



DETERMINAÇÃO DA UMIDADE ÓTIMA DE MOLDAGEM DE TIJOLO MODULAR DE SOLO-CIMENTO PARA DETERMINANDA PRESSÃO APLICADA EM COMPARAÇÃO AO VALOR OBTIDO NO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO PROCTOR NORMAL

Junior, W.F.¹; Alexandre, J.¹; Oliveira, S.R.C.²; Fernandes, T.M.S.²; Azevedo, A.R.G.¹;
Silva, J.C.B.¹

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF);

²Instituto Federal Fluminense (IFF)

Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes/RJ, 28013602
wferjunior@gmail.com

A umidade ótima de moldagem é crucial na produção de tijolos de solo-cimento, mas ainda não existe um critério específico para sua determinação. O método mais comum, o ensaio de compactação Proctor Normal, não é ideal, pois a força aplicada no ensaio difere da força usada na prensa durante a moldagem. Este estudo testou cinco traços de mistura solo-cimento com resíduo de fabricação de papel, determinando a umidade ótima de moldagem para cada um por meio de compactação. Corpos de prova cilíndricos foram moldados com a umidade ótima, além de valores acima e abaixo dela, para correlacionar com a densidade. Todos os corpos de prova foram moldados sob a mesma pressão, e os resultados mostraram que a pressão aplicada influencia na umidade ótima de moldagem. Constatou-se que a umidade ótima determinada pelo ensaio Proctor não é adequada para essa aplicação, pois difere dos valores encontrados para moldagem real dos tijolos.

Palavras-chave: Solo-cimento, tijolo ecológico modular, umidade ótima, força de prensagem, compactação.

INTRODUÇÃO

A produção de tijolos de solo-cimento envolve a adição de cimento e a compressão do solo para a formação de blocos com propriedades adequadas à construção civil. A umidade ótima de moldagem é um dos parâmetros fundamentais para garantir a qualidade e resistência dos tijolos produzidos (1). Essa umidade está intimamente ligada à compactação do solo, influenciando sua densidade e a formação da estrutura desejada. O método mais utilizado para determinar a umidade ótima é o ensaio de compactação Proctor, que, embora eficiente, não simula com precisão as condições reais de pressão durante a moldagem (2).

Além disso, a incorporação de resíduos industriais, como os de fabricação de papel, tem ganhado destaque como forma de aprimorar as propriedades do solo-cimento. Resíduos como a celulose e o pó de papel podem melhorar a resistência dos tijolos, bem como oferecer uma solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos (3). No entanto, o efeito desses resíduos sobre a umidade ótima de moldagem é pouco explorado, e estudos recentes têm mostrado que a pressão aplicada durante a compactação pode alterar significativamente a determinação da umidade ideal para a produção dos tijolos (4).

Pesquisas indicam que a utilização do ensaio de compactação Proctor, embora amplamente utilizado, não apresenta resultados precisos para misturas de solo-cimento com aditivos, como os resíduos de papel, devido à diferença nas condições de compactação comparadas àquelas empregadas na moldagem real (5). Essa discrepância sugere que novos métodos de avaliação da umidade ótima precisam ser desenvolvidos para adequar os parâmetros às especificidades de cada tipo de mistura, especialmente quando resíduos são incorporados.

A umidade ótima de moldagem é um fator de extrema importância na confecção de tijolos de solo-cimento, porém ainda não há um critério específico pelo qual a umidade possa ser determinada para esta aplicação. O método mais utilizado é o da compactação Proctor Normal, mas não é o mais adequado, pois a força aplicada no ensaio de compactação pode não ser igual à força aplicada na prensa na etapa de moldagem dos tijolos. O objetivo do presente trabalho é encontrar a umidade ótima de moldagem a partir da pressão aplicada por uma prensa hidráulica para confecção de tijolos modulares prensados de solo-cimento com dimensões de 30cmx15cmx7cm.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os tijolos produzidos neste trabalho foram constituídos de solo argiloso, cimento Portland, areia, resíduo da fabricação de papel e água.

O solo que foi utilizado nos experimentos é proveniente do distrito de Poço Gordo, no município de Campos dos Goytacazes, no norte do Estado do Rio de Janeiro. O cimento Portland utilizado foi do tipo CP V-ARI da marca Votoran. A areia utilizada nesta pesquisa é proveniente da bacia do Rio Paraíba do Sul, localizada no município de Campos dos Goytacazes, sendo uma areia natural de quartzo. O resíduo utilizado é o lodo primário proveniente da fabricação de papel e foi fornecido e transportado pela Companhia Paduana de Papéis (COPAPA) até o campus da UENF.

Métodos

Para o presente trabalho, foram testados cinco diferentes traços da mistura solo-cimento com a incorporação do resíduo da fabricação de papel, sendo determinada a umidade ótima de moldagem de cada traço através do ensaio de compactação Proctor Normal. A partir do valor de umidade ótima encontrado para cada traço, foram moldados corpos de prova cilíndricos com o valor encontrado, dois valores abaixo e dois valores acima da umidade ótima de compactação, correlacionando os valores das umidades com a densidade dos corpos de prova.

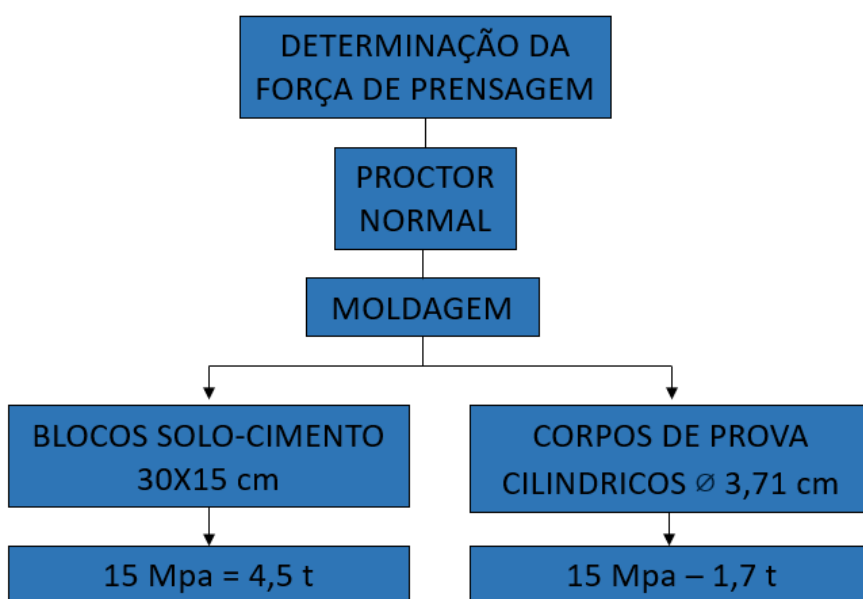
Foram estudados cinco diferentes traços, sendo um traço formado com solo e cimento, denominado T0; um traço referência composto por solo estabilizado com areia (T1) e cimento; e três traços com substituição parcial do solo T1 pelo resíduo em proporções de 5%, 10% e 15%, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Traços produzidos.

	(CIMENTO : SOLO : AREIA : RESÍDUO)	
TRAÇOS	MASSA	%
T0	1 : 9 : 0 : 0	10 : 90 : 0 : 0
T1	1 : 6,3 : 2,7 : 0	10 : 63 : 27 : 0
T2	1 : 5,95 : 2,55 : 0,5	10 : 59,5 : 25,5 : 5
T3	1 : 5,6 : 2,4 : 1	10 : 56 : 24 : 10
T4	1 : 5,25 : 2,25 : 1,5	10 : 52,5 : 22,5 : 15

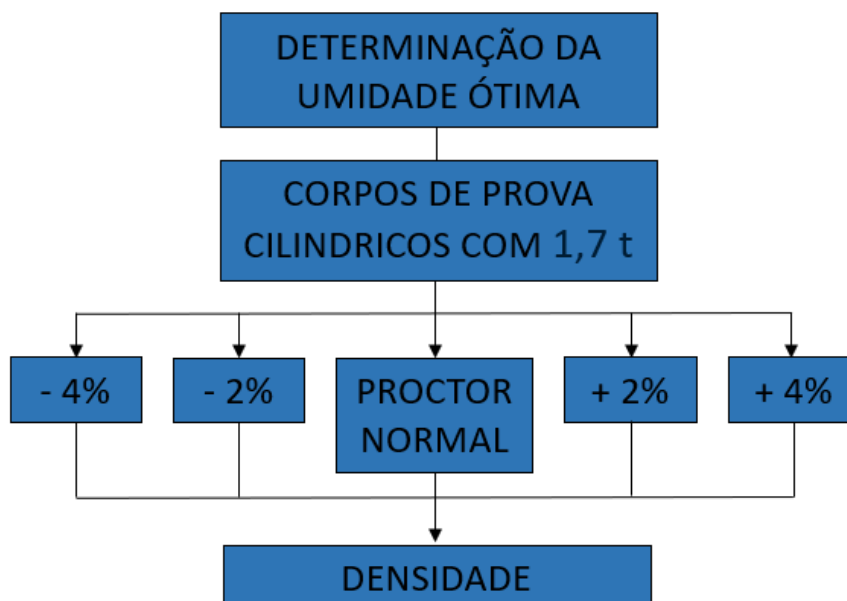
Tendo em vista que o objetivo do trabalho é encontrar a umidade ótima de moldagem a partir da pressão de 15 MPa aplicada pela prensa para confecção dos tijolos, os corpos de prova de todos os traços e todas as umidades foram moldados aplicando a mesma pressão a fim de verificar com qual umidade os corpos de prova apresentariam maior densidade. A partir da área do tijolo moldado e da pressão de compactação, foi calculada a força aplicada pela prensa na moldagem dos tijolos (4,5 toneladas). Assim, como os corpos de prova moldados são cilíndricos e com diâmetro de 3,71 cm, foi calculado uma força de prensagem de 1,70 tonelada a fim de se obter a pressão de 15 MPa aplicada pela prensa na confecção dos tijolos, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma simplificado da determinação da força de prensagem dos corpos de prova.



Com o conhecimento da força de prensagem a ser aplicada nos corpos de prova, os mesmos foram moldados com a umidade de cada traço definida a partir dos valores encontrados pelo método da compactação Proctor Normal. Foram moldados corpos de prova cilíndricos com valores acima e abaixo deste valor e com a mesma força de prensagem (1,70 toneladas) a fim de verificar com qual umidade os corpos de prova apresentariam maior densidade, conforme esquematizado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma simplificado da determinação da umidade ótima.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

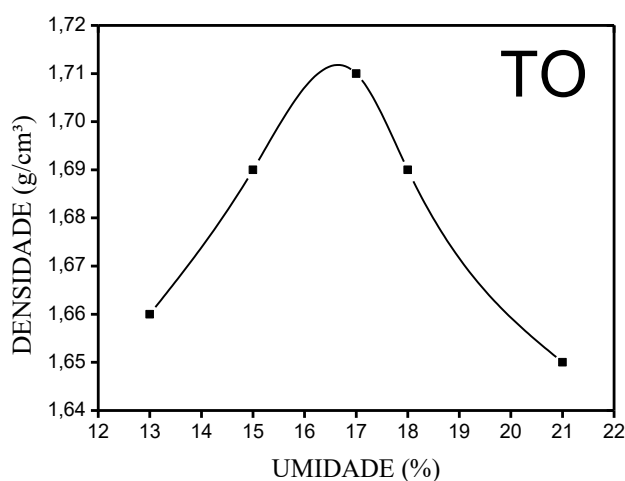
A Tabela 2 apresenta o valor da umidade ótima de moldagem para cada traço através do ensaio de compactação Proctor Normal. Foi possível verificar que o aumento da quantidade de resíduo de papel, aumenta também a quantidade de água necessária para que a mistura atinja sua umidade ótima de compactação. Este fato se deve à grande absorção de água do resíduo. O solo estabilizado com areia e sem adição de resíduo requereu uma menor quantidade de água que o solo natural e os demais traços, devido à menor área superficial específica da areia.

Tabela 2 – Valores de umidade ótima de moldagem de cada traço obtido no ensaio Proctor Normal.

COMPACTAÇÃO	
TRAÇO	UMIDADE ÓTIMA
T0	19,40%
T1	15,40%
T2	19,10%
T3	21,60%
T4	22,70%

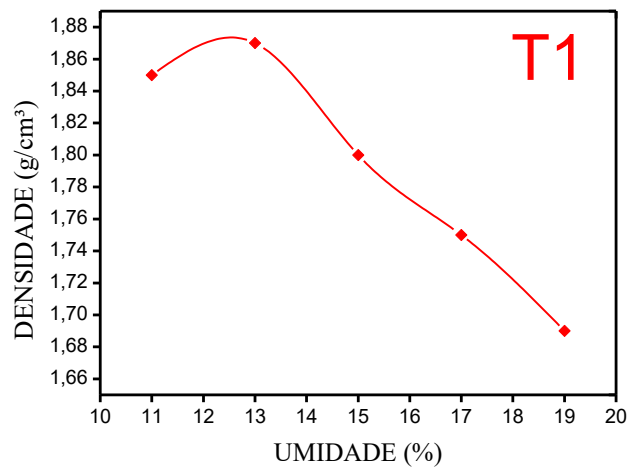
O gráfico da Figura 3 apresenta a curva obtida para o traço T0. Foi encontrado no ensaio de compactação o valor de 19,40% de umidade. Inicialmente seriam moldados corpos de prova com umidades de 19%, 15%, 17%, 21% e 23%. Porém, ao moldar corpos de prova com 21%, foi constatado que o valor da densidade diminuiu em relação ao valor de partida de 19%. Assim, os corpos de prova foram moldados com umidades de 17%, 15% e 13% para identificar o pico da densidade. Contrariando o valor encontrado pelo método de Proctor Normal de 19,40%, o traço T0 apresentou maior densidade para aproximadamente 17% de umidade, com valor de 1,71 g/cm³.

Figura 3 – Curva Umidade x Densidade do traço T0.



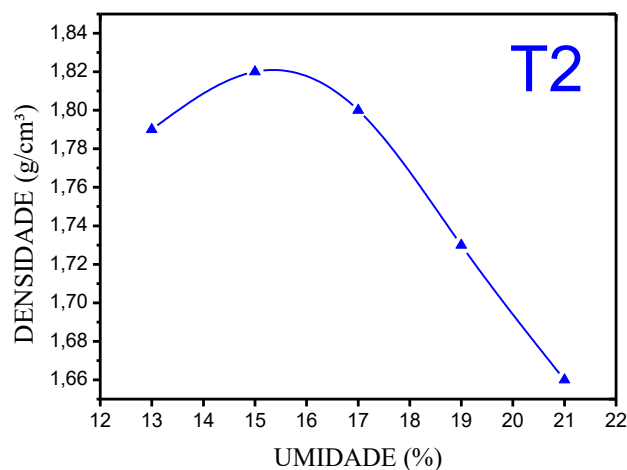
O gráfico da Figura 4 apresenta a curva obtida para o traço T1. Foi encontrado no ensaio de compactação o valor de 15,40% de umidade. Foram moldados corpos de prova com umidades de 15%, 11%, 13%, 17% e 19%. Contrariando o valor encontrado pelo método de Proctor Normal de 15,40%, o traço T1 apresentou maior densidade para cerca de 13% de umidade, com valor de 1,87 g/cm³.

Figura 4 – Curva Umidade x Densidade do traço T1.



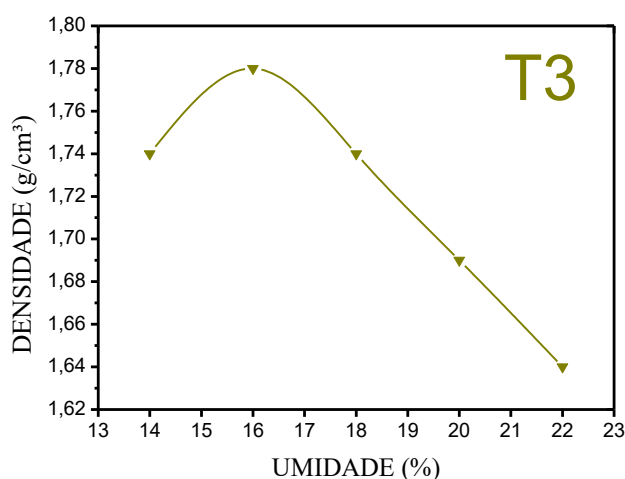
O gráfico da Figura 5 apresenta a curva obtida para o traço T2. Foi encontrado no ensaio de compactação o valor de 19,10% de umidade. Inicialmente seriam moldados corpos de prova com umidades de 19%, 15%, 17%, 21% e 23%. Porém, ao moldar corpos de prova com 17% e 21%, foi constatado um aumento da densidade com 17% de umidade e uma diminuição da densidade com 21% de umidade. Assim, os corpos de prova foram moldados com umidades abaixo de 17% a fim de chegar ao ponto máximo de densidade. Contrariando o valor encontrado pelo método de Proctor Normal de 19,10%, o traço T2 apresentou maior densidade para aproximadamente 15% de umidade, com valor de 1,82 g/cm³.

Figura 5 – Curva Umidade x Densidade do traço T2.



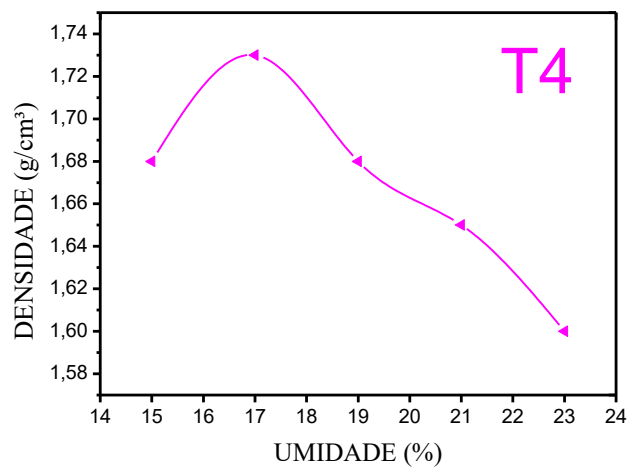
O gráfico da Figura 6 apresenta a curva obtida para o traço T3. Foi encontrado no ensaio de compactação o valor de 21,60% de umidade. Inicialmente seriam moldados corpos de prova com umidades de 22%, 18%, 20%, 24% e 26%. Porém, ao moldar corpos de prova com 20% de umidade, foi constatado um aumento do valor da densidade em relação ao valor de partida de 22%. Assim, os corpos de prova foram moldados com umidades decrescendo até o ponto em que o valor da densidade diminuísse. Foram moldados corpos de prova com 18%, 16% e 14% de umidade. Contrariando o valor encontrado pelo método de Proctor Normal de 21,60%, o traço T3 apresentou maior densidade para cerca de 16% de umidade, com valor de 1,78 g/cm³.

Figura 6 – Curva Umidade x Densidade do traço T3.



O gráfico da Figura 7 apresenta a curva obtida para o traço T4. Foi encontrado no ensaio de compactação o valor de 22,70% de umidade. Inicialmente seriam moldados corpos de prova com umidades de 23%, 19%, 21%, 25% e 27%. Porém, ao moldar corpos de prova com 21% de umidade, foi constatado um aumento do valor da densidade em relação ao valor de partida de 23%. Assim, os corpos de prova foram moldados com umidades decrescendo até o ponto em que o valor da densidade diminuísse. Foram moldados corpos de prova com 19%, 17% e 15% de umidade. Contrariando o valor encontrado pelo método de Proctor Normal de 22,70%, o traço T4 apresentou maior densidade com cerca de 17% de umidade, com valor de 1,73 g/cm³.

Figura 7 – Curva Umidade x Densidade do traço T4.



A Tabela 3 apresenta os valores de umidade ótima de cada traço a partir da metodologia aplicada no presente estudo, nos quais diferem do valor de umidade encontrado através do ensaio de compactação Proctor Normal.

Tabela 3 – Valores de umidade ótima de moldagem de cada traço.

UMIDADE DE MOLDAGEM	
TRAÇO	UMIDADE
T0	17%
T1	13%
T2	15%
T3	16%
T4	17%

CONCLUSÃO

Após análises e interpretações dos resultados, foi constatado que a umidade calculada pelo ensaio de compactação Proctor Normal não é o método adequado para determinação da umidade ótima de moldagem de tijolos de solo-cimento, visto que se verificou que em todos os traços estudados, a umidade ótima de moldagem difere do valor encontrado no referido ensaio. Com os resultados obtidos, foi concluído que a pressão aplicada na confecção dos tijolos influencia na determinação da umidade ótima.

REFERÊNCIAS

- (1) Akinmoladun, F. O., et al. (2016). *Influence of compaction and moisture content on the strength of soil-cement blocks*. Construction and Building Materials, 105, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.080>
- (2) Keller, T., et al. (2019). *Evaluation of Proctor test suitability for soil-cement mixture compacted under various pressures*. Journal of Materials in Civil Engineering, 31(2), 04018210. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002712](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002712)
- (3) Togun, H. A., et al. (2020). *Use of paper mill sludge in the production of compressed earth blocks for sustainable construction*. Waste Management, 102, 354-362. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.002>
- (4) Oliveira, D. R., et al. (2022). *Effects of manufacturing pressure on the compaction behavior of paper waste-enriched soil-cement*. Journal of Building Materials and Structures, 10(4), 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.jbms.2022.01.011>
- (5) Almeida, R. S., et al. (2021). *Reevaluating the Proctor test for soil-cement mixes with industrial by-products*. Construction Materials, 153, 160-170. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.1004>

**DETERMINATION OF THE OPTIMAL MOISTURE OF SOIL-CEMENT MODULAR
BRICK MOLDING FOR A CERTAIN APPLIED PRESSURE IN COMPARISON TO
THE VALUE OBTAINED IN THE NORMAL PROCTOR COMPACTION TEST**

Junior, W.F.¹; Alexandre, J.¹; Oliveira, S.R.C.²; Fernandes, T.M.S.²; Azevedo, A.R.G.¹;

Silva, J.C.B.¹

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF);

²Instituto Federal Fluminense (IFF)

Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes/RJ, 28013602

wferjunior@gmail.com

The optimum molding moisture content is crucial in the production of soil-cement bricks, but there is still no specific criterion for its determination. The most common method, the Normal Proctor compaction test, is not ideal, since the force applied in the test differs from the force used in the press during molding. This study tested five soil-cement mixtures with papermaking waste, determining the optimum molding moisture content for each by means of compaction. Cylindrical specimens were molded with the optimum moisture content, as well as values above and below it, to correlate with density. All specimens were molded under the same pressure, and the results showed that the applied pressure influences the optimum molding moisture content. It was found that the optimum moisture content determined by the Proctor test is not suitable for this application, since it differs from the values found for actual brick molding.

Keywords: Soil-cement, modular ecological brick, optimum moisture, pressing force, compaction.