



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905041	
CAPÍTULO 2	18
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905042	
CAPÍTULO 3	29
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905043	
CAPÍTULO 4	38
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905044	
CAPÍTULO 5	53
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905045	
CAPÍTULO 6	67
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

CAPÍTULO 7 80

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

Bruno Barbieri
Vinicius Segalla
Marcio Catapan
Maria Lúcia Okimoto
Isabella Sierra

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

CAPÍTULO 8 91

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

Silas Fernandes Caze
Lucas de Sousa Camelo
Wictor Gomes de Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

CAPÍTULO 9 96

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

Marcos José Mannala
Marlon Elias Marchi
Marcio Tonetti

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

CAPÍTULO 10 103

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

Carlos Henrique da Silva
Felipe Martins Silva
Fernando Luiz Alhem dos Santos
Jardson da Silva David
Juliana Lopes Cardoso
Milton Zanotti Junior

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

CAPÍTULO 11 114

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

Walter dos Santos Sousa
Caroline Moura da Silva
Érika Cristina de Melo Lopes
Gilton Carlos de Andrade Furtado
Lana Ritiele Lopes da Silva
Michele da Costa Baía

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

CAPÍTULO 12	127
CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23	
<i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i>	
<i>Fernando Costa Malheiros</i>	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i>	
<i>Henrique Coelho Fernandes</i>	
<i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050412	
CAPÍTULO 13	135
TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA	
<i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i>	
<i>Breno Dantas Santos</i>	
<i>Juliana Sanches da Silva</i>	
<i>Marcos Bruno Santana</i>	
<i>Deovaldo de Moraes Júnior</i>	
<i>Vitor da Silva Rosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050413	
CAPÍTULO 14	147
A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS	
<i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i>	
<i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i>	
<i>Anna Paula Bechepeche</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050414	
CAPÍTULO 15	169
VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO	
<i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i>	
<i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i>	
<i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i>	
<i>Arielly Assunção Pereira</i>	
<i>Roger Barros da Cruz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050415	
CAPÍTULO 16	185
MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS	
<i>Isabella Fenner Rondon</i>	
<i>Josivaldo Godoy da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050416	
CAPÍTULO 17	196
ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Vicente Severino Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050417	

CAPÍTULO 18	209
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i> <i>Edmar Antônio Onofre</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050418	
CAPÍTULO 19	221
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i> <i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i> <i>Luís Felipe Furtado Pontes</i> <i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i> <i>Lucas Silva Soares</i> <i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050419	
CAPÍTULO 20	236
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i> <i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i> <i>Fábio Roberto Chavarette</i> <i>Roberto Outa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050420	
CAPÍTULO 21	245
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i> <i>João Paulo Correia Teixeira</i> <i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i> <i>Tulio Rosine Martins De Souza</i> <i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050421	
SOBRE OS ORGANIZADORES	247

CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23

Luís Henrique da Silva Ignacio

Instituto Federal Goiano

Rio Verde - Goiás

Fernando Costa Malheiros

Universidade do Estado de Minas Gerais

Ituiutaba – Minas Gerais

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo

Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia – Minas Gerais

Henrique Coelho Fernandes

Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia – Minas Gerais

Gilmar Guimarães

Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia – Minas Gerais

RESUMO: Normalmente os problemas práticos em condução de calor envolvem modelos transientes e tridimensionais. As soluções analíticas obtidas nestes casos podem apresentar certa complexidade, requerendo uma habilidade específica para a sua implementação e uso. Em alguns casos, os problemas tridimensionais podem ser reduzidos a bi ou unidimensionais sem perda de precisão. Em outros, problemas unidimensionais com geometria finita podem ser reduzidos a problemas de geometria mais simples como a semi-infinita. Tais simplificações são realizadas tendo como base os valores dos tempos de

penetração e desvio de calor. Neste estudo foram calculados os tempos de penetração e desvio de calor para o modelo X23 em várias posições. O objetivo do estudo é simplificar o modelo em um semi-infinito, denominado X20. As soluções diretas dos modelos foram obtidas usando Funções de Green.

PALAVRAS-CHAVE: tempo de penetração de calor, tempo de desvio de calor, X23, X20, Funções de Green.

ABSTRACT: Normally the practical problems in heat conduction involve transients and three-dimensional models. The analytical solutions obtained in these cases can present certain complexity, requiring a specific skill to implement and use. In some cases, the three-dimensional problem can be reduced to a bi or one-dimensional without loss of accuracy. In others, one-dimensional problems with finite geometry can be reduced to simple geometry problems as the semi-infinite. Such simplifications are realized based on the values of the heat penetration and deviation times. In this study was calculated the heat penetration and deviation times of the X23 model in many positions. The aim of the study is to simplify the model in a semi-infinite, called X20. The direct solutions of the models were obtained using Green's functions.

KEYWORDS: heat penetration time, heat

deviation time, X23, X20, Green's functions.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de soluções analíticas tem um papel extremamente importante na análise térmica de diversas aplicações práticas, desde problemas de engenharia a aplicações em medicina. Por exemplo, a modelagem de problemas térmicos é sempre necessária em vários processos de fabricação onde a geração de calor esteja presente. Neste exemplo ou na maioria dos processos reais os problemas são multidimensionais e as condições de contorno são normalmente não homogêneas. As soluções analíticas obtidas nestes casos podem apresentar certa complexidade, requerendo uma habilidade específica para a sua implementação e uso (FERNANDES et al., 2015).

Todavia, vários problemas térmicos multidimensionais ou com geometrias complexas podem ser simplificados, dependendo da observação da ocorrência dos fenômenos físicos presentes no processo. Em alguns casos, problemas tridimensionais podem ser reduzidos a problemas bi ou unidimensionais sem perda de precisão. Em outros casos, problemas unidimensionais com geometria finita podem ser reduzidos a problemas de geometria mais simples como a semi-infinita. A possibilidade física de análise dessas condições permitem a obtenção de soluções simplificadas e com a mesma confiança e precisão da formulação mais geral e complexa.

O potencial de uso dessas simplificações é grande e abrangente podendo, por exemplo, ser aplicado na solução de problemas inversos, obtendo-se estimativas de fluxo de calor em regiões inacessíveis à instrumentação utilizando soluções analíticas suficientemente simples. Tais simplificações são realizadas tendo como base os valores dos tempos de penetração e desvio de calor.

O presente trabalho propõe calcular os tempos de penetração e desvio de calor para várias posições em uma placa plana com espessura L , com um imposição do fluxo de calor imposto em $x=0$ e superfície oposta sujeita a um meio convectivo. O intuito do estudo é determinar por quanto tempo o modelo X23 pode ser simplificado em um modelo X20.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Problema direto

O problema direto relacionado ao problema em estudo é mostrado na Fig. (1a). Uma placa plana de espessura L inicialmente a uma temperatura de equilíbrio é submetida instantaneamente em um tempo $t > 0$ a um fluxo de calor q'' , em $x = 0$ enquanto a face oposta é exposta a um meio convectivo com um coeficiente de troca de calor, $h = 5$ [W/m²K] e temperatura = 25°C. Esse problema é descrito pelas Eq. (1),

(2) e (3) da difusão de calor mostradas a seguir.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (x, t) \in (0, L) \times (0, \infty) \quad (1)$$

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = q(t) \quad -k \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L} = h\theta \quad (2)$$

$$\theta(x, 0) = 0 \quad (3)$$

Nas Eq. (1), (2) e (3) a variável θ é definida como $\theta(x, t) = T(x, t) - T_\infty$. Os parâmetros k e α são, respectivamente, a condutividade e a difusividade térmica do material e h é o coeficiente de transferência de calor por convecção.

O problema térmico dado pelas Eq. (1), (2) e (3) pode ser resolvido usando o método das funções de Green (COLE et al., 2010). Nesse caso a solução é dada pela Eq. (4).

$$\theta(x, t) = \alpha \int_0^t G(x, t | 0, \tau) \frac{q(\tau)}{k} d\tau \quad (4)$$

Onde a $G(x, t | x', \tau)$ é a função de Green, denominada G_{X23} , e é dada pela Eq.(5).

$$G_{X23}(x, t | x', \tau) = \frac{2}{L} \sum_{m=1}^{\infty} e^{-\beta_m^2 \alpha (t-\tau) / L^2} \frac{\beta_m^2 + B_2^2}{\beta_m^2 + B_2^2 + B_2} \cos(\beta_m x / L) \cos(\beta_m x' / L) \quad (5)$$

Sendo β_m os autovalores do problema, obtidos através da solução da equação transcendental mostrada na Eq. (6).

$$\beta_m \tan(\beta_m) = B_2, \text{ sendo } B_2 = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

Substituindo a função de Green, mostrada na Eq. (5), na Eq. (4) e considerando o fluxo de calor constante, obtém-se a solução analítica do modelo X23, mostrada na Eq. (7).

$$\theta_{X23} = \frac{2q_0 L}{k} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\beta_m^2 + B_2^2}{\beta_m^2 + B_2^2 + B_2} \frac{\cos(\beta_m x / L)}{\beta_m^2} \left[1 - e^{-\beta_m^2 \alpha t / L^2} \right] \quad (7)$$

Observa-se que a solução mostrada na Eq. (7) envolve um somatório que é função do número de autovalores β_m . Estes autovalores, por sua vez devem ser calculados através da solução da equação transcendental dada pela Eq. (6). Caso o problema real abordado envolva as três dimensões, a solução do campo de temperatura envolveria três somatórios e o cálculo de três equações transcendentais (FERNANDES et al., 2015). Uma alternativa é a abordagem do problema considerando a placa finita como um meio semi-infinito, ou seja, com espessura muito grande. A Figura (1.b) apresenta

um representação desse modelo.

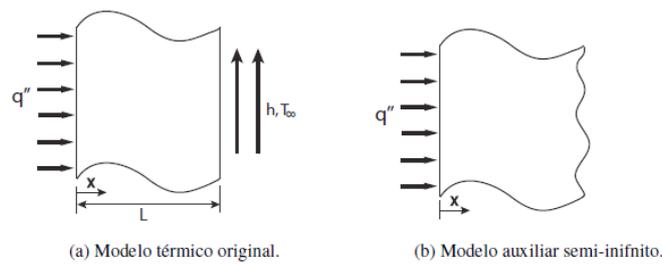


Figura 1. Representação dos modelos trabalhados.

Obviamente, somente em determinadas condições físicas e ou geométricas e para determinadas posições da placa a evolução de temperatura será a mesma para os dois modelos. Nestas condições, como o fluxo de calor imposto em $x = 0$ é o mesmo nos dois modelos, o modelo semi-infinito, aqui denominado de modelo auxiliar, poderia ser usado para a estimativa do fluxo de calor aplicado no problema original. A função de Green para o modelo semi-infinito do problema auxiliar é dada por Cole et al. (2010) e é mostrada na Eq. (8).

$$G_{X20}(x, t | x', \tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi\alpha(t-\tau)}} \left[e^{-\frac{(x-x')^2}{4\alpha(t-\tau)}} - e^{-\frac{(x+x')^2}{4\alpha(t-\tau)}} \right] \quad (8)$$

Substituindo a função de Green, mostrada na Eq. (8), na Eq. (4) e considerando o fluxo de calor constante, obtem-se a solução analítica do modelo X20, mostrada na Eq. (9).

$$\theta_{X20} = \frac{q_0}{k} \sqrt{4\alpha t} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4\alpha t}}\right) \quad (9)$$

2.2. Tempos de penetração e desvio de calor

Observa-se que as soluções analíticas dos modelos térmicos da placa plana (problema original) e semi-infinito (problema auxiliar), mostradas nas Eq. (7) e (9), representam soluções exatas de seus respectivos modelos. Todavia, o comportamento dessas soluções é idêntico em determinadas condições físicas e/ou geométricas num certo intervalo de tempo. De fato, uma vez determinadas estas regiões e este intervalo, ambas as soluções podem ser usadas indistintamente. Ainda, uma vez identificado esse comportamento, cada solução na realidade verifica a outra. A este tipo de verificação dá-se o nome de verificação intrínseca (COLE et al., 2014), pois cada solução exata é obtida e implementada numericamente de forma independente. Duas variáveis fundamentais para o estabelecimento físico desta verificação são dadas pelos chamados tempos de penetração de calor e tempo de desvio de calor que indicam, respectivamente, a influência da condição de contorno ativa e da condição de

contorno inativa no interior da placa plana.

Ou seja, nesse trabalho, o tempo de penetração de calor determina quanto tempo leva para que uma determinada posição x seja influenciada pela pelo fluxo de calor $q(t) = q_0$, nesse caso, o tempo em que a temperatura em um determinado ponto começa a mudar em uma fração de 10^{-n} em relação à temperatura em $x = 0$ (COLE et al., 2014; DE MONTE et al., 2008). Já o tempo de desvio de calor representa o tempo gasto para que o efeito da convecção de calor influencie em uma determinada posição x , ou seja, o instante em que o modelo X23 diverge do X20.

de Monte et al. (2008) define em seu trabalho uma relação para a obtenção do tempo de penetração de calor, a qual é mostrada na Eq. (10).

$$\frac{\theta_{X20}(x,t)}{\theta_{X20}(0,t)} = 10^{-n} \quad (10)$$

Nota-se que é a Eq. (10) é uma relação entre a temperatura na posição em que se deseja calcular o tempo de penetração de calor e a temperatura em $x = 0$. Ambas temperaturas são calculadas pela expressão do modelo semi-infinito, pois a definição de tempo de penetração de calor leva em consideração apenas a condição de contorno ativa que é preservada por este modelo. Nela é aplicada uma fração aceitável de mudança na temperatura na posição x analisada e assim possa ser usada nos cálculos. O expoente n define a dimensão desta variação aceitável.

Já para o tempo de desvio de calor de Monte et al. (2008) sugere em seu trabalho uma outra relação de temperatura, a qual é mostrada na Eq. (11).

$$\frac{\theta_{X23}(x,t) - \theta_{X20}(x,t)}{\theta_{X20}(0,t)} = 10^{-n} \quad (11)$$

Nota-se que o numerador desta relação é a diferença de temperatura entre os modelos finito e semi-infinito, por esta razão o tempo de desvio de calor determina o instante em que o modelo de placa plana finita diverge da placa semi-infinita. Trabalha-se com $\theta(x,t)$, pois para a aplicar a Eq. (11) a condição de contorno em $x = L$ deve ser homogênea. De forma análoga ao tempo de penetração de calor, na Eq. (11) também é aplicado um limite de ordem decimal aceitável, o qual tem dimensão definido pelo expoente n . O tempo de desvio de calor será o primeiro valor de tempo que atinja o limite definido através de tal expoente.

3 | RESULTADOS

Os cálculos dos tempos de penetração e desvio de calor foram realizados considerando dois materiais: o Policloreto de Vinila (PVC) e o Metal Duro ISO K10. Foram escolhidos estes materiais, pois eles apresentam características térmicas opostas, sendo o PVC um bom isolante e o Metal Duro um bom condutor. As

propriedades térmicas de ambos materiais são mostradas na Tab. (1).

Propriedades Térmicas	PVC	Metal Duro Iso K10
α (m ² /s)	1.17×10^{-7}	4.36×10^{-5} ^{(1) (2)}
k (W/mK)	0.15	130 ⁽¹⁾

Tabela 1. Propriedades térmicas do PVC e metal duro ISO K10.

⁽¹⁾ Engqvist et al. (2000) ⁽²⁾ Brito et al. (2009)

Considerou-se um placa plana com comprimento $L=10$ mm. Os tempos foram calculados para cinco posições, espaçadas de 2 e 2 mm e começando em $x=2$ mm. Para o expoente n foram atribuídos três valores: 2, 4 e 10.

Utilizando as Eq. (9) e (10) calculou-se os tempos de penetração de calor para os materiais anteriormente apresentados, como mostrado na Tab. (2).

x(mm) \ n	PVC			Metal Duro		
	2	4	10	2	4	10
2	3.3134	1.3217	0.4426	0.0089	0.0036	0.0012
4	13.2534	5.2866	1.7701	0.0356	0.0142	0.0048
6	29.8200	11.8949	3.9828	0.0801	0.0320	0.0107
8	53.0133	21.1465	7.0804	0.1423	0.0568	0.0191
10	82.8333	33.0414	11.0632	0.2224	0.0887	0.0297

Tabela 2. Tempos de penetração de calor [s].

Uma vez determinados os valores dos tempos de penetração do calor, pode-se calcular os respectivos tempos adimensionais de penetração de calor, definidos por $t_{pen}^+ = \alpha t_{pen} / x^2$, apresentados na Tab. (3).

x(mm) \ n	PVC			Metal Duro		
	2	4	10	2	4	10
2	0.0970	0.0387	0.0130	0.0971	0.0393	0.0131
4	0.0970	0.0387	0.0130	0.0971	0.0387	0.0131
6	0.0970	0.0387	0.0130	0.0970	0.0388	0.0130
8	0.0970	0.0387	0.0130	0.0970	0.0387	0.0130
10	0.0970	0.0387	0.0130	0.0970	0.0388	0.0130

Tabela 3. Tempos adimensionais de penetração de calor.

Nota-se que os tempos adimensionais de penetração de calor são dependentes apenas do valor do expoente n , assim ele pode ser considerado como um parâmetro do modelo unidimensional de condução de calor.

Já para o cálculo dos tempos de desvio de calor foram utilizadas as Eq. (7), (9) e (11), os quais são apresentados na Tab. (4).

		PVC			Metal Duro		
		2	4	10	2	4	10
x(mm)	n						
	2	266.5070	107.0080	35.9754	0.6836	0.2867	0.0958
	4	220.6730	84.8890	28.4250	0.5657	0.2273	0.0763
	6	169.2000	65.0100	21.7629	0.4357	0.1739	0.0584
	8	123.5760	47.7740	15.9891	0.3202	0.1277	0.0429
10	82.8333	33.1810	11.1035	0.2224	0.0888	0.0298	

Tabela 4. Tempos de desvio de calor [s].

Os tempos adimensionais de desvio de calor foram calculados através da equação $t_{desv}^+ = \alpha t_{desv} / (2L - x)^2$, e são mostrados na Tab. (5).

		PVC			Metal Duro		
		2	4	10	2	4	10
x(mm)	n						
	2	0.0922	0.0386	0.0130	0.0920	0.0386	0.0129
	4	0.0967	0.0387	0.0130	0.0964	0.0387	0.0130
	6	0.0970	0.0387	0.0130	0.0970	0.0387	0.0130
	8	0.0970	0.0387	0.0130	0.0970	0.0387	0.0130
10	0.0970	0.0387	0.0130	0.0970	0.0387	0.0130	

Tabela 5. Tempos adimensionais de desvio de calor.

Os tempos adimensionais de desvio de calor também dependem apenas do expoente n e apresenta valores iguais aos obtidos para os tempos adimensionais de penetração de calor.

Tomando como exemplo a posição x=2 mm no PVC e o expoente n=2 pode-se afirmar que de 0 a 266.5070 segundos as soluções X23 e X20 são seguramente equivalentes e que o fluxo de calor leva 3.3134 segundos para atingir tal posição. Mantendo o mesmo material e o expoente, mas mudando para a posição x=10 mm, nota-se que o tempo de penetração e desvio são iguais, isto ocorre, pois, esta posição coincide com o comprimento L da placa plana, que é onde está o contorno inativo do modelo.

4 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das agências de pesquisa governamentais brasileiras CAPES, CNPq e FAPEMIG.

5 | RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

BRITO, R. F., CARVALHO, S. R., DE LIMA E SILVA, S. M. M., FERREIRA, J.R. **Análise térmica em ferramenta de metal duro revestida.** V Congresso Brasileiro de Engenharia de fabricação, 2009

COLE, K. D., BECK, J. V., HAJI-SHEIKH, A., LITKOUHI, B. **Heat Conduction Using Green's Functions.** Taylor & Francis Group, Washington, 2^a ed., 2010.

COLE, K. D., BECK, J. V., WOODBURY, K. A., DE MONTE, F. **Intrinsic verification and a heat conduction database.** Int. J. Heat and Mass Transfer, v. 78, p. 36–47, 2014.

DE MONTE, F., BECK, J. V., AMOS, D. E. **Diffusion of thermal disturbances in two-dimensional cartesian transient heat conduction.** Int. J. Heat and Mass Transfer, v. 51, p. 25–26, 2008.

ENGQVIST, H., HOGBERG, H., BOTTON, G.A., EDERYD, S., AXÉN, N. **Tribofilm formation on cemented carbides in dry sliding conformal contact.** Wear, v. 239, p. 219–228, 2000.

FERNANDES, A. P., DOS SANTOS, M. B. and GUIMARÃES, G. **An analytical transfer function method to solve inverse heat conduction problems.** Applied Mathematical Modelling, v. 39, p. 6897–6914, 2015.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-246-3

