



**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

CAPÍTULO 1	1
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>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905041	
CAPÍTULO 2	12
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>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905042	
CAPÍTULO 3	22
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>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905043	
CAPÍTULO 4	27
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO ₂	
<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>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905044	
CAPÍTULO 5	35
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>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905045	

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

CAPÍTULO 11	99
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050411	
CAPÍTULO 12	114
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 Moraes</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050412	
CAPÍTULO 13	123
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>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050413	
CAPÍTULO 14	131
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>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050414	
CAPÍTULO 15	139
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>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050415	
CAPÍTULO 16	153
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

CAPÍTULO 22 210

USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Leandro Carvalho Pereira

Henara Lilian Costa

DOI 10.22533/at.ed.48719050422

SOBRE O ORGANIZADOR..... 219

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

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

Rosemar Batista da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

Mariana Landim Silveira Lima

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

Deborah de Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

RESUMO: A retificação é um processo de usinagem que remove material por meio da ação de grãos abrasivos de geometria não definida e de pequenas dimensões que são unidos por ligante. Este processo visa conferir à peça elevada precisão dimensional e geométrica e, por isso, se destaca dentre os processos de usinagem de metais. E dentre os metais, os ferro fundidos também são submetidos à retificação, dependendo da aplicação, principalmente, devido à boa combinação entre resistência mecânica e menor custo de produção, quando comparados

aos aços. Dentre as aplicações dos ferros fundidos, destacam-se os componentes para motores de combustão interna, tais como eixos virabrequim e de comando de válvula, como ainda blocos de motores. Contudo, ainda são poucas as informações na literatura específica sobre a usinabilidade destes materiais quanto à operação de retificação. Neste contexto, visando contribuir para a geração de informações sobre a retificação de ferros fundidos, especialmente do ferro fundido vermicular. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de retificação plana com rebolo de carbeto de silício em diferentes condições de corte. Os parâmetros de entrada empregados foram: penetração de trabalho (15 e 30 μm) e velocidade longitudinal da peça (5 e 10m/min). As variáveis de saída foram as rugosidade (parâmetros Ra e Rz) e textura das superfícies retificadas. Esta última foi analisada via microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que o parâmetro Ra foi mais sensível à variação da velocidade da peça que da penetração de trabalho. Além disso, o melhor acabamento foi obtido após a usinagem com a menor velocidade da peça.

PALAVRAS-CHAVE: Retificação, Ferro fundido vermicular, Rebolo de carbeto de silício, Rugosidade.

ABSTRACT: Grinding is a machining process that removes material by the action of abrasive

grits having undefined geometry with small dimensions that are bound together by a binding material. Since grinding is employed to guarantee narrow dimensional and geometric tolerances to the machined components, it deserves a prominent position among the machining processes of metals. Among the metals, the cast irons also are submitted to grinding operation, depending on the application, mainly, due to their good combination of mechanical strength lower cost of production, when compared to the steels. Cast irons are materials with a wide range of applications, for instance in the manufacture combustion engine components such as camshafts and crankshafts, as well as engine blocks. However, there is still little information in the specific literature about the machinability of these materials in terms of grinding process. In this context, this work was carried out to generated experimental data about grinding of cast irons, especially of the Compacted Graphite Iron grade. Peripheral surface grinding tests were performed with a silicon carbide grinding wheel at different cutting conditions. Two input variables were tested: radial depth of cut (15 and 30 μm) and worktable speed (5 and 10m / min). The output variables investigated were the surface roughness (Ra and Rz parameters) and the textures of ground surfaces. The latter were evaluated through scanning electron microscopy. Results show that surface roughness, Ra parameter, was more sensitive to the worktable speed variation than the radial depth of cut. Also, the best finishing was generated after machining with the lowest worktable speed value.

KEYWORDS: Grinding, Compacted graphite iron, Silicon carbide grinding wheel, Roughness

1 | INTRODUÇÃO

Os processos de retificação representam grande importância para indústria metal mecânica, pois conferem às peças usinadas tolerâncias dimensionais e geométricas mais apertadas que aquelas proporcionadas pelos processos convencionais com ferramenta de geometria definida. De acordo com MALKIN; GUO (2008) e MARINESCU et al. (2007) o processo de retificação pode ser definido como um processo de usinagem em que uma ferramenta abrasiva gira em alta rotação, que configura em geral uma velocidade de corte superior a 30 m/s, que promove a remoção de pequenas quantidades de material da peça. A ferramenta abrasiva é chamada de rebolo a qual é composta por grãos cerâmicos com arestas afiadas e orientação irregular, ligante e poros.

Além da garantia de tolerâncias geométricas e dimensionais mais apertadas, é preciso garantir que os parâmetros que regem a integridade superficial e subsuperficial da peça sejam preservados após a usinagem, o que não é uma tarefa fácil. De acordo com MALKIN; GUO (2008), a qualidade superficial de peças usinadas consiste de dois aspectos: integridade superficial, relacionada a alterações mecânica e textura superficial, relacionada a topografia e consequentemente rugosidade.

Desta forma, a preservação da integridade da superfície das peças dependerá

da correta escolha das condições de retificação, tais como: tipo de rebolo, velocidade de corte, penetração de trabalho, velocidade da peça, fluido de corte e técnica de aplicação, dentre outros. Sabe-se que o processo de retificação requer muita energia por unidade de volume removido, e grande parte desta energia é convertida em calor na região de corte, devido ao atrito, elevando a temperatura da peça e do rebolo. E neste contexto, alguns fatores contribuem para a geração de calor na retificação são as características dos abrasivos convencionais, já que são pobres condutores de calor, como também as pequenas sessões de cavacos devido às pequenas penetrações de trabalho empregadas. Com isso, estima-se que 85% do calor total gerado seja transferido para peça. Como decorrência do calor, a temperatura irá se elevar na região de corte e, dependendo do valor, irá provocar vários tipos de danos térmicos nas peças, tais como a queima da superfície, mudança de fase, tensões residuais de tração, trincas na superfície ou sub-superfície, e conseqüentemente podendo levar à inutilização do componente (MANDAL et al., 2014 e MALKIN; GUO, 2008).

Dentre os principais danos, destaca-se a formação de trincas em função da variação térmica durante a retificação. Em geral, a presença delas reduz o limite de resistência à fadiga do material e aumenta a possibilidade da superfície ser atacada por processos corrosivos, como também de ocorrência de falhas dos componentes em serviço (SILVA et al., 2000).

Um material de engenharia que está há pouco tempo no mercado é o ferro fundido vermicular, portanto uma classe de material ainda com poucas informações sobre a sua usinabilidade na literatura específica no que se refere ao processo de retificação. O ferro fundido é definido com uma liga ternária contendo, ferro em sua maior parte, silício e teor de carbono acima de 2,11% (CHIAVERINI, 2002). Os ferros fundidos são classificados de acordo com a composição química e microestrutura, mais especificamente quanto à existência e a forma da grafita, em ferros fundidos cinzentos, brancos, maleáveis, nodulares, mesclados e de grafita compactada. O objeto de estudo deste trabalho é o ferro fundido de grafita compacta (vermicular), caracterizado por apresentar a grafita em forma de “escamas ou vermiculos”, ou seja, em forma de plaquetas ou estrias. Ele é considerado um material intermediário entre os ferros fundido cinzento e o nodular, possui a fundibilidade do ferro fundido cinzento, com melhor resistência mecânica e alguma ductilidade. MOCELLIN et al. (2004) relataram que a grafita neste material se apresenta mais arredondada e mais grosseira, de modo que a sua forma e distribuição conferem ao vermicular um ganho substancial de propriedades mecânicas destacando-se as resistências mecânica e à fadiga, com uma perda pouco significativa de condutividade térmica e de amortecimento. Esta classe de ferro fundido abrange uma grande faixa de aplicações, e as principais são: bloco de motores a diesel, alojamentos de caixas de engrenagens, alojamentos para turboalimentadores, suportes de rolamentos, rodas dentadas para correntes articuladas, engrenagens excêntricas, moldes para lingotes, coletores de descarga de motores e discos de freio de automóveis em geral (MACHADO et al., 2009).

Neste contexto, este trabalho foi realizado em processo de retificação de ferro fundido vermicular com rebolo de carbetto de silício em várias condições de corte. Espera-se que os resultados obtidos possam servir de referência para os usuários a retificação desta classe de ferros fundidos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados a metodologia adotada para desenvolvimento deste trabalho, detalhes dos equipamentos, condições de corte, peças e rebolos. Os ensaios de retificação foram realizados em uma retificadora plana tangencial, fabricante Mello, modelo P36, 2400 rpm, potência igual 3HP e com resolução no eixo vertical (em que há movimento do rebolo - eixo Z) de 5 μm . Como ferramenta de corte foi empregado o rebolo de abrasivo convencional de carbetto de silício (SiC), especificação 39C100KVK, com dimensões de 254 mm x 25 mm x 76 mm, do fabricante Saint-Gobain Abrasivos da América do Sul. As peças utilizadas foram de ferro fundido vermicular FV 450 (229 HB) em forma de barra retangular com 49 mm de comprimento x 18 mm de altura x 19 mm largura.

Os parâmetros de corte adotados foram: duas penetrações de trabalho (15 e 30 μm), duas velocidades da peça, (5 e 10 m/min). A velocidade de corte igual a 32 m/s foi mantida constante em todos os ensaios. O critério de parada adotado nos ensaios foi a retirada de material da peça até atingir uma profundidade total de 60 μm na altura, configurando, portanto, um volume total de material removido igual a 55,9 mm^3 . Para isso, foram realizados quatro passes com a penetração de trabalho (ae) de 15 μm e dois passes para ae de 30 μm .

Todos os ensaios foram realizados com fluido de corte semissintético de base vegetal (Vasco 7000), na proporção de 1:19 (óleo:água), que foi aplicado à vazão de 540 L/h pelo método convencional (abundância), com jato que tangenciava o rebolo.

Os parâmetros de saída foram a rugosidade e textura da superfície da peça. A rugosidade foi avaliada em termos dos parâmetros de amplitude rugosidade média (Ra) e rugosidade total (Rz) que foram medidos em um rugosímetro portátil modelo SJ201P, do fabricante Mitutoyo, com resolução de 0,01 μm , comprimento de avaliação de 4,0 mm e comprimento de onda do filtro (cut-off) foi de 0,8 mm. Este equipamento possui a faixa nominal igual à 360 μm (-200 μm até +160 μm). As medições foram efetuadas a temperatura ambiente controlada de (20 \pm 1) °C, conforme recomendado pela NBR NM ISO- 1 (ABNT, 1997). A fim de obter resultados rastreáveis, o sistema de medição foi previamente calibrado conforme recomendado pela Norma ISO IEC 17025 (ABNT, 2005). Os valores de rugosidade são resultados da média aritmética de quatro medições realizadas em pontos diferentes da peça equidistantes de 10mm e na direção perpendicular à direção de corte.

Para obtenção das imagens das superfícies retificadas utilizou-se o Microscópio

Eletrônico de Varredura (MEV), TM3000, localizado no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU). Antes da análise, todas as amostras foram limpas com acetona em um equipamento conhecido como limpador por vibração ultrassônica, Cole-parmer 8848. Em seguida, elas passaram por secagem apropriada. As superfícies das amostras foram observadas em sua totalidade, na face retificada, para a verificação da ocorrência de trincas e microtrincas, além da comparação entre superfícies. Todas as imagens foram obtidas utilizando uma ampliação de 500 vezes.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados de rugosidade e as imagens obtidas via MEV das superfícies após a retificação do ferro fundido vermicular com rebolo de carbeto de silício em diferentes condições de corte.

3.1 Rugosidade

Os valores de rugosidade para os parâmetros Ra e Rz das amostras de ferro fundido vermicular são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Da Figura 1 pode-se perceber que os valores de Ra mantiveram-se abaixo de $0,40 \mu\text{m}$, valores inferiores ao limite máximo para operações de semi-acabamento de $0,63 \mu\text{m}$ que é geralmente relatado na literatura (KALPAKJIAN; SCHMID, 2009).

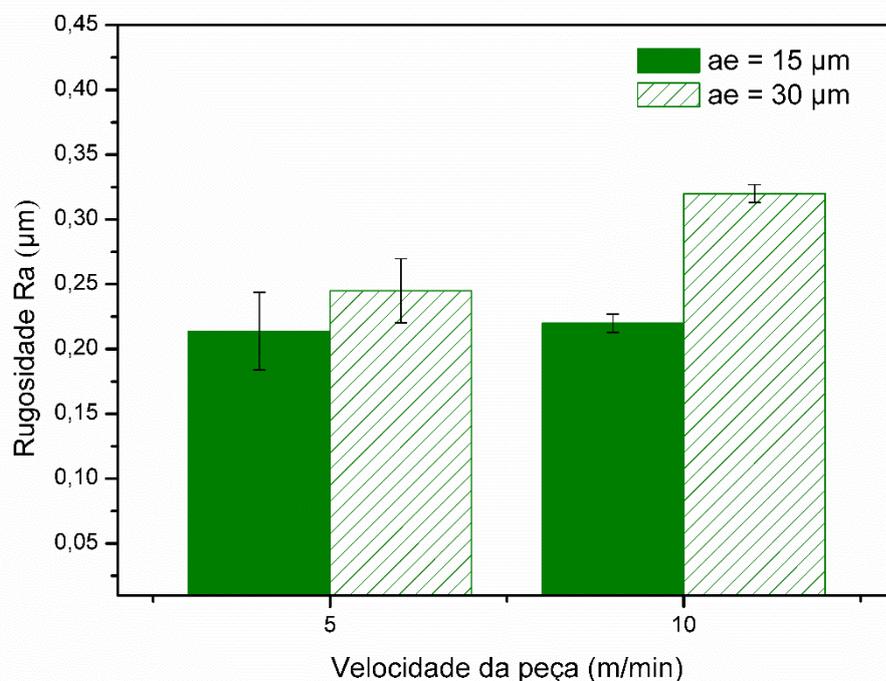


Figura 1: Rugosidade Ra para as amostras de ferro fundido vermicular em função da velocidade da peça.

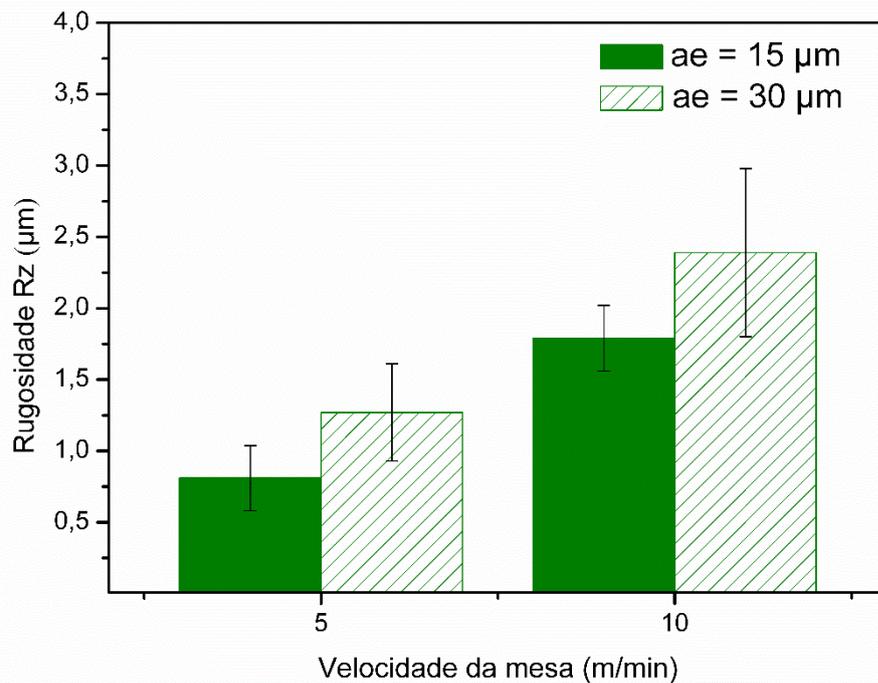


Figura 2: Rugosidade Rz para as amostras de ferro fundido vermicular em função da velocidade da peça.

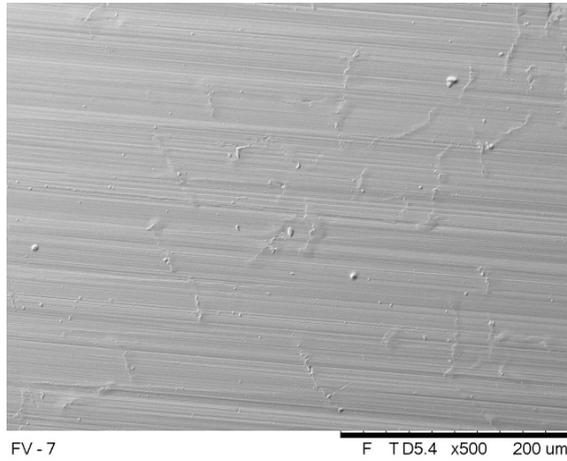
Das Figuras 1 e 2 nota-se que os comportamentos para o parâmetro Ra e Rz em função dos parâmetros de corte testados foram diferentes. De maneira geral, a rugosidade Ra foi mais sensível à velocidade da peça do que à penetração de trabalho, pois não se pode afirmar que houve variação no valor de Ra ao aumentar a penetração de trabalho de 15 μm para 30 μm , pelo elevado valor de desvio padrão. Já para o parâmetro Rz (Figura 2) houve influência tanto da penetração de trabalho quanto da velocidade da peça. Conforme aumenta-se a penetração de trabalho, o parâmetro Rz é também aumentado (MARINESCU et al, 2007). BIANCHI et al. (1997) apresentaram a seguinte explicação para esta relação: ao empregar uma menor penetração do rebolo na peça, um pequeno número de grãos atuam para remover material em um menor tempo de contato. À medida que se aumenta a penetração de trabalho, aumenta-se também o número de grãos em contato com a peça, o comprimento de contato entre rebolo e peça e a área de contato. Com isso, haverá acréscimo nos esforços de corte da ferramenta sobre a peça, deformação plástica do material de peça, geração de calor e elevação da temperatura de corte, o que contribuiu para a deterioração da superfície sendo usinada. Além disso, ao empregar maiores valores de penetração de trabalho, tem-se um aumento nas dimensões dos cavacos, que com a progressão da usinagem, podem se agrupar e levar ao empastamento do rebolo. Assim, o cavaco que se aloja no rebolo influencia negativamente na sua eficiência durante a retificação, aumentando os esforços na região de contato entra

a ferramenta e a peça e, conseqüentemente, comprometendo a superfície retificada. Comportamento semelhante também foi observado por DAMASCENO (2010) em seu trabalho de retificação do aço ABNT 4340 em diferentes condições de corte, em que o parâmetro Ra aumentou com a penetração de trabalho.

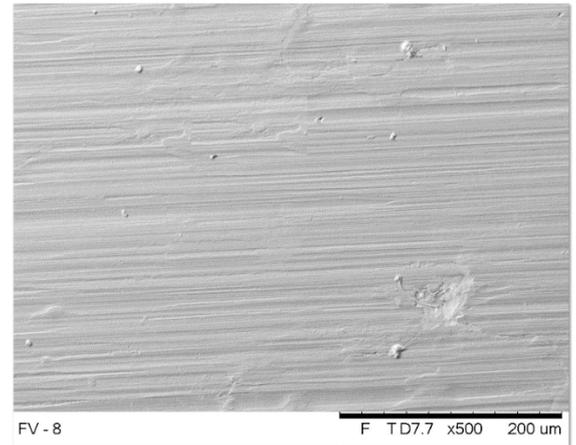
Das Figuras 1 e 2 pode-se observar ainda que o aumento da velocidade da peça também influencia no acabamento e a influência deste parâmetro foi mais acentuada ao empregar condições mais severas de retificação, com $a_e = 30 \mu\text{m}$. É importante destacar que tanto a velocidade da peça quanto a penetração trabalho determinam o parâmetro de retificação conhecido como espessura de corte equivalente em uma relação diretamente proporcional. Desta forma, o aumento em uma destas grandezas ou em ambas eleva a espessura de corte equivalente e em geral proporcionando superfícies com maior valor de rugosidade. De acordo com MARINESCU et al (2007), o aumento na velocidade da peça implica em uma maior vibração da máquina ferramenta que, por consequência, eleva os valores de rugosidade obtidos ao fim do processo de retificação.

3.2 Análise Da Superfície Retificada Via Mev

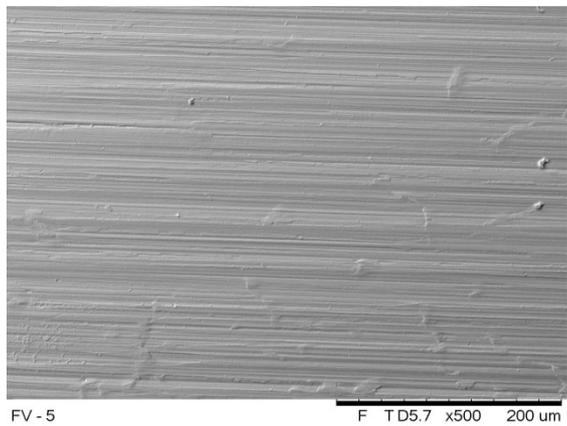
Na Figura 3 são mostradas as imagens via MEV das superfícies com ampliação de 500 vezes das amostras de ferro fundido vermicular FV 450 após retificação com rebolo SiC. Pode-se notar que as marcas de avanço são visíveis e que existe certa regularidade das marcas (trilhas) deixadas pelos grãos abrasivos. Contudo, em alguns casos as trilhas estão interrompidas, indicando a falta de eficiência dos abrasivos para retirarem material durante a sua passagem por sobre a superfície da peça. Evidências de camadas superpostas de material da peça são observadas nas superfícies das amostras retificadas em condições mais severas de usinagem (Figuras. 3 (b) e (d)); o que pode ser atribuído às propriedades desta classe de ferro fundido, principalmente à sua ductilidade mais elevada em relação ao ferro fundido cinzento. Materiais com características dúcteis em geral favorecem a formação de fluxo lateral de material provocado pela passagem dos grãos e que pode permanecer na peça durante a usinagem. Ele será mais intenso conforme mais severas forem as condições de usinagem



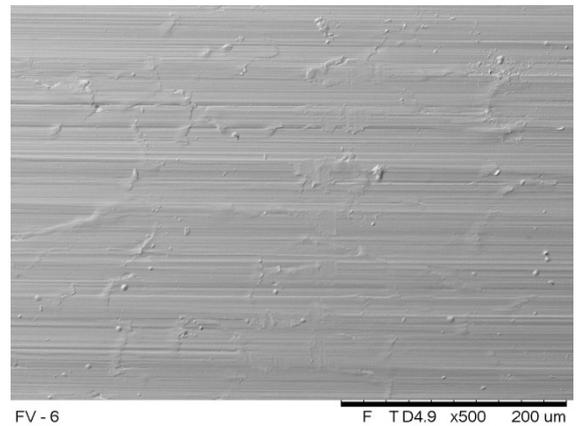
(a) $ae = 15 \mu\text{m}$ e $vw = 5 \text{ m/min}$



(b) $ae = 30 \mu\text{m}$ e $vw = 5 \text{ m/min}$



(c) $ae = 15 \mu\text{m}$ e $vw = 10 \text{ m/min}$



(d) $ae = 30 \mu\text{m}$ e $vw = 10 \text{ m/min}$.

Figura 3: Imagens das superfícies do ferro fundido vermicular FV 450 obtidas via MEV após retificação nas várias condições de corte, (a) $ae = 15 \mu\text{m}$ e $vw = 5 \text{ m/min}$, (b) $ae = 30 \mu\text{m}$ e $vw = 5 \text{ m/min}$, (c) $ae = 15 \mu\text{m}$ e $vw = 10 \text{ m/min}$ e (d) $ae = 30 \mu\text{m}$ e $vw = 10 \text{ m/min}$.

4 | CONCLUSÕES

Após os ensaios de retificação e análises dos resultados pôde-se concluir que os parâmetros de rugosidade (R_a e R_z) sofreram influência da velocidade da peça, em uma relação direta. O parâmetro R_a não sofreu influência da penetração de trabalho. Além disso, os valores de R_a mantiveram-se abaixo de $0,40 \mu\text{m}$ para todas as condições testadas, valores inferiores ao limite máximo para operações de semi-acabamento que é de $0,63 \mu\text{m}$. Por fim, ao empregar o maior valor de penetração de trabalho, $ae = 30 \mu\text{m}$ foi possível perceber a presença de material aderido na superfície retificada.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a CAPES-PROEX, CNPq e FAPEMIG, à

Faculdade de Engenharia Mecânica, ao Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como também aos integrantes do grupo LEPU pelo apoio científico e tecnológico. Agradecem ainda à Tupy e Blaser Swissslube pela doação do material da peça e fluido de corte, respectivamente. O autor Rosemar Batista da Silva agradece em especial a FAPEMIG pelo apoio financeiro recebido via PPM-VII, Processo N°: PPM-00265-13.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR ISO/IEC 17025: **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaios e calibração**. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM-ISO 1: **Temperatura padrão de referência para medições industriais de comprimento**. Rio de Janeiro, 1997. 2p.

Bianchi, E.C., Valarell, I.D., Fernandes, O.C., Mogami, O., Silva JR, C.E. e Aguiar, P.R. **Análise do comportamento de rebolos convencionais na retificação de aços frágeis e dúcteis**. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, Vol. 19, 1997, pp 410-425.

Chiaverini, V. **“Tecnologia Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento”**. Ed. McGraw-Hill Ltda, São Paulo, Brasil, Vol. 3., 1986, 388 p.

Damasceno, R.F. **Análise da influência da profundidade de corte e de diferentes métodos de lubri-refrigeração na retificação plana de aço ABNT 4340**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Bauru, 2010.

Kalpakjian, S. e Schmid S.R., **Manufacturing Processes for Engineering Materials**. Ed. Pearson Education, 2009, 1040 p.

Machado, A. R.; Abrão, A. M.; Silva, M. B.; Coelho, R. T. **Teoria da usinagem dos materiais**. Ed. Blucher, São Paulo, Brasil, 2009, 371 p.

Malkin, S., Guo. C. **Grinding Technology: Theory and Applications of Machining With Abrasives**. Ed. Industrial Press, New York, 2ª ed., 2008, 372 p.

Mandal, B., Sarkar, A., Biswas, D., Das, S., Banerjee, S. **An effective grinding fluid delivery technique to improve grindability of inconel-600**. 5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) December, IIT Guwahati, Assam, Índia, 2014.

Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B. e Inasaki, I. **Handbook of machining with grinding wheels**. Ed. CRC Press, New York, 2007, 596 p.

Mocellin, F.; Melleras, E.; Boehs, L.; Guesser, W. L. **Study of the machinability of compacted graphite iron for drilling process**. I Brazilian Manufacturing Congress, Vol. XXVI, nº 1, Uberlândia, Brasil, 2004, pp. 22-27.

Silva, E. J.; Bianchi, E. C.; Aguiar, P. R. **Danos térmicos na retificação decorrentes do par fluido-ferramenta adotado**. I Congresso Nacional De Engenharia Mecânica, Natal, Brasil, 2000.

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

