊNCIAS

- (1) GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- (2) WEBER, E.; CAMPOS, R. F. F.; BORGA, T. Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil. 2017. **Ignis**, Caçador, v. 6, n. 2, p.18-34. Disponível em: <<https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1178/706>>. Acesso em: 02 de junho de 2024.
- (3) SANTOS, W.P.C.; SUZART, V.P.; SILVA-JUNIOR, N.F.S. Tendência tecnológica para o processo de preparação de compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, v.6, n.1, p.36-44. 2013.
- (4) MOTA, J. D. et al. **Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento**. 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólido, 2010.
- (5) FERREIRA, R.C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termo físicas de tijolos e mini painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 2003. 204 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- (6) SOUZA, I. B. M.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, A. J. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 12 v, n. 2, p. 205 – 212, 2008.
- (7) VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil**. In: Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral Brasileiro de 2006. Brasília: 2006, p. 37-42.

- (8) LELLES, L. C. et al. **Perfil Ambiental Qualitativo da Extração de Areia em Cursos d'água**. Viçosa: R. Arvoré. v. 29 n. 3, 2005. p. 439-444.
- (9) TIWARI, S. K.; SHARMA, J. P.; YADAV, J. S. Akademia Baru Behaviour of Dune Sand and its Stabilization Techniques. 2016. **Journal of Advanced Research in Applied Mechanics**. ISSN, 19(1), 2289–7895.
- (10) RUVER, C. A.; MACHADO, C. R.; AUGUSTO, C.; BASTOS, B. Viabilidade técnico econômica da areia eólica estabilizada com agentes aglomerantes para emprego em pavimentação. 2013. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, v. 1 n. 21, p.13-24. 2013.
- (11) AL-TAIE, A. J.; AL-SHAKARCHI, Y. J.; MOHAMMED, A. A. Investigation of Geotechnical Specifications of Sand Dune Soil: a Case Study Around Baiji in Iraq. **IJUM Engineering Journal**, 14(2). 2013.
- (12) ABU SEIF, E. S. S.; SONBUL, A. R. Geotechnical performance of Sandy bricks made with fine aggregates of sand dunes, Saudi Arabia. **Arabian Journal of Geosciences**, 12 (5). 2019.
- (13) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). **NBR 8491**. Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro.
- (14) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- (15) ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2014). **ASTM D 854**. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Estados Unidos.
- (16) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). **NBR 6459**. Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- (17) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). **NBR 7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- (18) ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2017). **ASTM D 2487**. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). Estados Unidos.
- (19) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). **NBR 8492**. Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro.

## **MECHANICAL BEHAVIOR AND TECHNICAL FEASIBILITY OF ECOLOGICAL BRICKS USING WIND-BLOWN SOIL-CEMENT MIXTURE**

**ABSTRACT:** This study aims to investigate the feasibility of using a wind-blown soil-cement mixture in the production of solid ecological bricks. Following the guidelines of ABNT NBR 8491/2012, two proportions of the soil-cement mixture (90%-10% and 80%-20%) were prepared, combined with 8.75% water, based on dry weight. The bricks were molded using a metal mold for type A bricks, with dimensions of 20.0 cm x 10.0 cm x 5.0 cm, and pressed in a uniaxial hydraulic press. After a curing period of 28 days, the bricks were subjected to water absorption and compressive strength tests. All bricks composed of the soil-cement-water combination met the technical requirements of ABNT NBR 8491/2012, showing an average compressive strength greater than 2.0 MPa and water absorption below 20%.

**Keywords:** Ecological bricks, Soil-cement, Compressive strength.