



**Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)**

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 3

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**Ricardo Vinicius Bubna Biscaia**  
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na  
Engenharia Mecânica**  
**3**

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 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v.3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-248-7

DOI 10.22533/at.ed.487190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. 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.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica está em constante mudança, sendo uma das mais versáteis, se olhar desde seu surgimento durante a Revolução Industrial até os dias de hoje é visível a modernização e modificação dos métodos e das tecnologias empregadas.

Nesta evolução um dos pontos de destaque é a área de materiais e dos modos de obtenção dos mesmos, sendo responsável por grande parte desta modernização da área. Neste livro são tratados alguns assuntos ligados diretamente a área de matérias, bem como os processos de transformação dos mesmos em produtos finais.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de fabricação do mesmo.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a seleção, desenvolvimento e processos de obtenção e fabricação são apresentados nesse livro.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA	
<i>Diógenes Linard Aquino Freitas</i> <i>Cláudio Alves de Siqueira Filho</i> <i>José Joelson de Melo Santiago</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS	
<i>Bernardo Rota</i> <i>Alisson Geovane Silva de Souza</i> <i>Annemarie Henker</i> <i>Daniel Amoretti Gonçalves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> <i>Jefferson Gomes do Nascimento</i> <i>Luís Henrique da Silva Ignácio</i> <i>Vinicius Soares Medeiros</i> <i>Fernando Costa Malheiros</i> <i>Henrique Coelho Fernandes</i> <i>Gilmar Guimarães</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>27</b>
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO <sub>2</sub>	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>David Fernando Marcucci Pico</i> <i>Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino</i> <i>Enio Pedone Bandarra Filho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>35</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM INDENTADOR INSTRUMENTADO PARA MEDIÇÕES DE PROPRIEDADES ELÁSTICAS E PLÁSTICAS	
<i>Lucas dos Reis Heni Madeira</i> <i>Vinicius Carvalho Teles</i> <i>Washington Martins da Silva Junior</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 43**

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

*Marcelo Vitor Ferreira Machado*  
*José Brant de Campos*  
*Marilza Sampaio Aguilar*  
*Vitor Santos Ramos*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905046**

**CAPÍTULO 7 ..... 53**

PARAMETRIZAÇÃO DE TEXTURIZAÇÃO VIA MECT EM METAL PATENTE

*Túlio Alves Rodrigues*  
*Erika Michele Damas*  
*Gabriela Caixeta Alcarria*  
*Náthaly Nascimento Sousa*  
*Washington Martins da Silva Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905047**

**CAPÍTULO 8 ..... 59**

CORRELAÇÃO ENTRE DIFERENTES FORMAS DE AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERROS FUNDIDOS E SEU COEFICIENTE DE ATRITO

*Luiz Eduardo Rodrigues Vieira*  
*Guilherme de Oliveira Castanheira*  
*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*  
*Wisley Falco Sales*  
*Álisson Rocha Machado*  
*Wilson Luiz Guessser*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905048**

**CAPÍTULO 9 ..... 69**

MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

*André Pereira da Silva*  
*Juliano de Lemos Navarro*  
*Leonardo Almeida Lopes*  
*Felipe Antônio Viana de Araújo*  
*Gabriel Aires Honorato*  
*Sérgio Mateus Brandão*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905049**

**CAPÍTULO 10 ..... 85**

ANÁLISE DO FENÔMENO DAS BOLHAS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

*Camilla Mara Mendonça*  
*Alexandre Queiroz Bracarense*  
*Douglas de Oliveira Santana*  
*Marcelo Teodoro Assunção*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050410**



<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>99</b>
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>114</b>
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA USINAGEM COM AÇO INOXIDÁVEL	
<i>Gabriella Arruda Martins</i>	
<i>Lays Edinir da Cunha</i>	
<i>Luís Gustavo Moreira</i>	
<i>Mikael Henrique Morais</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>123</b>
AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE $R_v$ DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Rosenda Valdés Arencibia</i>	
<i>Luciano José Arantes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>131</b>
INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205	
<i>Aline Gonçalves dos Santos</i>	
<i>Daniel Fernandes da Cunha</i>	
<i>Mayara Fernanda Pereira</i>	
<i>Bruno Souza Abrão</i>	
<i>Mark James Jackson</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>139</b>
GERAÇÃO E PARTIÇÃO DE CALOR EM USINAGEM POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO: UMA REVISÃO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>153</b>
GERAÇÃO DE CALOR NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Guilherme Henrique Alves Andrade</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	

**DOI 10.22533/at.ed.48719050416**

**CAPÍTULO 17 ..... 168**

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL POR MEIO DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA- PEÇA

*Ivanilson Sousa da Costa*

*Márcio Bacci da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050417**

**CAPÍTULO 18 ..... 177**

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Kenji Fabiano Ávila Okada*

*Gabriel Marçal de Carvalho*

*Eder Silva Costa*

*Álisson Rocha Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050418**

**CAPÍTULO 19 ..... 187**

INFLUÊNCIA DE VÁRIOS PARÂMETROS OPERACIONAIS EM RETIFICAÇÃO NO ACABAMENTO E NA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

*Bruno Souza Abrão*

*Mayara Fernanda Pereira*

*Mariana Landim Silveira Lima*

*Eduardo Carlos Bianchi*

*Rosemar Batista da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050419**

**CAPÍTULO 20 ..... 193**

INFLUÊNCIA DA PENETRAÇÃO DE TRABALHO E VELOCIDADE DA PEÇA NO ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

*Lurian Souza Vieira da Silva*

*Rosemar Batista da Silva*

*Mariana Landim Silveira Lima*

*Deborah de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050420**

**CAPÍTULO 21 ..... 202**

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

*Leandro Carvalho Pereira*

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Rosenda Valdés Arencibia*

*Luciano José Arantes*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050421**



<b>CAPÍTULO 22 .....</b>	<b>210</b>
USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Henara Lilian Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050422</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>219</b>

## AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE $R_v$ DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL

### Leandro Carvalho Pereira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia - Minas Gerais

### Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia - Minas Gerais

### Rosenda Valdés Arencibia

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia - Minas Gerais

### Luciano José Arantes

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia - Minas Gerais

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é avaliar por meio de um planejamento fatorial completo o efeito das condições de usinagem (rotação, velocidade de avanço e números de golpes da ferramenta) empregados durante o processo de brunimento flexível na rugosidade  $R_v$  do cilindro de blocos de compressores herméticos. O brunimento convencional foi realizado pela EMBRACO, enquanto que o brunimento flexível foi realizado na Universidade Federal de Uberlândia utilizando um centro de usinagem CNC e um brunidor flexível que é composto por uma haste metálica e cerdas

de nylon com lóbulos abrasivos nas pontas. A avaliação da rugosidade  $R_v$  foi efetuada por meio de um rugosímetro eletromecânico. Para o mensurando foi estimada a incerteza de medição, aplicando o método proposto no GUM. Os resultados indicaram que o processo de brunimento flexível não altera a profundidade dos vales, independente dos parâmetros de corte utilizados.

**PALAVRAS CHAVE:** brunimento convencional e flexível, compressor hermético, rugosidade, incerteza de medição.

**ABSTRACT:** The objective of this work is to evaluate, using a complete factorial design, the effect of machining conditions (rotation, feed rate and tool strokes numbers) used during the flexible honing process in the roughness  $R_v$  of the hermetic compressors blocks cylinder. The conventional honing was done by EMBRACO, while the flexible honing was conducted at the Federal University of Uberlândia using a CNC machining center and a flexible honing which consist of a metal rod and nylon bristles with abrasive lobes at the tips. The  $R_v$  roughness evaluation was performed by means of an electromechanical rugosimeter. For the measurand, the measurement uncertainty was estimated, applying the method proposed in the GUM. The results indicate that the flexible honing process does not alter the depth of the

valleys, regardless of the cutting parameters used.

**KEYWORDS:** conventional and flexible honing, hermetic compressors, roughness, measurement uncertainty.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em busca do desenvolvimento de seus produtos a indústria de refrigeração, particularmente o setor destinado à produção de compressores, procura constantemente investir para melhorar seus componentes. Desta forma, o cilindro do bloco do compressor recíproco alternativo hermético, tem recebido uma atenção especial por parte dos fabricantes e pesquisadores, pois requerem elevada exatidão dimensional e geométrica, afim de evitar dificuldades na montagem, o aparecimento de esforços que levam ao desgaste do componente, possíveis vazamentos e a perda de eficiência do compressor. Então, a Embraco S/A (Whirlpool - Unidade Compressores) percebeu a necessidade de melhorar, principalmente, a rugosidade do cilindro de seus compressores herméticos visando otimizar o desempenho deste, propondo a utilização do processo de brunimento flexível utilizando-se a ferramenta *Flex-Hone*.

Segundo Miller (1993), o brunimento flexível é um método utilizado após o brunimento convencional que atua por intermédio de partículas abrasivas de maneira a não alterar as características geométricas, tais como, cilindricidade, concentricidade, coaxialidade e dimensões da peça. De acordo com Barton e Haasis (1993), este método de brunimento está sendo cada vez mais utilizado como operação adicional, com o objetivo de arredondar os picos da superfície. A ferramenta remove picos e imperfeições das paredes de cilindros, criando o acabamento desejável, Fig. (1). O resultado é a redução do atrito, do aquecimento localizado e a melhoria geral no desempenho.

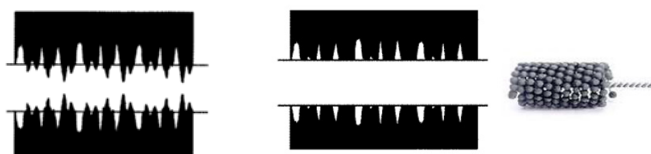


Figura 1: (a) Representação esquemática do perfil de uma superfície cilíndrica antes do processo de brunimento flexível e (b) após este processo com brunidor flexível (Vertec, 2016).

Neste contexto, surgiu a proposta do presente trabalho, que tem como objetivo principal avaliar a rugosidade  $R_v$  do cilindro de blocos de compressores herméticos submetidos ao processo de brunimento flexível utilizando-se um centro de usinagem CNC e a ferramenta *Flex-Hone* considerando diferentes valores dos parâmetros de corte (rotação, velocidade de avanço e números de golpes da ferramenta). Se apresenta, ainda, a avaliação da incerteza de medição através da aplicação da metodologia proposta no BIPM et al. (2008) e uma análise de variância ANOVA para o experimento fatorial completo, para testar a significância dos efeitos principais e de

interação entre os mesmos utilizando o *software* Statistica.

## 2 | METODOLOGIA

Foi utilizada uma amostra de 36 cilindros, inicialmente usinados pelo processo de brunimento convencional e em seguida usinados pelo processo de brunimento flexível. A avaliação da rugosidade foi efetuada após cada operação, utilizando um rugosímetro eletromecânico portátil Surtronic 3+, do fabricante Taylor Hobson, modelo 112/1590, com resolução de 0,01  $\mu\text{m}$ , apalpador com ponta de diamante de raio de 2  $\mu\text{m}$  e certificado de calibração nº 0001/2016. O comprimento de amostragem adotado foi de 0,8 mm, conforme recomenda a ABNT 4288 (2008) e utilizado filtro Gaussiano para retirada das ondulações do perfil. O rugosímetro e a peça foram posicionados e fixados sobre a mesa de medição da máquina de medir por coordenadas, Fig. (2), e a coleta dos dados foi realizada através do *software* Talyprofile Gold 4.0, fornecido pelo fabricante do respectivo rugosímetro.



Figura 2: Rugosímetro portátil Surtronic 3+ da Taylor Hobson posicionado na mesa de desempenho da máquina de medir por coordenadas.

Todas as medições foram conduzidas à temperatura ambiente controlada de  $(20,0 \pm 1,0)$  °C. Um termo-higrômetro digital com resolução de 0,1 °C e faixa nominal de  $(-20,0$  a  $60,0)$  °C foi utilizado para a medição da temperatura. Este equipamento possui certificado de calibração N. R4996/13, emitido pelo Laboratório de Temperatura e Umidade da Elus Instrumentação. Para a temperatura, a incerteza expandida é de 0,3 °C para  $k$  igual a 2,00 e infinitos graus de liberdade.

Foi efetuado um ciclo de cinco medições e avaliada a incerteza de medição associada ao parâmetro  $R_v$  utilizando o método proposto no BIPM et al. (2008). O modelo matemático para o cálculo da incerteza da rugosidade  $R_v$  é mostrado na Eq. (1).

$$R_{Rug} = L_{Rug} + \Delta R_{Rug} + \Delta IC_{Rug} + \Delta A_R + \Delta D \quad (1)$$

Onde:  $R_{Rug}$  (parâmetro de rugosidade medido),  $L_{Rug}$  (média dos valores indicados pelo rugosímetro),  $\Delta R_{Rug}$  (correção associada à resolução do rugosímetro),  $\Delta IC_{Rug}$  (correção associada à incerteza da calibração do rugosímetro),  $\Delta A_R$  (correção associada ao raio da ponta do apalpador) e  $\Delta D$  (correção associada à deformação do material durante a medição).

A usinagem foi efetuada segundo o planejamento fatorial completo 2x2x3 (12 experimentos), no qual as variáveis independentes foram: rotação, velocidade de avanço e número de golpes da ferramenta, Tab. (1).

Experimento	Fator 1 Rotação (rpm)	Fator 2 Velocidade de avanço (mm/min)	Fator 3 Número de golpes
1	-1 (400)	-1 (1400)	-1 (1)
2	+1 (700)	-1 (1400)	-1 (1)
3	-1 (400)	+1 (2800)	-1 (1)
4	+1 (700)	+1 (2800)	-1 (1)
5	-1 (400)	-1 (1400)	0 (2)
6	+1 (700)	-1 (1400)	0 (2)
7	-1 (400)	+1 (2800)	0 (2)
8	+1 (700)	+1 (2800)	0 (2)
9	-1 (400)	-1 (1400)	+1 (3)
10	+1 (700)	-1 (1400)	+1 (3)
11	-1 (400)	+1 (2800)	+1 (3)
12	+1 (700)	+1 (2800)	+1 (3)

Tabela 1: Matriz de planejamento para o experimento fatorial completo 2x2x3.

### 3 | RESULTADOS

A Figura (3) mostra os valores médios de  $R_v$  dos cilindros usinados pelo brunimento convencional e flexível nas 12 condições de corte investigadas, com barra de erros associada à incerteza expandida (95%).

A Figura (3) mostra que os valores médios de  $R_v$  se encontram no intervalo de  $0,66 \mu\text{m}$  até  $1,34 \mu\text{m}$  para o brunimento convencional, enquanto que após o brunimento flexível assumem valores entre  $0,71 \mu\text{m}$  e  $1,30 \mu\text{m}$ . Não foi observada nenhuma tendência definida após o brunimento flexível, pois este processo não altera o valor das ordenadas dos vales do perfil. As diferenças observadas são pouco significativas e podem ser atribuídas ao fato de que a medição é efetuada em locais diferentes e, também porque a linha média do perfil de rugosidade é levemente deslocada no sentido vertical. Os experimentos 1 e 6 foram os que proporcionaram a menor e a maior diferença percentual na rugosidade  $R_v$  entre os processos de brunimento convencional e flexível, sendo em média de 1,7% e 16,8%, respectivamente.

A incerteza expandida associada à medição do parâmetro  $R_v$ , Fig. (3), apresenta valores entre  $0,05 \mu\text{m}$  e  $0,49 \mu\text{m}$  após o brunimento convencional e entre  $0,05 \mu\text{m}$  e

0,35  $\mu\text{m}$  após o brunimento flexível. Não foi verificada nenhuma tendência definida para a incerteza após o brunimento flexível. Observa-se, ainda, que as faixas de valores associados à  $R_v$  após os dois processos, encontram-se parcialmente superpostos para todos os blocos.

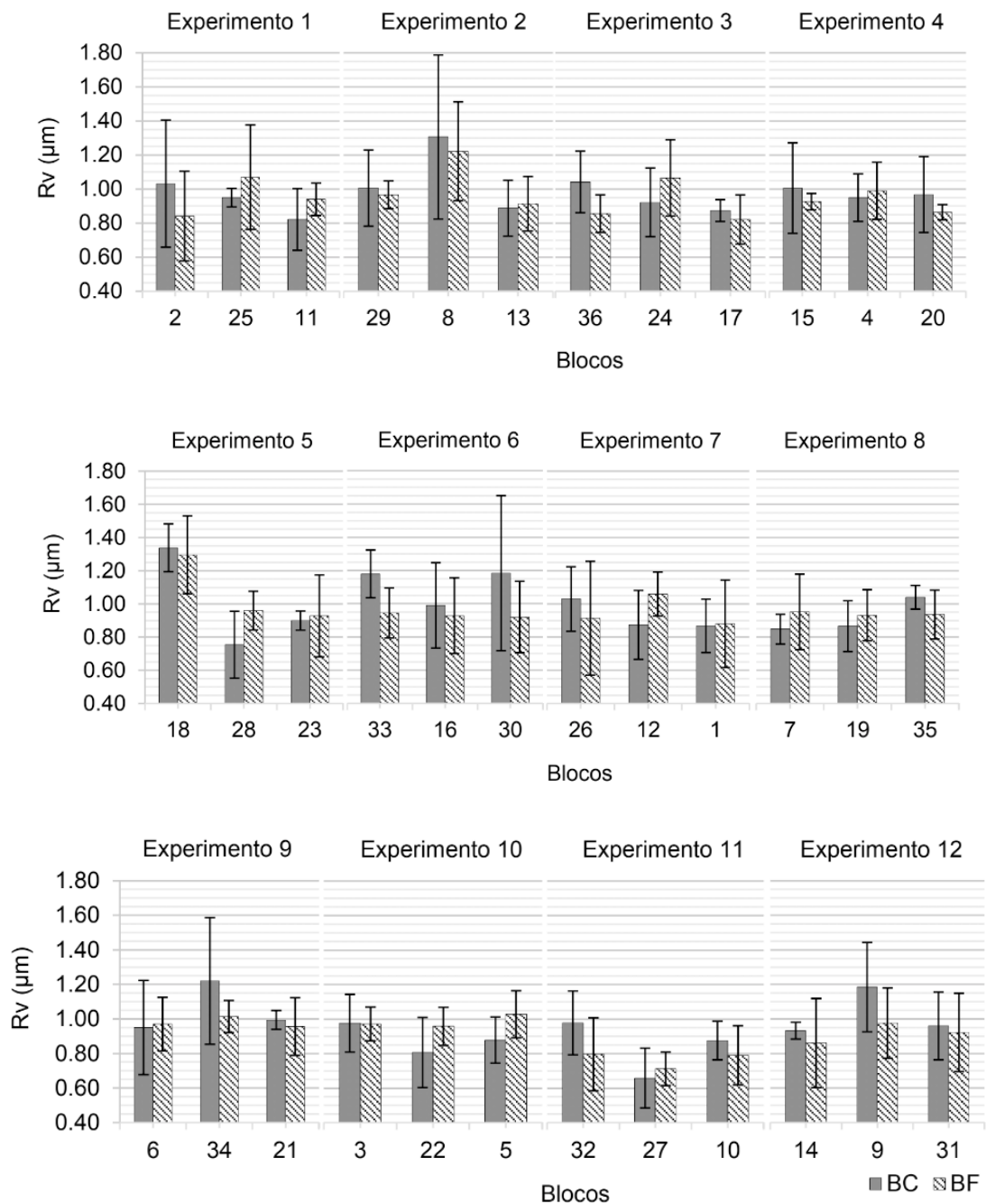


Figura 3: Valores médios do parâmetro  $R_v$  para os cilindros usinados pelo brunimento convencional e flexível nas 12 condições de corte investigadas, com barra de erros associada à incerteza expandida (95%).

Na Tabela (2) são apresentados os dados relativos ao cálculo da incerteza de medição (95%) do parâmetro de rugosidade  $R_v$  para o cilindro do bloco 16 (experimento 6) usinado pelo brunimento flexível. Nota-se que a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi a incerteza associada à variabilidade das leituras e representa 97,8% da incerteza-padrão combinada, seguida da incerteza associada à calibração

do rugosímetro com 1,2%. Para os demais blocos, após ambos os processos de brunimento, os resultados foram similares.

Componentes de incerteza						
Grandeza	Estimativa ( $\mu\text{m}$ )	TA	DP	GL	CS	Incerteza padrão ( $\mu\text{m}$ )
$\bar{x}(L_{Rug})$	1,14	A	<i>t-student</i>	4	1	0,08114
$\Delta R_{Rug}$	0,01	B	Retangular	$\infty$	1	0,00289
$\Delta IC_{Rug}$	0,02	B	Normal	10	1	0,00897
$\Delta A_R$	0,02	B	Triangular	$\infty$	1	0,00758
$\Delta D$	0,005	B	Triangular	$\infty$	1	0,00204
<b>Incerteza padrão combinada (<math>u_c</math>) em <math>\mu\text{m}</math></b>						0,08206
<b>Grau de liberdade efetivo (<math>v_{eff}</math>)</b>						4
<b>Fator de abrangência (<math>k</math>)</b>						2,78
<b>Incerteza expandida (<math>U</math>) em <math>\mu\text{m}</math></b>						0,22784

Tabela 2: Resultados da avaliação da incerteza do  $R_v$  para o cilindro 16 usinado pelo brunimento flexível. Em que: (TA) tipo de avaliação da incerteza; (DP) tipo de distribuição de probabilidades; (GL) grau de liberdade e (CS) coeficiente de sensibilidade.

A incerteza expandida para a rugosidade  $R_v$  do cilindro 16 usinado pelo brunimento flexível é declarada como sendo  $0,23 \mu\text{m}$ , baseada em uma incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência  $k$  igual a 2,78, e para uma distribuição *t-student* e probabilidade de abrangência de 95%.

Na Figura (4) são apresentados os valores médios de  $R_v$  para os 12 experimentos realizados nos cilindros brunidos com o brunidor flexível.

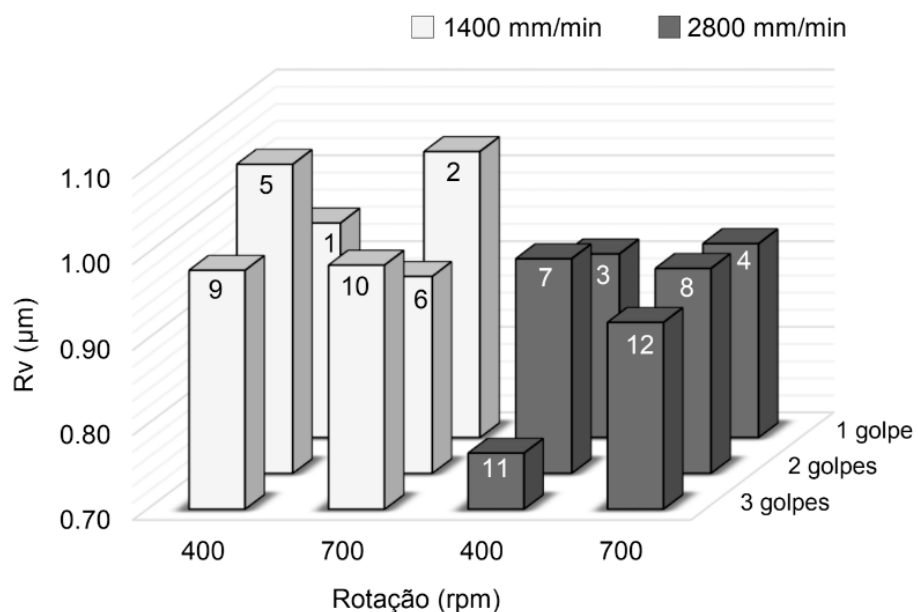


Figura 4: Valores médios do parâmetro  $R_v$  para os 12 experimentos realizados nos cilindros brunidos com o brunidor flexível.

De acordo com a Fig. (4), os cilindros do experimento 11 apresentaram os



menores valores de  $R_v$  e os cilindros do experimento 2 os maiores valores. Entretanto, os cilindros destes dois experimentos apresentaram pequenas diferenças percentuais na rugosidade  $R_v$  entre os processos de brunimento convencional e flexível, o que conclui que o brunidor flexível praticamente não altera a profundidade dos vales do perfil de rugosidade.

O quadro da ANOVA para a variável resposta  $R_v$  é apresentado na Tab. (3). Para que os parâmetros de usinagem produzam efeitos significativos na rugosidade  $R_v$ , estes devem apresentar um valor de probabilidade de significância ( $p$ ) menor que 0,05 (nível de significância de 5%). Na tabela tem-se que: NG é número de golpes da ferramenta, VA é a velocidade de avanço, ROT é a rotação, NG x VA é a interação entre o número de golpes e a velocidade de avanço, NG x ROT é a interação entre o número de golpes e a rotação, VA x ROT é a interação entre a velocidade de avanço e a rotação e F é a distribuição F de Fisher-Snedecor ou teste F.

	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F	p	Efeito
<b>NG</b>	0,011441	1	0,011441	1,051185	0,314011	-0,043667
<b>VA</b>	0,068819	1	0,068819	6,323166	<b>0,017939</b>	-0,087444
<b>ROT</b>	0,003173	1	0,003173	0,291581	0,593479	0,018778
<b>NG x VA</b>	0,007073	1	0,007073	0,649847	0,426961	-0,034333
<b>NG x ROT</b>	0,001536	1	0,001536	0,141130	0,709992	0,016000
<b>VA x ROT</b>	0,009539	1	0,009539	0,876436	0,357185	0,032556
<b>Erro</b>	0,304741	28	0,010884			

Tabela 3: ANOVA do parâmetro  $R_v$  de rugosidade.

A variação dos parâmetros de usinagem utilizados no brunimento flexível não proporcionou nenhum efeito significativo na rugosidade  $R_v$ , com exceção da velocidade de avanço (VA), conforme verificado na Tab. (3). O aumento da velocidade de avanço da ferramenta proporcionou uma redução na rugosidade  $R_v$ . Isto é justificado pelo motivo do parâmetro  $R_v$  ser fortemente influenciado pela presença de vales isolados, obtendo maiores dispersões dos valores médios mesmo após o brunimento flexível.

A manutenção dos vales do perfil de rugosidade é essencial para os cilindros dos blocos de compressores herméticos, uma vez que estes servem de canais para a passagem do fluido que lubrifica o par cilindro-pistão.

## 4 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a variação dos parâmetros de usinagem (rotação, velocidade de avanço e número de golpes da ferramenta) no brunimento flexível dos cilindros dos blocos dos compressores não proporcionou efeitos significativos no parâmetro de rugosidade  $R_v$ . Isto indica que o brunidor flexível não altera a profundidade dos vales, independente dos parâmetros de corte utilizados. O aumento dos valores de  $R_v$  indica

uma melhoria das propriedades da superfície para retenção de lubrificantes, enquanto a redução, o inverso. No entanto o brunidor flexível não altera a profundidade dos vales e mantém a retenção do fluido lubrificante. Os parâmetros  $R_{sk}$ ,  $R_{ku}$ ,  $R_k$ ,  $R_{pk}$  e  $R_{vk}$ , além da curva de *Abbott-Firestone*, são os indicativos de maior significância para a caracterização das superfícies brunidas pelo processo convencional e flexível.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, às instituições CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro e à EMBRACO S/A (Whirlpool - Unidade Compressores) pelo fornecimento do material, mas principalmente pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 4288. **Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade.** Rio de Janeiro, 2008. 10 f.

BARTON, K. e HAASIS, G. Characteristics of Honing in: Understanding the Basics of Honing. **Technical publication of SME - Society of Manufacturing Engineers**, 37 f. 1993.

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, JCGM 100. **Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement - Propagation of distributions using a Monte Carlo method.** 2008. 90 f.

MILLER M. Flexible Honing: A Study of Cylinder Wall Micro-structure. **Technical publication of SME - Society of Manufacturing Engineers**, 9 f. 1993.

Vertec, **Manual Flex-Hone**, Disponível em: <[www.vertec.com.br/Produtos/flex\\_hone.pdf](http://www.vertec.com.br/Produtos/flex_hone.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2015.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**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.

**Ricardo Vinicius Bubna Biscaia** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-248-7

