

## ESTUDO DO PROCESSO DE SECAGEM DE TIJOLOS VERDES FEITOS DE ARGILA

RAFAEL SCHNEIDER<sup>4</sup>e CAMILA SIMSEN KATZER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Me. em Engenharia Química, Prof., FAHOR, Horizontina-RS, rafaels@fahor.com.br;

<sup>2</sup>Acadêmica de Engenharia Química, FAHOR, Horizontina-RS, ck002853@fahor.com.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Neste trabalho buscamos observar a secagem de tijolos de argila após a sua formação, em condição ambiente e em uma estufa sob aquecimento leve, simulando o comportamento de um secador. Foram estudados dez tijolos verdes, produzidos em uma olaria de Três de Maio-RS. Os tijolos foram colocados sob condição de estufa em diferentes momentos do processo de secagem. Os objetivos eram observar o comportamento da massa dos tijolos, avaliar a aparição de falhas ou rachaduras, e ter uma noção do comportamento da secagem em condição ambiente. Os resultados permitiram observar que sob condição de estufa os tijolos alcançaram um teor maior de perda de humidade, o que pode reduzir o número de falhas e perdas no processo de queima. Também não foram encontradas rachaduras nos tijolos analisados. Foi obtida uma perda média de 840 gramas de humidade por tijolo, cerca de 25,3%. Os tijolos sob condição de estufa apresentaram uma perda de humidade de 5% a mais da massa original comparado à condição ambiente. Por fim uma curva de secagem para as condições ambiente pode ser observada, permitindo um melhor entendimento da secagem atualmente em uso pela olaria.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem, tijolos, argila, experimental, olaria.

### STUDY OF DRYING PROCESSES OF CLAY-MADE GREEN BRICKS

**ABSTRACT:** In this study we sought to observe drying of clay bricks under ambient conditions and in a laboratory oven under mild heating, mimicking a dryer behavior. Ten green bricks were studied, made in a brickwork in Três de Maio-RS. Drying in the oven started in different moments of the drying process. The objectives were to observe the behavior of the brick's masses, assess cracking and failures, and to develop a notion of the drying behavior under ambient conditions. The results allowed to observe that oven-dried bricks reached higher moisture loss, potentially reducing failures and losses on the burning process. No cracks were found on the bricks. A moisture loss of 840 grams per brick was obtained, *circa* 25,3%. Bricks dried in the oven showed a 5% higher mass loss compared to natural drying. Lastly a drying curve under ambient conditions was observed, allowing a better understanding of the drying process currently employed by the brickwork.

**KEYWORDS:** Drying, bricks, clay, experimental, brickwork.

### INTRODUÇÃO

Os tijolos feitos de barro e argila são um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, sendo utilizados na Mesopotâmia e no Egito Antigo. Em uma tecnologia multimilenar muitas das práticas e processos de produção acabam se consolidando de forma intergeracional, ambiente no qual a inovação sofre resistência pela prática continuada e pelo alto nível de heurística aplicada aos processos. Buscando melhorar esses processos, é de extrema importância a realização de ensaios e análises que possam demonstrar possibilidades de melhorias e, principalmente, vencer preconceitos estabelecidos por experimentos falhos realizados direto na planta industrial, feitos sem muito rigor.

Segundo as observações de Hasatani et al. (1996), Itaya et al. (1996) e de Reed (1995) a remoção da humidade dos tijolos antes do processo de queima em forno é de extrema importância.

Caso a umidade não seja removida, as temperaturas extremas no forno vão forçar a saída da água do tijolo provocando rachaduras e até mesmo a explosão de tijolos. A secagem depende de uma série de fatores como a temperatura, umidade relativa do ar, da ventilação do local. Essas variações podem estender o período de secagem de 30 dias no verão mais seco, até 90 dias em um inverno úmido. Se a taxa de evaporação da água na superfície for maior que a taxa de difusão da água no interior, a superfície irá secar mais rapidamente que o interior criando tensões e defeitos, ou revelando os defeitos pré-existentes no tijolo. Estes fenômenos de transferência de massa e de calor, além do encolhimento, são mais pronunciados em materiais cerâmicos com altos teores de umidade.

Existe grande interesse na modelagem e otimização da secagem dos tijolos verdes, por essa ser a etapa que mais consome tempo na sua produção. Nesse âmbito podemos citar os trabalhos de Su (1997), de Telljohan et al. (2008), de Constantine et al. (2020), de da Silva et al. (2012), e de Mançuhan (2009). Trabalhos de pesquisadores de uma ampla gama de países: Taiwan, Alemanha, França, Brasil e Turquia respectivamente. A principal questão nos trabalhos está na natureza do processo. Com diferentes formatos e funções na construção civil, os tijolos ainda são afetados pelas jazidas de argila e suas características, o que torna cada modelagem única.

Estudos analisando os fenômenos e comportamentos da umidade em tijolos cerâmicos ocos com uso de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) foram realizados por Araújo et al. (2020). Um estudo para o mesmo tipo de tijolo, oco e com oito furos, para uma análise de volumes finitos para a secagem industrial de tijolos foi desenvolvido por Tavares et al. (2014). Os tijolos desses estudos têm como característica dominante a presença de grandes vazios no seu interior, sendo utilizados principalmente para erguer paredes e divisórias sem funções estruturais.

Neste estudo buscamos analisar o comportamento da secagem de tijolos verdes. Maciços, contendo três furos no eixo central. Seu uso mais comum está na construção de bases e fundações, além de outras alvenarias estruturais. A secagem normalmente ocorre em condição ambiente, entre os processos de extrusão do tijolo e a queima dele. O processo de secagem da região estudada varia entre trinta e noventa dias, dependendo das condições climáticas. Os tempos maiores ocorrem nos meses de inverno, onde a temperatura ambiente é menor, ocorre maior precipitação e umidades relativas do ar maiores.

Foi analisada a perda de massa dos tijolos em condição ambiente ao longo de dezenove dias, com medições diárias. Os tijolos foram inseridos em estufa *setada* em 50°C ao longo desse período, aos quatro, seis e dez dias, permitindo visualizar o comportamento em diferentes tempos de secagem sob estufa - e com diferentes tempos de secagem em condições ambiente após a formação do tijolo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O objeto de estudo são os tijolos produzidos na região de Três de Maio-RS. O principal objetivo era compreender o comportamento da secagem dos tijolos verdes, sob condições ambientes e submetidos a aquecimento em estufa. Ao realizar visitas às olarias locais, foi relatado pelos operadores que ao tentar realizar a secagem dos tijolos sob convecção forçada ou com ar aquecido, ocorria problemas, entre eles a fragilização, rachaduras ou quebra dos tijolos. O processo de secagem é chave na melhoria do processo produtivo, pois chega a durar mais de 90 dias sob condições de inverno (temperaturas baixas e umidade elevada). Portanto o uso de secagem com meios convectivos ou ar aquecido pode aumentar o ritmo de produção, reduzir o tempo de ociosidade da planta e auxiliar na redução do déficit habitacional.

Para realizar as medidas foi utilizada uma Balança Digital SF 400 com capacidade de até 10 kg. Os tijolos eram pesados três vezes consecutivas, e a média era tomada. A secagem em estufa ocorreu em uma estufa de secagem/esterilização 45x40x45 da fabricante DeLeo. Para simular o efeito de um secador, ou de uma corrente de ar aquecido no processo da olaria, a estufa foi colocada em sua menor temperatura (50°C) durante todo o período de observação. Essa temperatura mais baixa, nesse primeiro momento, foi escolhida para verificar a ocorrência de falhas, rachaduras e fraturas nos tijolos antes do processo de queima.

Foram usados dez tijolos maciços, com três furos, feitos de argila. Os tijolos foram coletados da olaria, recém produzidos e tiveram sua massa inicial auferida. No primeiro momento todos os tijolos foram mantidos em condições ambiente. Após quatro dias dois tijolos (nominados 1 e 2) foram colocados sobre secagem em estufa a 50°C. Após seis dias mais dois tijolos (3 e 4) foram colocados para secar na estufa. Após dez dias quatro tijolos (chamados 5, 6, 7 e 8) foram colocados na estufa.

Por fim, dois tijolos (9 e 10) foram mantidos sob secagem em condições ambiente até o final do período de observação.

Figura 1. Posição dos tijolos para secagem natural em condição ambiente, sem circulação forçada de ar.



Figura 2. Arranjo dos tijolos na estufa.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar o perfil da perda de massa na secagem dos tijolos verdes nas diferentes condições de teste (Figura 3) é possível observar os diversos comportamentos de secagem. Um fator importante de preocupação, relatado pelos operadores nas olarias, era a possível ocorrência de rachaduras e fraturas nos tijolos ao usar ar aquecido na secagem. Neste ensaio, embora limitado, não foram observadas rachaduras ou fraturas. Além do aquecimento do ar para secagem, é importante ressaltar que os tijolos eram manuseados diariamente para fazer as medições de massa de forma manual, o que deveria potencializar danos e rachaduras. Como, porém, os tijolos de estudo não passaram pelo processo de queima, não podemos afirmar categoricamente que a secagem não causa as rachaduras relatadas, entretanto vemos indícios para aprofundar os estudos, situação condizente com a encontrada em outros estudos da literatura.

O resumo de nossas medidas é demonstrado na Tabela 1, onde pode-se observar que houve uma redução média de 840 gramas de massa por tijolo, cerca de 840 mL de água. De forma geral, na secagem foi observada a perda de um quarto (25,29%) da massa dos tijolos, com destaque para o fato de a secagem sob estufa obter resultados melhores (26,10%) – mesmo com o tijolo 7 demonstrando um comportamento anômalo nos primeiros dias (houve um pequeno ganho de massa), enquanto os tijolos sob condições ambiente ficaram abaixo de média, com perda de 22,07% de massa. Percebe-se que o uso da estufa produziu um tijolo com teores de humidade mais baixos que a secagem natural, mesmo considerando um intervalo de tempo mais alongado. Independente do momento que foram inseridos na estufa, os tijolos 1 a 6 e 8 obtiveram reduções maiores de sua massa – o que nos permite concluir que a humidade final dos mesmos também será menor que dos tijolos 1 e 2, sob secagem natural.

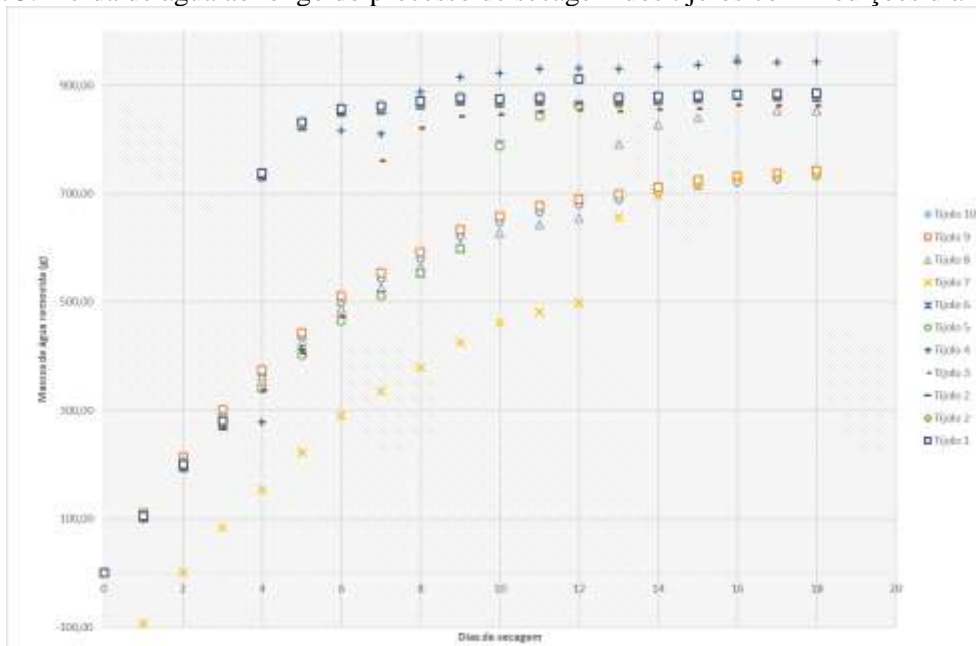
Tabela 1. Variação da massa dos tijolos devido à perda de água por condições de aquecimento e circulação de ar forçada em estufa (tijolos 1 a 8)<sup>1</sup> e sob condições ambiente (tijolos 9 e 10) em um período de 19 dias.

	<b>Massa original (kg)</b>	<b>Massa final (kg)</b>	<b>Perda de massa (kg)</b>	<b>Perda de massa (%)</b>
Tijolo 1	3,276	2,391	0,885	27,02
Tijolo 2	3,340	2,468	0,872	26,10
Tijolo 3	3,182	2,320	0,862	27,10
Tijolo 4	3,497	2,553	0,944	26,99
Tijolo 5	3,328	2,443	0,885	26,59
Tijolo 6	3,336	2,451	0,885	26,53
Tijolo 7	3,313	2,579	0,733	22,14
Tijolo 8	3,242	2,388	0,853	26,32
Tijolo 9	3,371	2,628	0,743	22,04
Tijolo 10	3,317	2,584	0,733	22,10
<b>Média</b>	<b>3,320</b>	<b>2,480</b>	<b>0,840</b>	<b>25,29</b>
<b>Média estufa</b>	<b>3,314</b>	<b>2,449</b>	<b>0,865</b>	<b>26,10</b>

1 – Tijolos 1 e 2 colocados na estufa aos 4 dias; 3 e 4 aos 6 dias; 5 a 8 aos 10 dias.

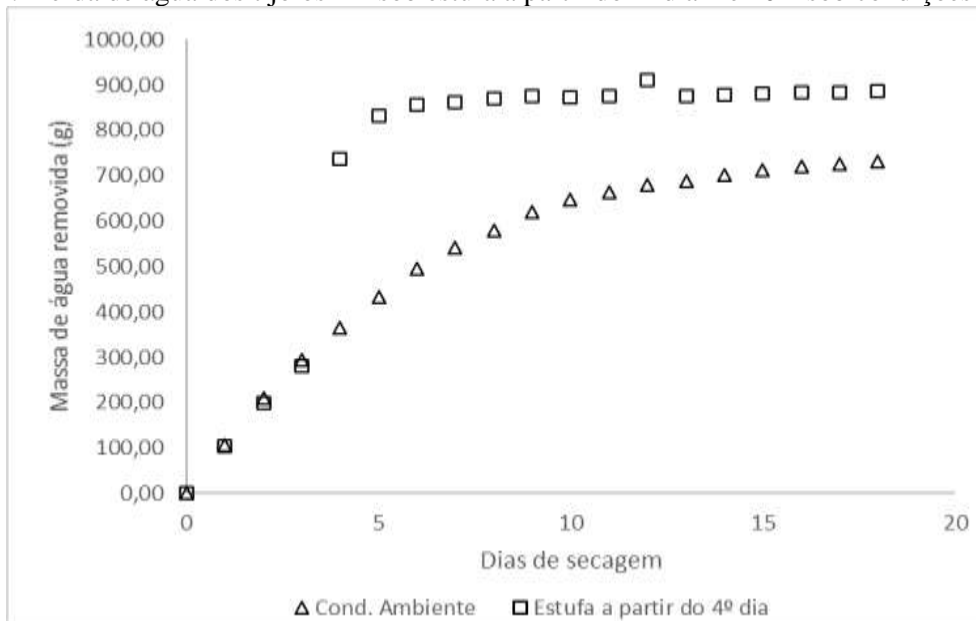
No momento em que os tijolos são introduzidos na estufa, é visível uma rápida perda de água e uma redução substancial da taxa de perda de massa nos dias subsequentes. Esse comportamento deve ocorrer devido ao predomínio da difusão interna da humidade do interior do tijolo para a superfície como limitante da secagem, tendo a convecção removido a maior parte da água disponível nas áreas externas e próximas à superfície do tijolo. Entretanto, devido ao tempo entre pesagens escolhido (aproximadamente 24h), limitado pelas restrições presentes durante a elaboração deste estudo, não foi possível observar com maior detalhamento o comportamento durante as primeiras horas da secagem na estufa, onde ocorre uma perda substancial de massa do tijolo devido à perda de água.

Figura 3. Perda de água ao longo do processo de secagem dos tijolos com medições diárias.



Sob condições de secagem em condições ambientes, os tijolos 9 e 10, exibiram um comportamento quase logarítmico de secagem, atingindo uma perda de massa total por secagem de 22%. Em geral, os tijolos tiveram uma perda média de massa de 25%. A Figura 4 contrasta claramente o comportamento de um tijolo sob secagem em condições ambientes (tijolo 10) e outro tijolo colocado para secar na estufa no quarto dia de medidas (tijolo 1). Mesmo com uma diferença de 41 gramas de

Figura 4. Perda de água dos tijolos 1 – sob estufa a partir do 4º dia – e 10 – sob condições ambiente.



massa inicial, a massa final apresenta uma diferença de 193 gramas, o que evidencia que a secagem sob a condição mais branda da estufa alcançou resultados melhores do que apenas em condição ambiente. Na Figura 4 também podemos observar que o tijolo na estufa apresenta um *plateau* onde, com exceção de um distúrbio no 12º dia, não ocorrem mais perdas substanciais de massa do tijolo. Esse comportamento se repete nos demais tijolos da estufa, que podem ser observados na Figura 3.

A formação de uma estabilidade após cerca de três dias na estufa, demonstra a diferença da dinâmica da secagem sob o efeito de ar aquecido. Se torna interessante observar com maior sensibilidade o efeito da secagem em estufa, em intervalos menores de pesagem (hora a hora, ou mesmo a cada 30 min) para melhor compreender e relacionar a dinâmica com modelos e simulações disponíveis na literatura.

## CONCLUSÃO

Ao realizar a secagem na estufa chegou-se em um patamar de maior perda de água que na secagem em condições ambiente. Também a taxa de perda de massa foi reduzida mais rapidamente do que a secagem natural. Na estufa 5% a mais da massa original dos tijolos foi removida pela secagem. Em nenhum tijolo foi encontrada rachadura ao final do período observado. Na condição ambiente foi possível observar uma curva de secagem bem formada, sem alterações.

## REFERÊNCIAS

- Su, S.-L. Modeling of multi-phase moisture transfer and induced stress in drying clay bricks. *Applied Clay Science*, 12(3), 189–207. doi:10.1016/s0169-1317(97)00003-3, 1997.
- Telljohann, U., Junge, K., & Specht, E. Moisture Diffusion Coefficients for Modeling the First and Second Drying Sections of Green Bricks. *Drying Technology*, 26(7), 855–863. doi:10.1080/07373930802136053, 2008.
- Costantine, G., Harb, E., Bliard, C., Maalouf, C., Kinab, E., Abbès, B., ... Polidori, G. Experimental characterization of starch/beet-pulp bricks for building applications: Drying kinetics and mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, 264, 120270. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120270, 2020.
- Barbosa da Silva, J., Almeida, G. S., Neves, G. A., Barbosa de Lima, W. C. P., de Farias Neto, S. R., & de Lima, A. G. B. (2012). Heat and Mass Transfer and Volume Variations during Drying of Industrial Ceramic Bricks: An Experimental Investigation. *Defect and Diffusion Forum*, 326-328, 267–272. doi: 10.4028/www.scientific.net/ddf.326-328.267, 2012.
- Mançuhan, E. Analysis and Optimization of Drying of Green Bricks in a Tunnel Dryer. *Drying Technology*, 27(5), 707–713. doi:10.1080/07373930902827692, 2009.
- de Vasconcellos Araújo, M.; Raquel de Brito Correia, B.; Alves Agra Brandão, V.; Rodrigues de Oliveira, I.; Sousa Santos, R.; de Oliveira Neto, G.L.; de Lucena Silva, L.P.; Gilson Barbosa de Lima, A. Convective Drying of Ceramic Bricks by CFD: Transport Phenomena and Process Parameters Analysis. *Energies*, 13, 2073. doi: 10.3390/en13082073, 2020.
- Tavares, F., Neto, S., Barbosa, E., Lima, A. and Silva, C. Drying of Ceramic Hollow Bricks in an Industrial Tunnel Dryer: A Finite Volume Analysis. *The International Journal of Multiphysics*, 8(3), pp. 297-312. doi: 10.1260/1750-9548.8.3.297, 2014.
- Hasatani, M.; Itaya, Y. Modeling of strain-stress behavior for advanced drying. *International Drying Symposium, Krakow*, pp 27-39, Vol. A, 1996
- Itaya, Y, Hasatani, M.” R & D needs-drying ceramics”, *Drying Technology*, v. 14, n. 6, pp 1301-1313, 1996
- J.S. Reed: *Principles of ceramics processing*, John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN: 978-0-471-59721-6, 1995.