

Simulação do Transporte de Calor em Sólidos com Forma Arbitrária via Software não Comercial

Rafael Teles Cruz Silva¹; Joseane Freire Pereira²; Ivonete Batista dos Santos³; Antonio Gilson Barbosa de Lima⁴

¹Graduando. *Química Industrial. Departamento de Química. Universidade Estadual da Paraíba.*
E-mail: rafael_teles14@hotmail.com

²Graduanda. *Licenciatura em Física. Departamento de Física. Universidade Estadual da Paraíba.*
E-mail: joseanefreirercc@gmail.com.

³Professora. *Departamento de Física. Universidade Estadual da Paraíba.*
E-mail: ivoneeteb@gmail.com

⁴Professor. *Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Campina Grande.*
E-mail: antonio.gilson@ufcg.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A preparação industrial de cerâmica é uma atividade econômica importante em todo o mundo, especialmente no Brasil. Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM (2018), a indústria de cerâmica brasileira cresceu em qualidade em nível mundial graças a diversos fatores, sendo um deles abundância e diversidade de matérias-primas aplicadas em processos industriais, como a argila.

A argila é a principal matéria-prima dos materiais cerâmicos e seu uso está ligado intimamente ao tipo de argila utilizado, cujas propriedades podem ser modificadas diante do método aplicado. A secagem da argila é um processo determinante para transformá-la em um material cerâmico e envolve a transferência simultânea de calor e massa devido à um gradiente de temperatura entre a superfície e o interior do corpo cerâmico.

Quando há uma diferença significativa entre os valores da taxa de difusão da água que migra do interior e de evaporação da água na superfície de um objeto, o interior úmido tende a se contrair, mas é impedido pela superfície cada vez mais inelástica que é formada, isso resulta numa tensão que corresponde a compressão no interior e tração no exterior, quando essa tensão for muito elevada e não puder ser absorvida, aparecerão trincas e rachaduras na superfície do objeto, por isso é importante que o corpo apresente a menor diferença possível de valores de temperatura e umidade entre a superfície e o interior do mesmo (ALMEIDA, 2009).

O processo de secagem é descrito, basicamente, em duas etapas: a primeira, onde a perda de umidade do sólido para o ar de secagem é compensada pelo ganho de calor, e a segunda, onde já houve uma perda significativamente grande de umidade e que não há mais compensação para o ganho de calor, então o corpo começa a elevar muito a sua temperatura, principalmente nas bordas, sendo o momento onde podem ocorrer deformações, como fissuras, que acarretam em perdas de material.

As trincas são os problemas mais comuns relacionados à secagem, para evitá-las é necessário adotar uma metodologia que possa descrever o processo por completo, prevendo o máximo possível do que possa acontecer. Para isso, é preciso escolher um modelo em que seja possível inserir o máximo de fenômenos físicos envolvidos durante a transferência de calor e de massa, garantindo que os resultados sejam mais reais e precisos. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta a solução analítica de um modelo matemático, via método integral baseado em Galerkin,

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

dando ênfase ao estudo da transferência de calor, predizendo o comportamento da temperatura durante a secagem de sólidos com forma arbitrária, a partir de simulações computacionais realizadas por softwares não comerciais e considerando condição de contorno de 1ª espécie, analisando os valores obtidos através da secagem de uma placa cerâmica plana.

2. METODOLOGIA

Para representar a transferência de calor em sólidos com geometrias variadas, foi usada a equação da difusão de calor no regime transiente sem geração de energia, descrita pela Lei de Fourier.

Para permitir a solução do problema físico, as seguintes considerações são tomadas: o sólido é homogêneo e isotrópico; à princípio, a distribuição da umidade no interior do sólido é uniforme na medida em que a temperatura aumenta; as propriedades termo físicas permanecem inalteradas durante a secagem; água na fase líquida e matéria seca constituem o sólido; a secagem ocorre com a retirada de água do interior do sólido por difusão e evaporação de água na superfície do mesmo.

A solução para problemas que envolvem difusão de calor à propriedades constantes foi estudada por (PAYNE, 1986), apresentando uma solução para a transferência de calor em objetos com geometrias variadas, como uma placa. Para encontrar a solução matemática desse problema, foi aplicado o método integral de Galerkin, que, nesse caso, consiste em multiplicar o termo da equação que se quer resolver por $fidV$ e integrá-lo sob o volume, usando a condição inicial $T(t=0)=T_0$, obtivemos a equação que possibilita a resolução do problema, determinando como a temperatura do sólido varia durante o processo.

Para a obtenção dos resultados simulados, foi utilizado software Mathematica®, versão 7.0 (WOLFRAM, 2009). Os resultados foram expostos na forma gráfica utilizando o software Grapher® e a interpretação dos mesmos foi feita através da plataforma Surfer®.

3. RESULTOS E DISCUSSÃO

Para a validação do presente trabalho, foram utilizados os dados experimentais obtidos por (SANTANA, 2006) para as mesmas condições de secagem à 110°C. Considerando-se uma placa cerâmica de dimensões (12,0 x 6,0 x 0,7) cm³ com teor de umidade inicial $\phi_0 = 0,103$.

A visualização dos dados foi possível através das plataformas Grapher e Surfer, que permitiram a análise e comparação entre o presente trabalho e o de (SANTANA, 2006). Durante o intervalo de tempo de 0 até 4000 s, a variação de temperatura foi elevada, subindo rapidamente, até atingir o equilíbrio após 4000 s. A maior variação de temperatura ocorreu nas bordas da placa, que aquecem mais rápido por estarem em contato direto com o ar de secagem, o que leva a uma diminuição rápida de umidade nessas áreas e a um valor de temperatura mais próximo do valor do ar de secagem, por isso precisam de um cuidado maior e detalhado por terem mais chances de sofrer deformações. Conclui-se, também, que à medida que o tempo aumenta, ocorre uma diminuição de umidade no interior do corpo e um aumento de temperatura de forma contínua.

4. CONCLUSÃO

Ao término do presente trabalho, pode-se afirmar que o método aplicado (GBI) foi eficiente na demonstração da transferência de calor para o processo de secagem em sólidos com geometrias variadas. A modelagem foi eficiente ao prever os resultados, assemelhando-se aos obtidos por (SANTANA, 2006), o que comprova a eficácia do método. O controle rigoroso é

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

essencial para manter o equilíbrio durante o processo, sempre deixando mínima a diferença entre a temperatura do interior e da superfície do sólido, principalmente nas bordas, para evitar trincas e rachaduras no mesmo.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. S. **Simulação e experimentação da secagem de cerâmica vermelha em sistemas térmicos industriais**, Dissertação (Doutorado em Engenharia de Processos). Departamento de Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 189 P., 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Cerâmica no Brasil – Considerações gerais**. 2018. Disponível em: < <https://abceram.org.br/consideracoes-gerais/>>. Acesso: 21 de maio, 2018.

BATISTA, V. R.; LIMA, A. G. B.; NASCIMENTO, J. J. S. **Secagem e queima de tijolos cerâmicos vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais**. Revista eletrônica de materiais e processos.2008.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 3a edição, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., R. J. 1990.

PAYNE, F. R., CORDUNEANU, C. C., HAJI-SHEIKH, A, e HUANG, T., **Integral methods in science and engineering. Chapter: On solution of parabolic partial differential equations using Galerkin functions**. Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA, 1986.

SANTANA, E. W. F., **Avaliação da secagem e queima de placas cerâmicas**, Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 87 P., 2006.

SANTOS, I. B., **Transporte de calor e massa em sólidos com forma arbitrária via método integral baseado em Galerkin: modelagem e simulação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 164 p., 2013.

SANTOS, I. B; SILVA, L. P. de L.; LIMA, A. G. B., **Diffusion in solids of Revolution via Galerkin-based method**. In: Brazilian Congresso of Mechanical Engineering, 21, 2011, Natal. **Proceedings of COBEM**. Natal, 2011.

WOLFRAM, S.,**The Mathematica® Book**. Cambridge University Press, New York, 2009.