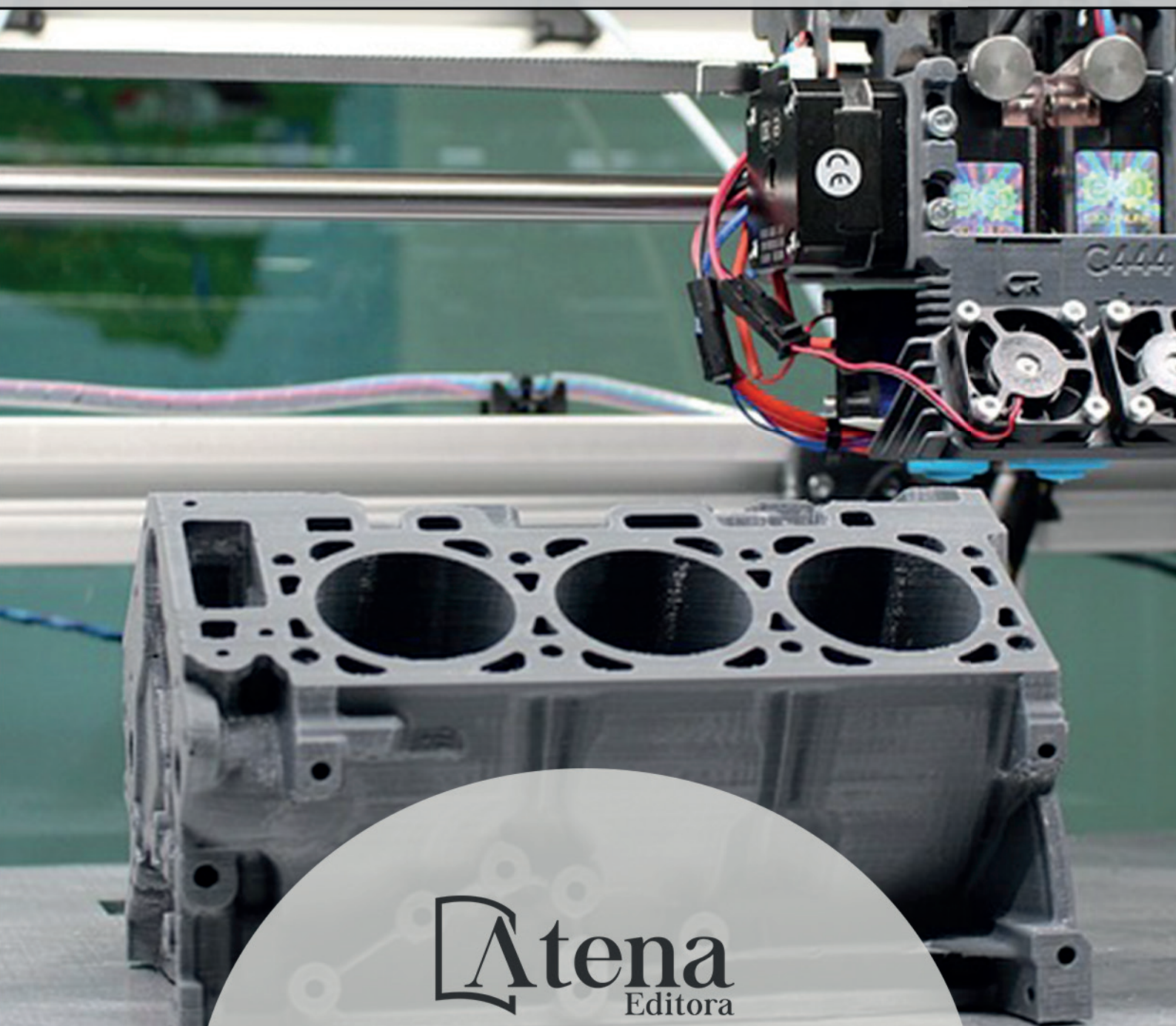


# Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**Franciele Bonatto**  
**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**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)**

E57    Engenharias mecânica e industrial [recurso eletrônico] : projetos e fabricação / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
ISBN 978-85-85107-76-5  
DOI 10.22533/at.ed.765180511

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica.  
3. Produtividade industrial. I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.

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.

2018

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](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Surgida durante a Revolução Industrial na Europa no século XVIII, a Engenharia Mecânica de maneira sucinta, pode ser definida como o ramo da engenharia que se dedica a projetos, produção e manutenção de máquinas.

Nesta obra é conciliado estes dois fundamentos que são pilares na profissão de engenheiro mecânico; Projetos e fabricação. Felizmente é possível perceber que estes dois fundamentos da engenharia mecânica e industrial continuam sendo pontos fortes da formação de profissionais nesta área e dos docentes pesquisadores envolvidos neste processo.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de projetos e fabricação no âmbito da engenharia.

Trabalhos envolvendo caracterização de materiais são importantes para a execução de projetos dentro de premissas de desempenho e econômicas adequadas. Eles continuam a ser a base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais para o design do produto em concepção.

Dentro deste livro também são contemplados temas eminentemente práticos emissão de motores de combustão interna, bancadas didáticas de bombeamento, tuneis de vento além de problemas clássicos da indústria como tubulações e lubrificação.

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

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO AÇO SAE 1020	
<i>Amadeu Santos Nunes Junior</i>	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
AJUSTE DE CURVAS DOS PARÂMETROS DE SOLIDIFICAÇÃO PARA AÇOS PRODUZIDOS POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO	
<i>Lisiane Trevisan</i>	
<i>Juliane Donadel</i>	
<i>Bianca Rodrigues de Castro</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE CARBONO DE UM AÇO POR MEIO DA METALOGRAFIA QUANTITATIVA	
<i>Felipe Gomes dos Santos</i>	
<i>Lioudmila Aleksandrovna Matlakhova</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE COMPÓSITOS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE MADEIRA Balsa MEDIANTE ENSAIO DE DOBRAMENTO TRÊS PONTOS	
<i>Denilson Pablo Cruz de Oliveira</i>	
<i>Renata Portela de Abreu</i>	
<i>Pedro Augusto Silva de Sousa</i>	
<i>Abimael Lopes de Melo</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELO MÉTODO DE PLACA QUENTE	
<i>Wênio Fhará Alencar Borges</i>	
<i>Eduardo Corte Real Fernandes</i>	
<i>Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho</i>	
<i>Alex Maurício Araújo</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA A PARTIR DA VARIAÇÃO NA REGULAGEM DAS VÁLVULAS DE ADMISSÃO E EXAUSTÃO	
<i>Fernanda de Souza Silva</i>	
<i>Adriano Sitônio Rumão</i>	
<i>Marcos da Silva Gonçalves Júnior</i>	
<i>Daniel Lira da Silva Figueiredo</i>	
<i>Bráulio Alexandre Alves de Lima</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>66</b>
ANÁLISE DE EMISSÃO DE GASES DO MOTOR HORIZONTAL BRIGGS AND STRATTON INTEK 10 HP BAJA SAE	
<i>Bruno Silvano da Silva</i>	
<i>Daniel Willemam Trindade</i>	
<i>Elias Rocha Gonçalves Júnior</i>	
<i>Virgínia Siqueira Gonçalves</i>	
<i>Claudio Luiz Melo de Souza</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 79**

ROTEIRO TÉCNICO PARA CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS UTILIZADAS EM ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS

*Ismael de Marchi Neto*  
*Rodrigo Corrêa da Silva*  
*Mateus de Souza Goulart*  
*Rafael Sene de Lima*  
*Ricardo de Vasconcelos Salvo*

**CAPÍTULO 9 ..... 97**

UTILIZAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA REFRIGERAÇÃO DE PARADAS DE ÔNIBUS EM TERESINA-PI

*Wênio Fhará Alencar Borges*  
*Armystron Gonçalves Ferreira Araújo*  
*Alexsione Costa Sousa*  
*Luciane Norberto Menezes de Araújo*  
*Maria Onaira Gonçalves Ferreira*

**CAPÍTULO 10 ..... 108**

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA DE CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRÍFUGA

*Janio Marreiros Gomes,*  
*Ighor Caetano Silva Ferreira,*  
*Adriano do Amor Divino Guilhon Serra,*  
*Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho,*  
*Wellington de Jesus Sousa Varella,*  
*Thymisson Sousa da Paixão,*

**CAPÍTULO 11 ..... 120**

INTRODUÇÃO À ANÁLISES HIDRÁULICAS ATRAVÉS DO ESTUDO DO COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO EM TUBULAÇÕES

*Rafael Costa Da Silva*  
*Luiz Carlos Cordeiro Junior*

**CAPÍTULO 12 ..... 132**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TUNEL DE VENTO DIDÁTICO DE BANCADA EXPERIMENTAL PARA ESTUDOS AERODINÂMICOS

*Diógenes Leite Souza*  
*Fernando Lima de Oliveira*

**CAPÍTULO 13 ..... 151**

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS NO MOTOR DO CARRO ARRANCADA

*Paulo Rutenberg Madeira Santos*  
*Higor Leandro Veiga da Silva*

**CAPÍTULO 14 ..... 158**

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO ÓLEO BASE DE UMA GRAXA MINERAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTAMINAÇÃO

*Ana Cláudia Marques*  
*Bruno Henrique Viana Mendes*  
*Jorge Nei Brito*

**CAPÍTULO 15 ..... 167**

MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM MEIOS LÍQUIDOS NA OBTENÇÃO DE SOLUÇÕES EM ENGENHARIA

*Vagner dos Anjos Costa*  
*Cochiran Pereira dos Santos*

*Antonio Cardoso Ferreira  
Jubiraí José Galliza Júnior  
Fabrício Oliveira Silva  
Fabio Santos de Oliveira  
Silvio Leonardo Valença*

**CAPÍTULO 16..... 179**

ESTUDO EXPERIMENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE ONDAS E CORRENTES MARÍTIMAS

*Reginaldo Nunes da Silva  
Patrícia do Nascimento Pereira  
Fernando Lima de Oliveira*

**CAPÍTULO 17 ..... 186**

USO DO SENSOR HC – SR04 COM O ARDUINO UNO: UMA ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO ENVOLVENDO AS BIBLIOTECAS ULTRASONIC E NEW PING

*Lucas Santin Bianchin  
Rogério Bido  
Vanessa Carina Dal Mago  
Alexsander Furtado Carneiro*

**CAPÍTULO 18..... 198**

MODERNIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ATRAVES DA IMPLANTAÇÃO DE REDE INDUSTRIAL E SISTEMA SCADA EM WINCC RT

*Fabrício Roosevelt Melo da Silva  
Diego Antônio de Moura Fonseca  
Andrés Ortiz Salazar*

**SOBRE O ORGANIZADORES..... 213**

## AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELO MÉTODO DE PLACA QUENTE

### Wênio Fhará Alencar Borges

Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Recife - Pernambuco

### Eduardo Corte Real Fernandes

Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Recife - Pernambuco

### Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Recife - Pernambuco

### Alex Maurício Araújo

Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Recife - Pernambuco

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo prático para determinação do coeficiente de condutividade térmica de uma placa de silicato de cálcio através de calorímetro de placa quente. Medições experimentais da diferença de temperatura entre dois pontos da placa são feitas neste estudo para a obtenção do coeficiente de condutividade térmica  $k$  do material. A diferença de temperatura foi gerada

através da utilização da placa de silicato posicionada entre duas outras placas, uma quente e outra fria. A aquisição de dados ocorreu via implantação de dois termopares conectados a um sistema de aquisição de dados, no qual armazena o comportamento da temperatura durante o experimento. No lado oposto, água fria foi usada para refrigerar a placa com o objetivo de aumentar a variação de temperatura entre os pontos de medição. Como resultado do experimento realizado, encontrou-se um coeficiente de condutividade térmica de  $0,062 \pm 0,003 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  para a temperatura média de  $229,8 \text{ °C}$ . O valor da condutividade para esse material de acordo com os fabricantes, após realizado interpolação para a temperatura de  $229,8 \text{ °C}$ , é de  $0,068 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ . Logo, é possível concluir que existe um erro relativo no cálculo da incerteza utilizando esse experimento de  $8,82\%$  em relação ao valor considerado como real.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condutividade térmica, calorímetro de placa quente, incertezas

**ABSTRACT:** This paper presents a practical study for determining the thermal conductivity coefficient of a calcium silicate board by hot plate calorimeter. Experimental measurements of the temperature difference between two points of the plate are made in this study for obtaining the thermal conductivity coefficient  $k$



of the material. The temperature difference was generated by the use of silicate plate positioned between two other plates, one hot and one cold. Data acquisition occurred through the implantation of two thermocouples connected to a data acquisition system, which stores the behavior of the temperature during the experiment. On the opposite side, cold water was used to refrigerate the plate in order to increase the temperature variation between the measurement points. As a result of the experiment carried out, it was found the thermal conductivity coefficient of  $0.062 \pm 0.003 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  to the average temperature of  $229.8 \text{ °C}$ . The conductivity value for this material according to the manufacturers performed after interpolation to a temperature of  $229.8 \text{ °C}$  is  $0.068 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ . Therefore, it is possible to conclude that there is a relative error in the calculation of uncertainty using this experiment of 8.82% compared to the value considered as real.

**KEYWORDS:** Thermal conductivity, hot plate calorimeter, uncertainties

## 1 | INTRODUÇÃO

A medição de uma grandeza é complexa pois é impossível medir sem cometer algum erro. No cotidiano é difícil de se encontrar um sistema com as seguintes características: uma medição perfeita, um ambiente estável e controlado, um operador perfeito e um valor definido para um mensurando bem definido e estável. Em outras palavras, nenhuma dessas condições costuma acontecer simultaneamente ou isoladamente.

O processo de medição é caracterizado perfeitamente quando se estima de forma correta as correções e as incertezas associadas. De acordo com Albertazzi e Sousa (2008), além do mensurando e do sistema de medição, fazem parte do processo o operador, os procedimentos de medição utilizados e as condições em que são efetuadas. Albertazzi e Sousa (2008) menciona ainda que cada um desses elementos acrescenta uma componente de incerteza ao resultado da medição e devem ser convenientemente considerados e combinados para que se obtenha uma estimativa realista da incerteza do processo de medição.

A partir disto, percebe-se que a qualidade do resultado de uma medição é avaliada pela sua incerteza. O resultado sempre terá um erro de medição associado, em menor ou maior grau. Expressar um resultado confiável implica levar em consideração o processo de medição como um todo, sob pena de se chegar a resultados totalmente enganosos (Camarano e Andrade, 2002).

O aparato de placa quente (APQ), geralmente reconhecido como o principal método, é amplamente utilizado para medir a condutividade térmica de isolamentos térmicos homogêneos (Flynn *et al.*, 2002). A sua utilização é de grande importância quando se deseja determinar a condutividade térmica de um certo material. Li *et al.* (2012), comenta que a determinação precisa da condutividade térmica é crítica em pesquisa, desenvolvimento, produção e aplicação de isolamentos térmicos.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o coeficiente de condutividade térmica para uma placa de material isolante, silicato de cálcio, através dos dados obtidos de um ensaio experimental em calorímetro de placa quente e mostrar a influência da propagação de erros no resultado final a partir de análises de incertezas associadas as medições. Ao final, pretende-se comparar o resultado encontrado com os valores fornecidos por fabricantes do produto.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi de pesquisa bibliográfica, utilizando-se, portanto, de materiais já elaborados, como livros, artigos científicos, dissertações e teses.

### 2.1. Conceitos básicos

**Calor:** está associado à transferência de energia entre sistemas devido exclusivamente a diferença de temperatura entre eles, ou seja, em virtude de um gradiente térmico entre sistemas ou parte destes (Incropera *et al.*, 2014). Também pode ser entendido como a parcela da energia transferida entre sistemas termodinâmicos que não está associada à execução de trabalho mecânico, cabendo a este a transferência de energia em virtude do movimento da fronteira entre os sistemas (Aquino, 2014).

**Fluxo de calor:** é a taxa de energia térmica (calor) transferida uma dada superfície (Çengel e Ghajar, 2012). Ou simplesmente, a quantidade de calor cedida por um corpo sobre o tempo gasto para realizar a transferência. Pode ser quantificado por seu valor transferido por unidade de área em uma unidade de tempo. Em unidades do Sistema Internacional (SI), é medido em  $[W \cdot m^{-2}]$ .

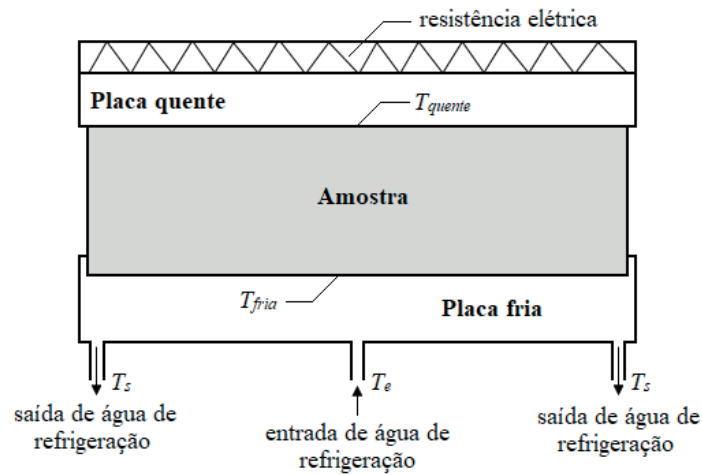
**Regime permanente:** a temperatura em qualquer ponto do sistema ou meio já não varia em função do tempo, ou seja, os gradientes térmicos se mantêm constantes à medida que o tempo passa. Desta forma, após um tempo de equilíbrio, a distribuição espacial das temperaturas (campo de temperatura) no meio ou no sistema não se alterará mais (Çengel e Ghajar, 2012).

**Condutividade térmica:** Quantifica a habilidade dos materiais de conduzir calor. Conceituada com um maior rigor científico, é classificada como a propriedade de transporte e indica a taxa pela qual a energia é transferida pelo processo de difusão (Incropera *et al.*, 2014). Materiais com alta condutividade térmica conduzem calor de uma forma mais rápida. Segundo Aquino (2014), nos sólidos a condutividade térmica pode ter ordem de grandeza quatro vezes maior do que em um gás.

### 2.2. Ensaio por calorímetro de placa quente

No ensaio por calorímetro de placa quente, uma placa de dimensões conhecidas

é colocada entre uma fonte e um sorvedouro de calor como mostrado na Fig. 1, impondo assim um fluxo de calor que atravessa a placa. Após um determinado tempo de ensaio será alcançada a condição de regime permanente e nestas condições pode ser aplicada a lei de Fourier para a determinação da condutividade térmica (Moura, 1993, *apud* Simioni, 2005).



**Figura 1** - Esquema de calorímetro para determinação da condutividade térmica de placas.

Podemos observar na Fig. 1 que a fonte de calor é formada por uma placa de metal quente (aquecida por uma resistência elétrica) que transfere energia térmica à amostra. O sorvedouro de calor é formado por uma placa fria que é resfriada por água através de um circuito de refrigeração com uma entrada e duas saídas.

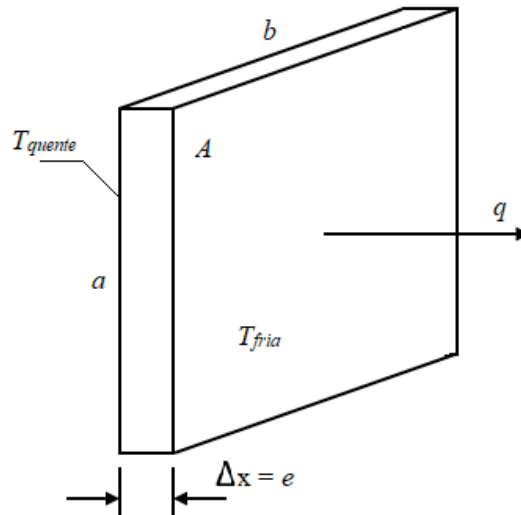
Durante o experimento são monitoradas as temperaturas de entrada e saída da água de resfriamento e as temperaturas da superfície superior (quente) e superfície inferior (fria) da amostra, usando termopares. Sob condições de regime permanente, estas temperaturas permanecem constantes e é um indicativo de que o sistema entrou em regime.

A lei de Fourier estabelece que o fluxo de calor por unidade de área é proporcional ao gradiente de temperatura na direção do fluxo de calor, Eq. 1.

$$\frac{q}{A} = -k \cdot \left( \frac{\delta T}{\delta x} \right) \quad (1)$$

Aplicando esta lei à placa em teste representada na Fig. 2, podemos escrever uma expressão para a condutividade térmica da placa em função dos principais parâmetros envolvidos e determinados experimentalmente.

$$k = \frac{q \cdot \Delta x}{A \cdot T_{quente} - T_{fria}} \quad (2)$$



**Figura 2** - Esquema da placa em teste e as variáveis envolvidas.

O fluxo de calor pode ser determinado com base no processo de resfriamento aplicando a lei de resfriamento de Newton, Eq. 3. Neste caso deve-se medir a vazão e a elevação de temperatura da água.

$$k = \dot{m} \cdot C_p \cdot T_s - T_e \quad (3)$$

### 2.3. Procedimento Experimental

Antes de introduzir a placa no calorímetro, foram medidas as suas características geométricas, como: comprimento ( $a$ ), largura ( $b$ ) e espessura ( $e$ ) da placa. O comprimento e largura foram medidas com uma régua graduada com resolução de 1 mm e foram feitas duas medições (uma em cada lado). A espessura da placa foi medida com um paquímetro com resolução de 0,05 mm em oito lugares diferentes da placa.

$a$	$290,5 \pm 0,5$
$b$	$260,5 \pm 0,5$

**Tabela 1** – Comprimento e largura (mm)

Medições	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
Valores	20,15	20,20	19,95	20,05	19,80	20,40	19,70	20,35

**Tabela 2** – Espessura (mm)

A partir dos dados de comprimento e largura, determinou-se o valor para a área da placa ( $A$ ), de acordo com a Eq. 4, e logo após, a sua incerteza associada devido à propagação de erros.

$$A = a \cdot b \quad (4)$$

E, com os dados da espessura ( $e$ ), obteve-se o seu valor final a partir da média das oito medições, encontrando-se também a incerteza associada através da probabilidade *t de Student*, com grau de liberdade igual a 7.

As temperaturas foram medidas com termopares ligados a um sistema de aquisição de dados digitais com resolução de leitura de 0,1 °C. Para a leitura de todas as temperaturas, foi esperado 30 minutos após ter alcançado a condição de regime permanente e o resultado corresponde a uma única medição. A razão disto é que não houve variação de valores nos últimos 30 minutos do ensaio.

Temperatura quente, ( $T_q$ )	256,8
Temperatura fria, ( $T_f$ )	27,0
Temperatura da água de entrada, ( $T_e$ )	24,8
Temperatura da água de saída (esquerda), ( $T_{se}$ )	31,5
Temperatura da água de saída (direita), ( $T_{sd}$ )	30,6

**Tabela 3** – Dados de temperaturas (°C)

De posse destes dados, primeiro determinou-se o valor médio da temperatura da água de saída ( $T_s$ ), a partir das temperaturas de saída esquerda e direita. Considerou-se o seu erro igual a resolução do instrumento de medição devido haver somente uma leitura de cada temperatura.

A vazão volumétrica foi obtida coletando-se num recipiente graduado uma quantidade de água num período de 250 segundos. Foram realizadas 10 medições após o sistema entrar em regime permanente considerando um intervalo de 3 minutos entre cada medição. A resolução do medidor de volume é 1 ml e do cronometro é de 1 segundo.

Volume na saída esquerda	262	267	252	249	267	260	265	258	271	268
Volume na saída direita	251	256	248	245	249	253	260	241	244	247

**Tabela 4** – Volume coletado em 250 segundos (ml)

A partir dos dados de volume de água na saída esquerda ( $V_{se}$ ), foi determinado o seu valor final utilizando-se a média das suas 10 medições e o seu respectivo erro, utilizando-se a probabilidade *t de Student*, com grau de liberdade igual a 9.

Para o volume de água na saída direita ( $V_{sd}$ ), foi utilizado o mesmo procedimento para o volume de água na saída esquerda, com a mesma probabilidade (*t de Student*) e com igual grau de liberdade, 9.

Após a determinação da média do volume de água na saída esquerda e direita, e com o tempo de medição ( $t=250s$ ), foi determinado a vazão volumétrica ( $\dot{Q}_{entra}$ ) a partir da Eq. 5, da continuidade e sua incerteza associada devido à propagação de erros.

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{sai\_esquerda} + \dot{Q}_{sai\_direita} \quad (5)$$

E com a vazão volumétrica ( $\dot{Q}_{entra}$ ), determinou-se o valor para a vazão mássica ( $\dot{m}$ ), utilizando-se da densidade da água ( $\rho$ ) a 25°C de 1000 kg/m<sup>3</sup>, na Eq. 6. Quanto a sua incerteza, será atribuída o valor referente a vazão volumétrica, uma vez que não se tem o valor para a incerteza associada a densidade.

$$\dot{Q}_{entra} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (6)$$

Com o valor para o fluxo de massa ( $\dot{m}$ ) determinado, pode-se encontrar o fluxo de calor ( $\dot{q}$ ), utilizando-se ainda o calor específico da água a pressão constante ( $C_p$ ) igual a 4178 J/kg·°C e as temperaturas da água de saída ( $T_s$ ) e entrada ( $T_e$ ), na Eq. 3, além de sua respectiva incerteza associada devido à propagação de erros.

Finalmente, de posse do fluxo de calor ( $\dot{q}$ ), da espessura ( $e$ ), da área ( $A$ ) e das temperaturas quente ( $T_q$ ) e fria ( $T_f$ ), pôde-se determinar o valor da condutividade térmica ( $k$ ) para o silicato de cálcio, na Eq. 2 e sua respectiva incerteza final devido a propagação de erros nos cálculos realizados anteriormente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados em todas as equações assim como o valor final para cada item medido, como por exemplo, espessura ( $e$ ), temperatura de água na saída ( $T_s$ ) e volume de água na entrada e saída, no qual necessitava-se trabalhar com suas medições a fim de se chegar ao valor médio final, foram expostos na Tab. 5, além de suas respectivas incertezas.

Grandeza medida	Valor
Área ( $A$ )	[756,75 ± 1,95] 10 <sup>-14</sup> m <sup>2</sup>
Espessura ( $e$ )	[20,08 ± 0,20] 10 <sup>-3</sup> mm
Temperatura de água na saída ( $T_s$ )	[31,1 ± 0,1] °C
Volume de água na saída esquerda ( $V_{s_e}$ )	[261,90 ± 4,88] ml
Volume de água na saída direita ( $V_{s_d}$ )	[249,40 ± 3,91] ml
Vazão volumétrica ( $\dot{V}$ )	[2,05 ± 0,03] 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s
Vazão mássica ( $\dot{m}$ )	[2050,00 ± 0,08] 10 <sup>-6</sup> kg/s
Fluxo de calor ( $\dot{q}$ )	[53,96 ± 1,21] W
<b>Condutividade térmica (<math>k</math>)</b>	<b>[0,062 ± 0,003] W/m·°C</b>

Tabela 5 – Valores encontrados nos cálculos

Como se verifica na Tab. 5, o valor encontrado para a condutividade térmica a partir dos dados experimentais foi de  $k_{experimental} = [0,062 \pm 0,003] \text{ W/m}\cdot\text{k}$

Obtendo tabelas com dados técnicos de fabricantes de silicato de cálcio, os

valores para condutividade térmica são expressos em quilocaloria por metro, por hora, por grau Celsius. Por exemplo, valores para a condutividade térmica ( $k$ ) obtida do fabricante ISAR:

Temp. de operação (°C)	50	100	150	200	300	400	500	600	650
Condutividade térmica ( $k$ )	0,048	0,051	0,054	0,057	0,062	0,068	0,073	0,078	0,080

**Tabela 6** – Condutividade térmica (kcal/mh°C)

Portanto, neste caso necessita-se fazer a conversão utilizando-se a seguinte equivalência.

$$1 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$$

Após a conversão, os novos valores para a condutividade térmica, para que estejam de acordo com os valores encontrados experimentalmente são mostrados na Tab. 7.

Temp. de operação (°C)	50	100	150	200	300	400	500	600	650
Condutividade térmica ( $k$ )	0,056	0,059	0,063	0,066	0,072	0,079	0,085	0,091	0,093

**Tabela 7** – Condutividade térmica (W/m°C)

Como a condutividade térmica neste caso foi referente a uma variação de temperatura na placa  $\Delta T = T_q - T_f = 229,8^\circ\text{C}$ , foi feita uma interpolação linear referente a esse valor, utilizando-se os valores da Tab. 7. A partir disto, o valor encontrado será considerado o valor exato de acordo com os ensaios realizados pelo fabricante. Na tabela 8 está exposto os valores utilizados na interpolação e o valor para a condutividade térmica referente a variação de temperatura na placa.

Temp. de operação (°C)	200	229,8	300
Condutividade térmica ( $k$ )	0,066	0,068	0,072

**Tabela 8** – Condutividade térmica (W/m°C)

Após a determinação do valor exato, levando-se em consideração o valor encontrado na interpolação, e o valor encontrado para a condutividade térmica experimental, realizou-se o cálculo do erro relativo percentual  $E(\%)$ , para que se possa ter um valor de discrepância entre o valor experimental encontrado e o suposto valor exato, fornecido nos dados técnicos do fabricante. Como pode ser visto na memória de cálculo, o valor obtido experimentalmente teve um erro percentual de  $E(\%) = 8,82$ , relativo ao valor exato, obtido na interpolação dos dados do fabricante.

## 4 | CONCLUSÃO

Obteve-se neste experimento um valor para a condutividade térmica experimental de  $0,062 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ , levando-se em consideração os dados obtidos a partir das medições realizadas em laboratório. Analisando os dados de alguns fabricantes, realizou-se uma interpolação linear e obteve-se como um valor exato e teórico referente a variação de temperatura de  $229,8 \text{ °C}$ , uma condutividade térmica de  $0,068 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ .

Comparando-se os valores de condutividade térmica, encontrou-se ainda que o valor obtido experimentalmente teve um desvio relativo de 8,82% em relação ao valor do fabricante. Portanto, o valor do desvio relativo mostra-se pouco elevado, o que pode ser justificado pela propagação de incertezas dos valores encontrados nas equações oriundos dos dados de medições experimentais. Outra possibilidade é a quantidade de casas decimais utilizadas nos cálculos ter influenciado no valor final.

## REFERÊNCIAS

Albertazzi Jr., Armando Gonçalves; Sousa, André R. de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2008. p.14.

AQUINO, Josué A. **Análise e aperfeiçoamento de um aparato experimental para a determinação da condutividade térmica de materiais metálicos sólidos**. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei e Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Camarano, Denise M.; Andrade, Roberto M. de. **A exatidão da medição de temperatura em processos científicos e industriais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, 2002, Caxambu. Anais... ENCIT, 2002.

Çengel, Yunus A.; Ghajar, Afshin J. **Fundamentos de transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2012.

Flynn, Daniel R.; Zarr, Robert R.; Healy, W. M.; Hahn, Mahn H. **Design concepts for a new guarded hot plate apparatus for use over an extended temperature range**. In: **Insulation materials: testing and applications**. 4ª ed, ASTM STP 1426. West Conshohocken: ASTM International, 2002.

Incropera, Frank P.; Dewitt, David P.; Bergman, Theodore L.; Lavine, Adrienne S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ISAR. **Valores de condutividade térmica para o silicato de cálcio**. São Paulo, 10 de maio de 2016. Disponível em: <http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/silicato-de-calcio/placas/>. Acesso em: 6 jun. 2018.

Li, Manfeng; Zhang, Hua, Ju, Yonglin L. **Design and construction of a guarded hot plate apparatus operating down to liquid nitrogen temperature**. Review of scientific instruments. v. 83, ed. 7. 2012.

SIMIONI, Wagner I. **Análise de erros na medição de condutividade térmica de materiais através do método fluximétrico**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.



## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Bonatto** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação e mestrado em engenharia de produção pela UTFPR e doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Trabalha com os temas: gestão da qualidade, planejamento e controle da produção e cadeia de suprimentos.

**Henrique Ajuz Holzmann** Professor 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 do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** Professor assistente 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 978-85-85107-76-5



9 788585 107765