



**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*  
*Álison 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>

## USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO

### **Leonardo Rosa Ribeiro da Silva**

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

### **Leandro Carvalho Pereira**

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

### **Henara Lilian Costa**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Pontifícia  
Universidade Católica do Paraná  
Curitiba – Paraná

**RESUMO:** O presente trabalho visa investigar a possibilidade de se texturizar superficialmente amostras de ferro fundido cinzento através do Método de Texturização Eletroquímica Sem Mascaramento (MECT). O método foi implementado em amostras de ferro fundido cinzento de matriz perlítica, sendo entre cada teste variada a tensão verificando assim seu efeito nos padrões inseridos resultantes. Os resultados se mostraram satisfatórios para este material, contudo é necessário a investigação mais parâmetros que permeiam o processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** engenharia de superfície, texturização superficial, MECT

**ABSTRACT:** This paper aims to investigate the possibility of surface texturing samples of gray

cast iron by Maskless Electrochemical Texturing Method (MECT). The method was implemented in cast iron samples of pearlitic matrix, being between each test varied the voltage so can be verified its effect on the resulting patterns inserted. The results were satisfactory for this material, however it is necessary to investigate other parameters that permeate the process.

**KEYWORDS:** surface engineering, surface texturing, MECT

### 1 | INTRODUÇÃO

A superfície de um material é o local onde ocorre a maioria das interações físico-químicas. O controle da topografia superficial de componentes mecânicos, em particular a imposição de padrões regulares de protuberâncias e/ou depressões, têm sido objetivo de estudos em diversos campos da ciência, com avanços principalmente nos campos da óptica, termodinâmica, biologia e tribologia, originando as então chamadas superfícies funcionais (Bruzzone et al., 2008). O ferro fundido cinzento é utilizado em diversos componentes sujeitos ao desgaste por deslizamento, como por exemplo cilindros automotivos, graças as suas propriedades auto-lubrificantes oriundas dos veios de grafita

presentes em sua micro-estrutura. Este trabalho tem como objetivo investigar a utilização da técnica de texturização superficial sem mascaramento (MECT) em amostras de ferro fundido cinzento, com o objetivo posterior de estudar a sinergia entre os efeitos benéficos na lubrificação oriundos tanto da grafita presente na matriz como da aplicação de micro-padrões superficiais.

Os métodos de texturização superficial são divididos de acordo com a natureza física de sua modificação superficial, segundo Costa e Hutchings (2015) em:

- Adição: os padrões superficiais são criados a partir da adição de material a uma determinada superfície.
- Remoção: os padrões superficiais são criados a partir da remoção de material da superfície a ser modificada.
- Movimentação: a modificação superficial ocorre através da deformação plástica e redistribuição do material da superfície.
- Auto-formação: Regiões com diferentes resistências ao desgaste originam os padrões superficiais.

No que tange a melhoria da lubrificação em sistemas mecânicos os métodos de remoção são os mais utilizados visto seus padrões superficiais servirem tanto como reservatórios de lubrificante como depósito de partículas endógenas ou exógenas que por ventura existam na região de contato (Tomanik, 2013). Dentre os métodos de remoção o mais utilizado em industrialmente é o método de ablação a Laser (Etsion, 2005), contudo este método apresenta alguns problemas representados na Fig. (1), como uma considerável zona afetada pelo calor (ZAC) dada as altas temperaturas necessárias para ablar o material, bem como a presença de protuberâncias oriundas de uma zona refundida, que por se resfriarem rapidamente tendem a ter uma dureza mais elevada que a matriz do material, podendo agir como partículas de desgaste caso a superfície não seja polida. O uso de laser com pulsos menores, na ordem dos femto-segundos é uma solução para diminuir a ZAC e a zona refundida, contudo os equipamentos a laser com capacidade de pulsos tão diminutos tem custo mais elevado.

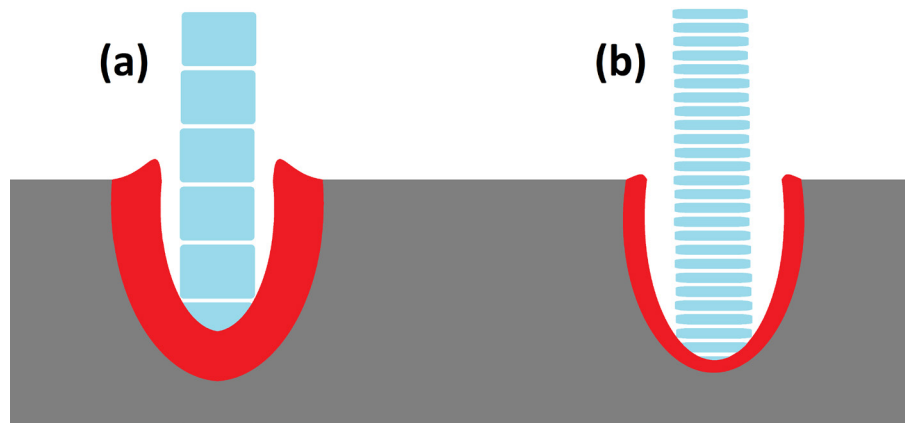


Figura 1. Ablação a laser. (a) Pulsos maiores resultam em maior ZAC bem como zona refundida protuberante. (b) Pulsos menores permitem uma menor ZAC e diminuição das zonas refundidas.

Como alternativa ao método de texturização superficial a laser Costa e Hutchings (2009) propuzeram o MECT, que por ser um método eletroquímico não produz ZAC nem zona refundida como o método a laser. Outra vantagem deste método é de não ser necessário a proteção seletiva nas regiões onde se deseja manter a topografia original das peças a serem texturizadas (mascaramento) visto que esta proteção é feita na ferramenta de trabalho. Como na maior parte dos processos de dissolução eletroquímica a equação que rege o fenômeno é a lei de Faraday, representada pela Eq. (1), que dita a quantidade de material que será dissolvida desde que 3 condições sejam atendidas: a valência dos íons produzidos deve ser conhecida, a dissolução iônica deve ser a única reação no ânodo e o metal deve ser removido apenas por dissolução e não por desintegração da ferramenta. Com base nesta equação fica claro que os parâmetros chave do processo são o tempo e a corrente impostos nos testes, contudo como a resistência elétrica do sistema é constante durante o teste, a tensão é variada no lugar da corrente, visto ser mais fácil encontrar fontes que variem a mesma. O aparato básico para se texturizar superficialmente amostras planas pelo MECT é apresentado na Fig. (2).

$$m = \left(\frac{It}{f}\right) \left(\frac{tM}{z}\right) \quad (1)$$

Onde:

$m$  = massa da substância liberada em um eletrodo em gramas.

$I$  = corrente elétrica constante inserida no sistema.  $t$  = tempo total em que a corrente é aplicada.

$f$  =  $96.485.\text{mol}^{-1}$ , constante de Faraday.

$M$  = Massa molar da substância.

$z$  = Número de valência dos íons da substância.

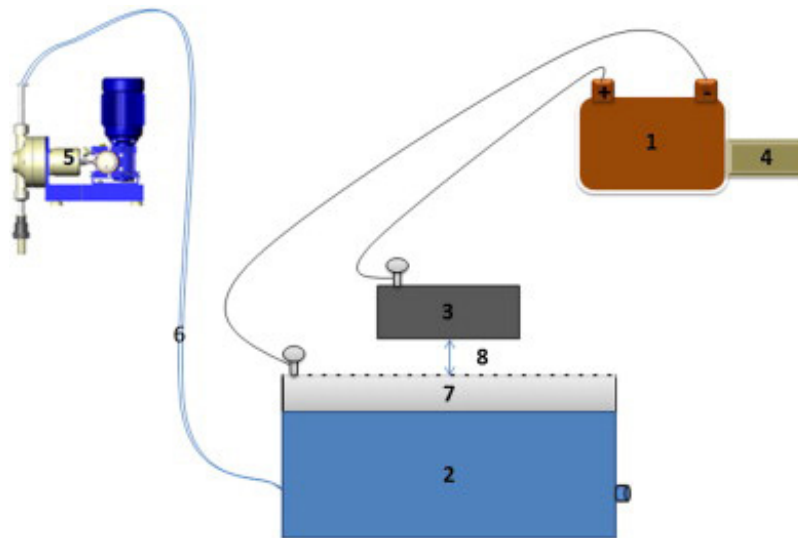
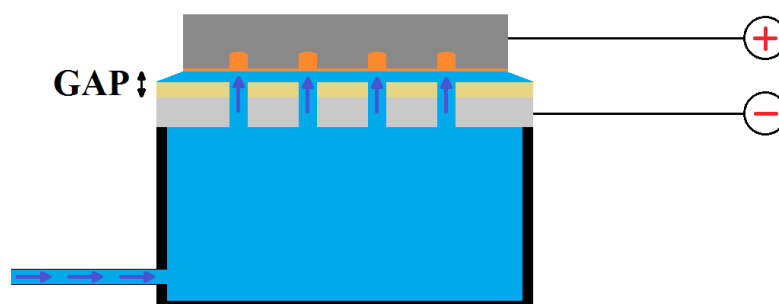


Figura 2. Aparato experimental utilizado na MECT (Parreira et al., 2012).

Uma fonte de voltagem contínua [1] fornece a corrente necessária para a dissolução eletroquímica, sendo o polo negativo conectado à ferramenta [7] e o positivo à peça a ser texturizada [3]. O eletrólito [2] é bombeado por uma tubulação 6 através de uma bomba peristáltica, entrando em contato com a peça [3] por meio de furos na ferramenta [7], escoando posteriormente pela distância entre a ferramenta e a peça (DFP) [8]. Um circuito eletrônico [4] é utilizado para pulsar a corrente, visando assim durante os pulsos não eletrizados limpar os produtos oriundos da dissolução anódica bem como arrefecer a superfície. Foram obtidos bons resultados para pulsos eletrizados de 3.2 ms intercalados por pulsos de limpeza e arrefecimento por 18.2 ms (Parreira et al., 2012), bem como com o uso de  $\text{NaNO}_3$  (Costa e Hutchings, 2009) e  $\text{NaCl}$  (Parreira et al., 2012) como eletrólitos.

A Fig. (3) detalha o processo de usinagem eletroquímica envolvido neste método. Apesar de toda região em contato com o eletrólito ser atacada eletroquimicamente, a região diretamente atingida pelo fluxo de eletrólito sofre menor queda de potencial ôhmico do que as demais regiões, sofrendo assim maior dissolução.



- |   |   |
|---|---|
| <span style="color: blue;">■</span> Eletrólito          | <span style="color: olive;">■</span> Isolante         |
| <span style="color: blue;">■</span> Fluxo de eletrólito | <span style="color: orange;">■</span> Camada removida |
| <span style="color: gray;">■</span> Ferramenta          | <span style="color: gray;">■</span> Peça              |

## 2 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização dos testes foram utilizadas amostras de ferro fundido cinzento de matriz perlítica como mostrado na Fig. (4), os padrões a serem inseridos fora padrões em “V” os quais segundo Costa e Hutchings (2007) apresentam o melhor desempenho quanto a redução no atrito. O eletrólito utilizado foi o NaCl. Foram variadas tensões de 10, 20, 30, 40 e 50 V, sendo fixado um tempo de 30 segundos e uma DFP de 0,1 mm para todos os testes, verificando assim a influência da tensão nos padrões superficiais inseridos. Após texturizadas as amostras foram mapeadas por interferometria a laser para avaliação topográfica.

Dentre os resultados obtidos, os critérios para escolha da tensão mais efetiva para o processo foram: a rugosidade quadrática média ( $S_q$ ) em regiões externas adjacentes aos padrões em “V” e a relação entre profundidade e largura ( $R_{pl}$ ). Segundo Costa e Hutchings (2007) a relação entre a profundidade e a largura deve ser de aproximadamente 0,1 para ser atingida a melhor eficiência na redução de atrito.



Figura 4. Microestrutura dos corpos de prova.

Os resultados das interferometrias para as tensões de 10 e 20 V, 30 e 40V e 50 V são ilustrados respectivamente nas Figs. 5, 6, 7, 8 e 9.

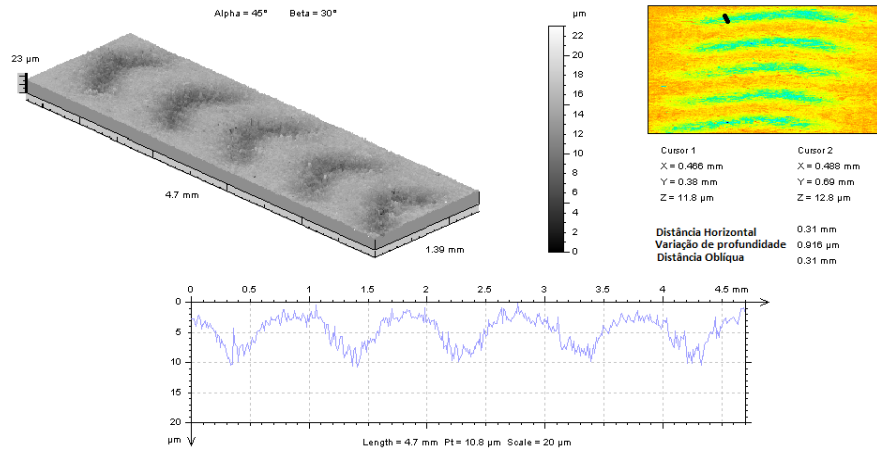


Figura 5. Resultados para: 10 V 30 s.

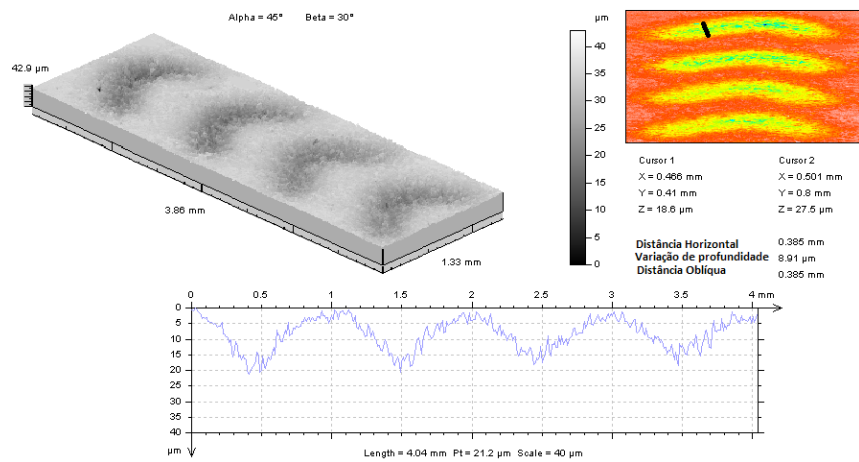


Figura 6. Resultados para 20 V e 30 s.

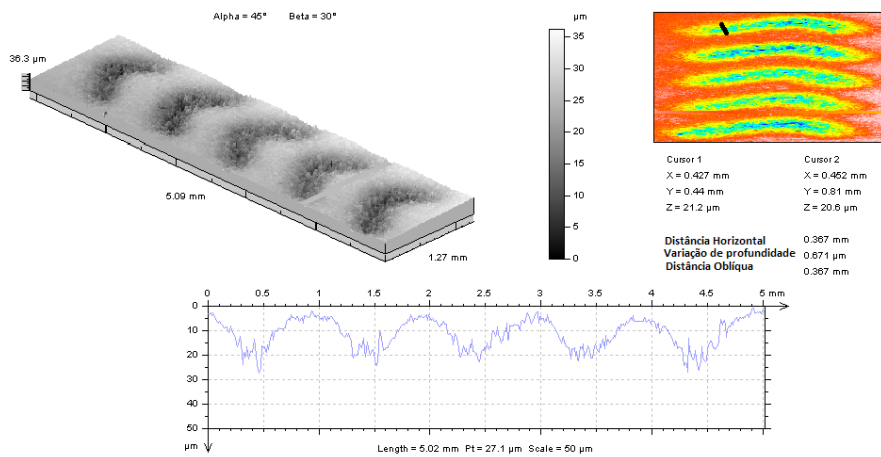


Figura 7. Resultados para 30 V e 30 s.



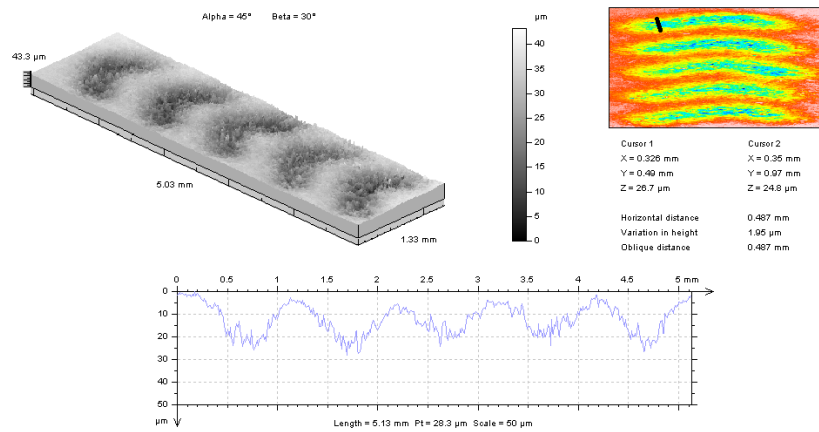


Figura 8. Resultados para 40 V e 30 s.

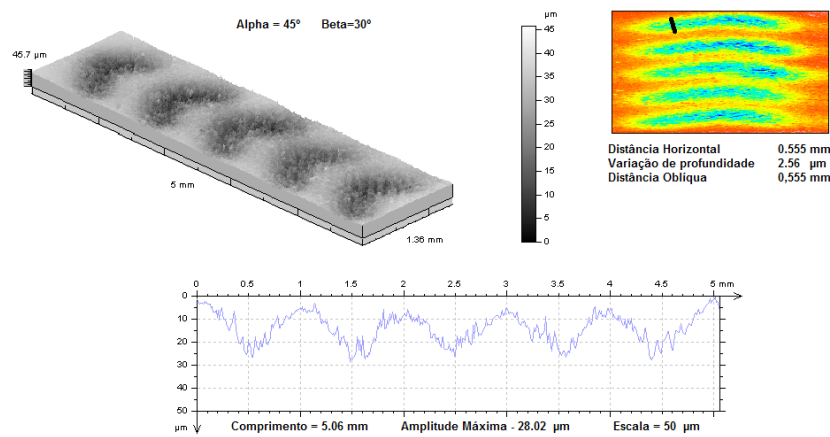


Figura 9. Resultados para 50 V e 30 s.

Os valores para os parâmetros de rugosidade média quadrática ( $Sq$ ) e relação entre profundidade e largura dos padrões em “V” ( $Rpl$ ) são exibidos na Tab. 1.

Tensão (V)	$Sq$ ( $\mu\text{m}$ )	$Rpl$
10	0.591	0,032
20	0.912	0,042
30	0.947	0,052
40	1.44	0,041
50	1.53	0,036

Tabela 1. Valores para a rugosidade e relação entre profundidade e largura ( $Rpl$ ) em relação a tensão.

Para uma tensão de 10 V observa-se o menor valor de  $Sq$ , espessura e profundidade entre os padrões em “V”. A pouca profundidade obtida (em torno de 10  $\mu\text{m}$ ) em relação a espessura fez com que este padrão obtivesse o pior resultado em relação a  $Rpl$ .

Com o aumento da tensão para 20 V houve um aumento na rugosidade e na largura, contudo o ganho em profundidade fez com que o valor de Rpl subisse para 0,042.

Para 30 V o aumento no Sq em relação a 20 V foi pequena se comparada com as demais variações entre tensões, tendo o Rpl subido para 0,052, o melhor valor entre os analisados.

Nas tensões de 40 e 50 V não se observou aumento significativo profundidade média que ficou em torno de 20  $\mu\text{m}$ , a exceção de alguns vales mais profundos. A largura dos padrões inseridos aumentou consideravelmente em relação aos anteriores, o que levou a valores de Rpl de 0,041 e 0,036 respectivamente.

### 3 | CONCLUSÃO

Para a tensão de 10 V se obteve o melhor resultado referente a rugosidade e espessura dos padrões em “V”. O aumento na tensão resulta em um aumento na rugosidade e espessura dos padrões em “V”, sendo o aumento na rugosidade menos significativo quando se aumenta de 20 V para 30 V que para as demais variações de tensão.

A profundidade dos padrões inseridos aumenta com a tensão até atingir a estabilidade em um valor por volta de 20  $\mu\text{m}$  na tensão de 30 V, sendo negligenciável o aumento da profundidade a exceção de alguns vales quando se aumenta a tensão para 40 e 50 V. Observa-se também um aumento expressivo na espessura dos padrões inseridos para tensões de 40 e 50 V. Este fato indica que para profundidades superiores a 20  $\mu\text{m}$ , a queda de potencial elétrico faz com que a dissolução anódica seja menos eficiente, sendo então mais favorável a dissolução nas bordas dos padrões inseridos, aumentando por consequência a largura dos mesmos ao invés da profundidade.

### 4 | AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, CNPQ e FAPEMIG pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

COSTA, H.; HUTCHINGS, I. M. **Some innovative surface texturing techniques for tribological purposes**, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, v. 229, n. 4, p. 429-448, April 1, 2015 2015.

COSTA, H.; HUTCHINGS, I. M. **Hydrodynamic lubrication of textured steel surfaces under reciprocating sliding conditions**, Tribology International, v. 40, n. 8, p. 1227-1238, 8// 2007. ISSN 0301-679X.

COSTA, H.; HUTCHINGS, I. M. **Development of a maskless electrochemical texturing method**, Journal of Materials Processing Technology, v. 209, n. 8, p. 3869-3878, 4/21/2009 2009. ISSN 0924-0136.

ETSION, I. **State of the Art in Laser Surface Texturing**, Journal of Tribology, v. 127, n. 1, p. 248-253, 2005. ISSN 07424787.

PARREIRA, J. G.; GALLO, C. A.; COSTA, H. L. **New advances on maskless electrochemical texturing (MECT) for tribological purposes**, Surface and Coatings Technology, v. 212, n. 0, p. 1-13, 11// 2012. ISSN 0257-8972.

TOMANIK, E. **Modelling the hydrodynamic support of cylinder bore and piston rings with laser textured surfaces**, Tribology International, v. 59, n. 0, p. 90-96, 3// 2013. ISSN 0301-679X.

## **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

