

## ESTUDO DO CHOQUE TÉRMICO EM FACHADAS COM REVESTIMENTOS CERÂMICOS

JULIANA CONTREIRA<sup>1</sup>; REGIS QUADROS<sup>2</sup>; DANIELA BUSKE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – julianacontreira@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – quadros99@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – danielabuske@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho se deterá aos sistemas de revestimentos cerâmicos, devido as condições climáticas do Brasil se mostrarem muito favoráveis ao uso destes materiais. As patologias mais importantes manifestam-se tipicamente na forma de fissuras e descolamentos devido às deformações excessivas e inadequação das camadas do revestimento. Os problemas de descolamentos em fachada são especialmente críticos devido aos riscos de acidentes envolvidos na queda de placas ou de partes das camadas. Neste trabalho apresentamos um modelo matemático para o estudo do choque térmico em fachadas de revestimentos cerâmicos. A equação do problema proposto é resolvida analiticamente utilizando a transformada de Laplace e o método GILTT (MOREIRA ET AL., 2009).

### 2. METODOLOGIA

Inicialmente, supomos que um pedaço da parede de uma edificação, sujeito a um carregamento térmico, composto de apenas um dado material isotrópico. Admite-se que o sistema examinado é adiabático. Neste caso, a distribuição de temperatura é descrita pela equação:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1)$$

A Eq. (1) demonstra matematicamente como ocorre a condução de calor em um sólido com as camadas compostas de um material isotrópico, onde  $U$  representa a temperatura ( $U(x, y, z, t)$ ) e  $\alpha$  é um parâmetro de difusividade térmica. Em que, a difusividade térmica  $\alpha$  é uma grandeza específica do material e é dada por  $\alpha = \frac{K}{\rho s}$ . Sendo  $K$  a condutividade térmica ( $J/m \cdot \text{seg.}^0\text{C}$ ),  $\rho$  a densidade de massa ( $\text{Kg/m}^3$ ), e  $s$  a capacidade térmica específica ( $\text{J/Kg}^0\text{C}$ ). Ainda, a Eq. (1) está sujeita as seguintes condições de contorno de Neumann, fluxo nulo nos bordos em  $y$  e  $z$ ,  $U(0, y, z, t) = U_B$ , e Dirichlet  $U(d, y, z, t) = U_T(t)$ .

O problema proposto foi resolvido com o auxílio da transformada de Laplace e da técnica GILTT (MOREIRA ET AL., 2009). A equação é expandida em função de uma base de autofunções advinda do problema de Sturm-Liouville, cujas condições de contorno são as mesmas do problema original. A integração é feita em todo o intervalo da variável transformada, fazendo proveito da propriedade de ortogonalidade da base usada na expansão. A solução completa da distribuição de temperatura é a soma da solução particular (regime estacionário) com a solução homogênea (regime transiente).

Como pelo menos uma das temperaturas analisadas é variável no tempo ( $U_T$ ) e, muda bruscamente de valor na ocorrência do choque térmico, a função  $F(t)$  pode ser expressa como a função de Heaviside. Arbitra-se então, que o instante do choque térmico seja tardio o suficiente para que, imediatamente antes do choque térmico o sólido já esteja em regime estacionário de distribuição de

temperatura. Conforme HILDEBRAND (1962), a solução para a temperatura, no regime estacionário é:

$$U(x) = U_B + (U_T - U_B) \frac{x}{d} \quad (2)$$

A equação (2) caracteriza a distribuição de temperatura antes do choque térmico, enquanto que a equação (3), mostrada a seguir, caracteriza a distribuição de temperatura após o choque térmico:

$$U(x, t) = U_B + (U_F - U_B) \frac{x}{d} + (U_F - U_T) \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{2(-1)^n}{n\pi} \right) \left( \operatorname{sen} \left( \frac{n\pi}{d} x \right) e^{-\left( \frac{n\pi}{d} \right)^2 \alpha t} \right) \quad t \geq 0 \quad (3)$$

Partindo da formulação analítica apresentada anteriormente para uma parede simples, visou-se substituir os cinco materiais da parede responsáveis por compor o sistema de revestimentos por apenas um, que represente de forma equivalente estes materiais, como segue abaixo.

Considerando a taxa de calor por condução no interior de um sólido, apresentado por LIENHARD V (2008), pode-se observar que a definição de resistência térmica surge a partir da analogia com circuitos elétricos. Assim como uma resistência elétrica se opõe à passagem de corrente, a resistência térmica vai se opor à passagem de calor,  $R = \frac{dU}{dq}$ , onde  $q = -KA_T \frac{dU}{dx}$ , sendo  $A_T$  a área transversal à passagem de calor. Assumindo que não haverá perdas de calor em virtude do contato entre as camadas, esta equação vale mesmo nas áreas de interface entre as diferentes camadas. Levando em consideração apenas o estado estacionário do problema, podemos dizer que:  $R = \frac{d}{KA_T}$ , onde  $d$  é a espessura do sólido.

Da mesma forma que é feito nos circuitos elétricos ligados em série, o sólido composto de 5 camadas terá uma resistência, uma condutividade térmica e uma densidade térmica equivalente, obtidas pelas equações a seguir:

$$R_{eq} = \frac{l_1}{K_1 A_T} + \frac{l_2}{K_2 A_T} + \frac{l_3}{K_3 A_T} + \frac{l_4}{K_4 A_T} + \frac{l_5}{K_5 A_T} \quad (4)$$

$$\rho_{eq} = \frac{\rho_1 l_1 + \rho_2 l_2 + \rho_3 l_3 + \rho_4 l_4 + \rho_5 l_5}{d} \quad (5)$$

A fórmula calculada anteriormente para antes e após o choque térmico, continua válida, o único termo para ser alterado é o  $\alpha$  que se torna o  $\alpha_{equivalente}$ , calculado através das equações (4) e (5).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para possível avaliação da equação (3) obtida neste trabalho, foram realizados dois testes, um em uma parede comum, composta por apenas um material e outro em uma parede composta por 5 camadas.

O primeiro teste foi realizado com os seguintes dados reais de uma parede de alvenaria comum com revestimento cerâmico: Espessura  $d=20\text{cm}$ , temperatura externa  $U_T = 50^\circ\text{C}$ , temperatura interna constante  $U_B = 21^\circ\text{C}$ , temperatura durante o choque térmico  $U_F = 20^\circ\text{C}$  e difusividade térmica desse concreto ( $\alpha$ ) é  $6,061 \times 10^{-7} \text{m}^2$ .

seg

Com o auxílio do programa computacional FORTRAN 90 foram encontrados os valores das temperaturas nas diferentes profundidades do sólido, antes, durante e até 55 minutos após a ocorrência do choque térmico. Estes valores estão representados na Figura 1.

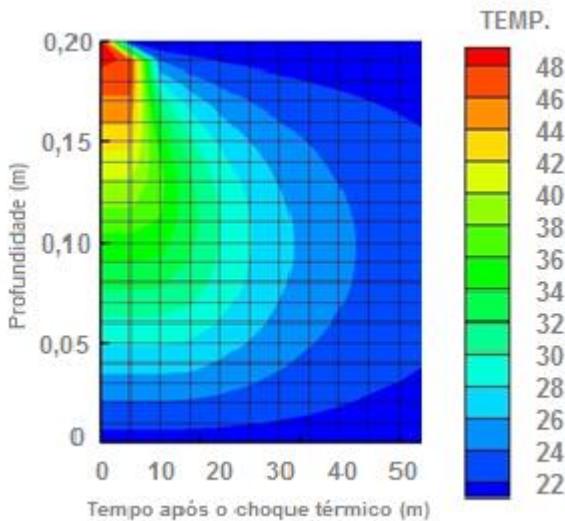


Figura 1. Distribuição de Temperatura Após o Choque Térmico no Sólido

Como é possível observar, após o choque térmico, as regiões próximas às faces do sólido se resfriam mais rapidamente que seu núcleo, o que é fisicamente coerente, pois retrata a maior dificuldade de dissipar o calor no núcleo do sólido, devido à baixa difusividade térmica do material, no caso um mal condutor de calor.

O segundo teste foi realizado com os dados reais de uma parede de alvenaria, apresentados na Tabela 1. Esta parede é composta por cinco camadas, sendo elas: 1. Emboço e chapisco; 2. Alvenaria; 3. Emboço e chapisco; 4. Argamassa colante; 5. Cerâmica e rejunte. Os parâmetros físicos dos materiais de cada camada foram extraídos de UCHÔA(2007) e SARAIVA(1998).

Tabela 1: Parâmetros termofísicos dos materiais de cada camada

Caract.	K (J/seg.m.ºC)	Camadas				
		1	2	3	4	5
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2310	1790	2310	1680	2510
	s (J.Kg.ºC)	1000	1000	1000	1000	920
	l (m)	0,02	0,2	0,02	0,005	0,0065
	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /seg)	$6,061 \times 10^{-7}$	$7,821 \times 10^{-7}$	$6,061 \times 10^{-7}$	$3,869 \times 10^{-7}$	$8,661 \times 10^{-7}$

Calculando-se os parâmetros equivalentes, tem-se que,  $a_{equ} = 7,299998 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$ . As condições de contorno continuam as mesmas utilizadas na avaliação anterior. Na Figura 2 estão representados os valores das temperaturas nas diferentes profundidades do sólido equivalente, antes, durante e até 55 minutos após a ocorrência do choque térmico.

Assim como no modelo anterior, os resultados obtidos analiticamente para a distribuição de temperatura na placa mostraram-se bastante satisfatórios, demonstrando o mais próximo possível, dentre as condições de contorno, o efeito que ocorre em um caso real.

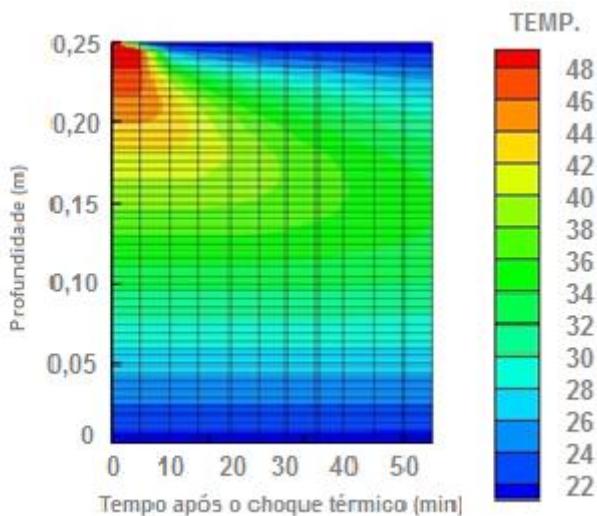


Figura 2. Distribuição de Temperatura Após o Choque Térmico no Sólido Equivalente

Como é possível observar, após o choque térmico a faixa correspondente a parte interna da parede continua estabilizada mesmo após o choque, variando apenas a parte mais externa e do interior da parede. Portanto, a equação (3) foi eficiente para descrever e modelar o fenômeno em ambos sólidos.

#### 4. CONCLUSÕES

Esta formulação de distribuição unidimensional de temperatura foi demonstrada como válida para descrever o gradiente de temperaturas em uma parede tridimensional. Dessa forma, quando se estipula que os bordos do sólido estão isolados e que em toda a superfície da face externa do sólido existe apenas um valor de temperatura distribuído ( $U_T$ ), e que, semelhantemente, em toda a face interna também há apenas um valor de temperatura distribuído ( $U_B$ ), o sólido tridimensional, na verdade, se comportará como se fosse um elemento unidimensional no que tange à distribuição de temperatura. Sendo assim, haverá distribuição térmica variando apenas na direção do eixo x.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HILDEBRAND, F. B. “Advanced Calculus for Applications”. Prentice Hall Inc.. New Jersey, United States, 1962.

MOREIRA, D. M., VILHENA, M. T., BUSKE, D., TIRABASSI, T.. **The state-of-art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere.** *Atmos. Research* 92, 1-17, 2009.

SARAIVA, A G.. **Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada.** Dissertação - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998.

UCHÔA, J. C. B.. **Procedimento numérico e experimental para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento,** Dissertação - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.