

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharias: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-560-0
DOI 10.22533/at.ed.600200511

1. Engenharia. 2. Metodologias e Práticas. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Para isso o mesmo foi dividido em dois volumes, sendo que o volume 1 apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica, química e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Já o volume 2 traz, temas correlacionados a engenharia civil e de minas, apresentando estudos sobre os solos e obtenção de minérios brutos, bem como o estudo de construções civis e suas patologias, estando diretamente ligadas ao impacto ambiental causado e ao reaproveitamento dos resíduos da construção.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE DOBRA DE UM VERGALHÃO PARA A MELHORIA DE UM PROCESSO DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA

Efraim Ribas Linhares Bruno
Thiago Monteiro Maquiné
Perla Alves de Oliveira
Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima
Suelem de Jesus Pessoa

DOI 10.22533/at.ed.6002005111

CAPÍTULO 2..... 13

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO SUPERFICIAL NA MANUFATURA CNC DE MATERIAL LAMINADO EM PLACAS DE RENSHAPÉ 440

Walkiria Kohmoto Nishimurota
Marco Stipkovic Filho

DOI 10.22533/at.ed.6002005112

CAPÍTULO 3..... 23

A INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NA ANÁLISE DE DUREZA E MICRODUREZA EM AÇO AO CARBONO FUNDIDO

Ronan Geraldo Moreira

DOI 10.22533/at.ed.6002005113

CAPÍTULO 4..... 29

CONCEITOS BÁSICOS DE MICROUSINAGEM: UMA REVISÃO

Ainá Winnie Carlos Riomar
Esther Samila Santana Barbosa
Lucas Winterfeld Benini

DOI 10.22533/at.ed.6002005114

CAPÍTULO 5..... 46

ANÁLISE DE FALHA POR CORROSÃO EM REVESTIMENTO DE PRODUÇÃO DE UM CAMPO MADURO DO ESTADO DE SERGIPE

André Vieira da Silva
Wilson Linhares dos Santos
Cochiran Pereira dos Santos
Soraia Simões Sandes

DOI 10.22533/at.ed.6002005115

CAPÍTULO 6..... 59

MICRODUREZA NO PROCESSO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO LINEAR DA LIGA DE LATÃO BINÁRIO C260

Lucas Freitas de Medeiros Pimentel
Monique Valentim da Silva Frees
Ariane Rebelato Silva dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.6002005116

CAPÍTULO 7..... 67

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ALÍVIO DE TENSÃO EM COMPONENTES DE AÇO AAR M201 GRAU E RECUPERADOS POR SOLDAGEM

Natanael Pinho da Silva Alves

Ronan Geraldo Moreira

DOI 10.22533/at.ed.6002005117

CAPÍTULO 8..... 79

ESTUDO DA GERAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS COMPÓSITOS A PARTIR DO GESSO E DO RESÍDUO DE GESSO COM ADITIVOS DESINCORPORADORES DE AR E SUPERPLASTIFICANTES

Tássila Saionara Gomes Galdino

Pâmela Bento Cipriano

Andréa de Vasconcelos Ferraz

DOI 10.22533/at.ed.6002005118

CAPÍTULO 9..... 93

DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE CELERON

Karla Hikari Akutagawa

Caroline da Silva Neves

Celia Kimie Matsuda

Nabi Assad Filho

DOI 10.22533/at.ed.6002005119

CAPÍTULO 10..... 99

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES METÁLICOS SUPORTADOS EM ALUMINA PARA OBTENÇÃO DE BODIESEL

Normanda Lino de Freitas

Talita Kênya Oliveira Costa

Joelda Dantas

Elvia Leal

Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes

Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.60020051110

CAPÍTULO 11 113

SIMULAÇÃO DE ESPECTROMETRIA DE MASSA DE ÍONS SECUNDÁRIOS

Gabriel dos Santos Onzi

Igor Alencar Vellame

DOI 10.22533/at.ed.60020051111

CAPÍTULO 12..... 117

ANÁLISE DE UM MOTOR 3 CILINDROS SOBREALIMENTADO

Bruno Barreto Irmão

Alexsander Velasco Cardoso

Gustavo Simão Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.60020051112

CAPÍTULO 13..... 131

PROTÓTIPO DE UMA ESTEIRA AUTOMATIZADA PARA ÂMBITO INDUSTRIAL

Mateus dos Santos Correia
Déborah da Costa Sousa Carvalho
Luiz Eduardo Borges de Lima
Elton Santos Dias Sales

DOI 10.22533/at.ed.60020051113

CAPÍTULO 14..... 134

DETERMINAÇÃO DE RITMO CARDÍACO A PARTIR DE SINAIS DE FOTOPLETISMOGRAFIA

Lucas Fernandes Alves dos Anjos
Sergio Okida

DOI 10.22533/at.ed.60020051114

CAPÍTULO 15..... 140

MODELAGEM E SIMULAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE LTNLG (COAXIAL E DE FITA) PARA GERAÇÃO DE RF UTILIZANDO O CST STUDIO

André Ferreira Teixeira
Ana Flávia Guedes Greco
José Osvaldo Rossi
Joaquim José Barroso
Fernanda Sayuri Yamasaki
Elizete Gonçalves Lopes Rangel

DOI 10.22533/at.ed.60020051115

CAPÍTULO 16..... 150

SIMULAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO NÃO LINEARES GIROMAGNÉTICAS UTILIZANDO MODELAGEM NUMÉRICA UNIDIMENSIONAL

Ana Flávia Guedes Greco
André Ferreira Teixeira
José Osvaldo Rossi
Joaquim José Barroso

DOI 10.22533/at.ed.60020051116

CAPÍTULO 17..... 160

DESENVOLVIMENTO DE OBJETOS EDUCACIONAIS: ATIVIDADE PRÁTICA DE VAZÕES EM ORIFÍCIOS

Thais Esmério Pimentel
Henrique da Silva Pizzo

DOI 10.22533/at.ed.60020051117

CAPÍTULO 18..... 172

APLICAÇÃO TÉCNICAS E FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO, GESTÃO E CONTROLE, BASEADOS NO CONCEITO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Elaine Garrido Vazquez

Renata Gonçalves Faisca

Joyce Dias da Costa

DOI 10.22533/at.ed.60020051118

CAPÍTULO 19..... 183

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E VOLUME DE ÁCIDOS NA LIXIVIAÇÃO DE CU E PB PRESENTES EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Alexandre Candido Soares

Yara Daniel Ribeiro

Sara Daniel Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.60020051119

CAPÍTULO 20..... 189

ANÁLISE DA SINTERIZAÇÃO E DENSIFICAÇÃO DE LIGA Nb-Ni-Fe-Si VIA SINTERIZAÇÃO POR PLASMA PULSADO (SPS)

Yara Daniel Ribeiro

Alexandre Candido Soares

Sara Daniel Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.60020051120

CAPÍTULO 21..... 198

ESTUDO CINÉTICO DA LIXIVIAÇÃO DE COBRE UTILIZANDO ÁCIDO NITRÍCO

Alexandre Candido Soares

Yara Daniel Ribeiro

Sara Daniel Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.60020051121

SOBRE OS ORGANIZADORES 209

ÍNDICE REMISSIVO..... 210

CONCEITOS BÁSICOS DE MICROUSINAGEM: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/11/2020

Data de submissão: 05/08/2020

Ainá Winnie Carlos Riomar

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica
Viçosa – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/2978943699195922>

Esther Samila Santana Barbosa

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica
Viçosa – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/3326839154406873>

Lucas Winterfeld Benini

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica
Viçosa – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7687650050636319>

RESUMO: A usinagem engloba os principais processos de fabricação utilizados na indústria atualmente. A microusinagem vem como um desenvolvimento destes processos, visando a produção de microcomponentes. Este trabalho objetiva apresentar uma revisão bibliográfica sobre os principais processos de microusinagem mecânica, bem como os conceitos de microferramentas e micro máquinas-ferramentas. Os estudos realizados demonstram que a usinagem em microescala representa um grande avanço tecnológico, trazendo benefícios que ainda não foram alcançados por outros processos. Porém a grande estabilidade alcançada pelas

técnicas convencionais ainda são um empecilho para a consolidação e difusão da microusinagem na indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Microusinagem, microtorneamento, microfresamento, microfuração.

THE BASIC CONCEPTS OF MICRO MACHINING: A REVIEW

ABSTRACT: Machining is currently encompassing the main manufacturing processes used in the industry. Micro machining comes as a development of these processes, aiming at the production of micro components. This work presents a review of the main mechanical micro machining processes, as well as the concepts of micro tools and micromachine tools. Studies prove that micro-scale machining represents a technological advance, bringing benefits not yet achieved by other processes. However, the great stability achieved by conventional techniques is still an obstacle to the consolidation and diffusion of micro machining in the industry.

KEYWORDS: Micro machining, micro turning, micro milling, micro drilling.

1 | INTRODUÇÃO

Usinagem foi definida por Ferraresi (1990) como processos que conferem forma, dimensão ou acabamento à uma peça removendo material sob a forma de cavaco (porção de material que não possui geometria definida). A mecânica, termodinâmica e as propriedades dos materiais são a base para o estudo da usinagem.

Com o desenvolvimento humano surgiram necessidades de modernização e adequação dos bens de consumo às exigências da vida moderna. Para garantir essa evolução a indústria manufatureira precisou investir no aprimoramento das técnicas de usinagem até então existentes. Estima-se que 80% dos furos, 70% das engrenagens e 100% dos pinos médico-odontológicos advém desta operação (Krelling, 2013; Stoeterau, 2006).

Uma dessas necessidades está ligada às solicitações do mercado por produtos de tamanho cada vez mais reduzido e de alta complexidade, como nos casos dos aparelhos ortopédicos, ortodônticos, microcomputadores e celulares (Masuzawa, 2000). Os motivos que fomentam a busca pela miniaturização de componentes são: novas aplicações, melhores desempenhos, menores custos e alta qualidade (Dornfeld *et al.*, 2006).

Um dos processos utilizados na fabricação de microcomponentes é a microusinagem, definida como um processo que remove cavaco com espessura inferior a $999\ \mu\text{m}$, definição esta que não considera o tamanho da peça e da ferramenta. Segundo Masuzawa (2000) este conceito irá variar em função da época, método e material de fabricação.

É importante considerar a manutenção das propriedades mecânicas dos materiais, já que existe um aumento substancial na energia específica de corte quando se reduz a espessura do cavaco (Jackson, 2008, *apud* Oliveira, 2012). Este aumento de energia é a base para o conceito do efeito de escala, fenômeno comum e de extrema importância nas operações de microusinagem (Liu *et al.*, 2004). Portanto, o estudo contínuo dos materiais utilizados e dos parâmetros de usinagem é fundamental para o desenvolvimento e consolidação da técnica.

Devido a todas as peculiaridades envolvidas, os processos de microusinagem se enquadram nos processos não tradicionais de usinagem. Eles estão divididos em três grandes grupos: aditivos, *near net shape* e subtrativos (Rajurkar e Madou, 2005).

O grupo dos processos subtrativos engloba a fabricação de microcomponentes por meio de remoção de material e geração de cavaco, também intitulado como processos de microusinagem mecânica. No estudo comparativo realizado por Rajurkar *et al.* (2006), foram analisados todos os processos de microfabricação quanto a aspectos como qualidade superficial, acessibilidade, complexidade geométrica, dentre outros. Este estudo concluiu que os processos de microusinagem mecânica são os que trazem o melhor custo/benefício, quando comparados com as técnicas químicas e eletrofísicas. A microusinagem mecânica está subdividida em três processos principais, são eles: fresamento, torneamento e furação.

O presente trabalho visa a apresentar os principais conceitos dos processos de microusinagem, de micromáquinas-ferramentas e de microferramentas, abordando o efeito das variáveis e parâmetros de corte no resultado de trabalho.

2 I PROCESSOS DE MICROUSINAGEM

2.1 Microtorneamento

O torneamento é um processo de usinagem que se baseia no movimento rotativo de uma peça cilíndrica em torno do eixo principal de rotação da máquina, visando a obtenção de superfícies de revolução (Ferraresi, 1990). O microtorneamento consiste no processo de torneamento convencional miniaturizado. Assim, a partir deste processo é possível obter estruturas tridimensionais em microescala (Rahman *et al.*, 2005).

2.1.1 Efeito dos Parâmetros de Usinagem

No processo de microtorneamento as forças de usinagem têm grande influência na exatidão do processo, o que acaba limitando o tamanho usinável, sendo este o maior empecilho do processo. Assim, manter as forças atuantes abaixo daquelas que ocasionam deformação plástica no material usinado é de extrema importância (Rahman *et al.*, 2005).

Rahman *et al.* (2005) realizaram seu experimento com peças de latão, liga de alumínio e aço inoxidável AISI 316L em uma máquina ferramenta, de três eixos, produzida para microusinagem de precisão. Concluiu-se que o parâmetro que exerce maior influência é a profundidade de corte. Quando são empregados pequenos valores para este parâmetro, a força de impulso é o componente de força dominante. Agora, quando se determina um valor elevado para a profundidade de corte a parcela tangencial da força passa a ter um módulo maior.

O estudo de Prasad (2007) foi realizado em uma máquina-ferramenta similar à de Rahman *et al.* (2005), e teve como base para análise uma peça de latão. Obteve-se, como principal conclusão, que a força de impulso é influenciada principalmente pela profundidade de corte e pelo avanço, ao passo que a força de corte é fortemente impactada pela profundidade de corte e pela velocidade de rotação. Pequenas profundidades de corte resultaram em maior influência da força de impulso em comparação à força de corte. Os resultados obtidos neste estudo corroboram aqueles encontrados por Rahman *et al.* (2005). Maranhão *et al.* (2012) realizaram um estudo envolvendo simulação numérica e experimental de microtorneamento de peças de aço AISI 4140. Notou-se que o aumento do avanço implica em um aumento das forças de corte e de avanço.

Silva (2010) realizou experimentos de microtorneamento em um torno comandado numericamente (CNC) empregando peças de aço 1045 e alumínio EN AW-2011. As conclusões obtidas neste trabalho indicam que, assim como no macrotorneamento, a seleção de um conjunto ótimo de parâmetros de corte irá depender do material a ser usinado.

2.1.2 Ferramenta de Corte

No trabalho realizado por Silva (2010) percebeu-se que o afiamento da ferramenta de corte resulta em uma redução da qualidade da superfície usinada quando analisada a

precisão dimensional e o acabamento como parâmetros de qualidade. Para a usinagem de um micro eixo escalonado de alumínio, a melhor opção de ferramenta foi uma geometria destinada ao sangramento, utilizada em corte longitudinal. A Fig. 1 ilustra o perfil produzido através deste microtorneamento. Ainda segundo Silva (2010) esse processo possibilitou obter peças de até 0,75 mm de diâmetro e 5 mm de comprimento.

O flanco em uma ferramenta de cermet na usinagem de latão, de liga de alumínio e de aço inoxidável AISI 316L sofre um fino desgaste abrasivo. Já na ferramenta de PCD (diamante policristalino), atuando sobre as mesmas condições, nota-se a formação de sulcos (Rahman *et al.*,2005).

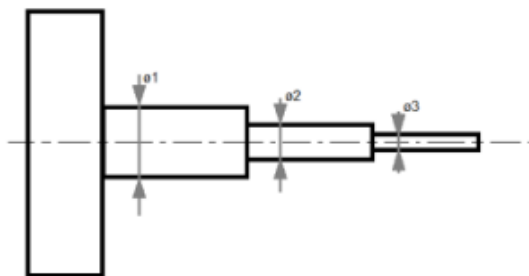


Figura 1 – Perfil produzido pelo microtorneamento (Adaptado de Silva, 2010).

2.1.3 Fluido de corte

Em seu experimento Silva (2010) aponta que a utilização de fluidos de corte não traz vantagens em processos de microtorneamento. De forma geral a rugosidade e precisão de forma foram melhores quando a usinagem foi realizada sem a presença de fluidos, apesar de uma certa adesão ser notada entre a ferramenta e o material da peça.

2.2 Microfresamento

O fresamento é um processo de usinagem caracterizado pelos movimentos realizados pela ferramenta, que gira, e pela peça, que se desloca seguindo uma trajetória qualquer (Ferraresi, 1990). O microfresamento possui muitas características que o aproximam do macrofresamento. Porém, a redução das dimensões envolvidas faz com que alguns fatores, principalmente em relação ao tamanho e escala das operações, que não são tão relevantes no processo tradicional passem a ter efeito significativo sobre os resultados obtidos (Picarelli, 2015).

2.2.1 Ferramenta de Corte

A concepção das microfresas tem base no princípio de que os processos envolvidos no microfresamento são análogos àqueles do processo convencional. Portanto,

tradicionalmente, têm sua geometria baseada nas fresas de tamanho convencional, apenas com tamanho reduzido (Fleischer *et al.*, 2008), como pode ser observado na Fig. 2. No entanto estes autores afirmam que as tolerâncias dimensionais tanto no diâmetro, como no raio de aresta da microfresa não permitem manter constantes as condições de corte para avanços na ordem de microns. Assim, não é possível estabelecer uma relação direta entre os parâmetros do fresamento convencional e aqueles utilizados no processo em microescala.

O valor da razão entre o avanço por dente e o raio de ponta da ferramenta é muito maior, quando comparado ao valor do fresamento em macroescala. Assim, a seleção dos parâmetros adequados adquire uma importância ainda maior na conservação da ferramenta já que a ocorrência de fraturas é facilitada (Kang *et al.*, 2007; Moreira, 2012).

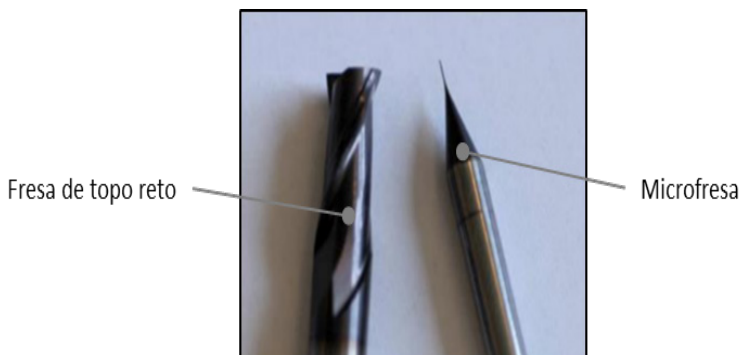


Figura 2 – Fresa de topo reto de 6 mm de diâmetro e microfresa de 200 μm (Li e Chous, 2010).

O estudo conduzido por Baldo (2013) mostra que o aumento no desgaste da ferramenta reduziu a rugosidade da superfície usinada. Por outro lado, o trabalho de Denkena *et al.* (2006) indicou que na microfresagem de alumínio o desgaste da ferramenta não refletia na rugosidade final.

2.2.2 Fluido de corte

Li e Chous (2010) analisaram o efeito que a lubrificação tinha sobre a ferramenta e a superfície usinada a partir do método de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL). Para as condições utilizadas foi possível concluir que, para a MQL, o desgaste de flanco foi menor. A redução é de cerca de 60% em relação ao corte seco. Assim, espera-se um aumento na vida da ferramenta.

A lubrificação também é benéfica quando se trata da rugosidade da superfície obtida. Os valores de rugosidade encontrados para superfícies lubrificadas são menores do que aqueles resultantes do corte a seco, mesmo com variações na velocidade de corte (Li e Chous, 2010).

2.2.3 Efeito dos Parâmetros de Usinagem

Kiswanto *et al.* (2014) estudam a relação que os parâmetros velocidade de rotação, avanço e tempo de corte exercem, quando usinando uma peça de alumínio liga 1100, sobre a rugosidade da superfície, a formação de rebarbas e o desgaste da ferramenta. Foi notada uma melhora na rugosidade quando o tempo de usinagem foi mantido e a velocidade de avanço foi aumentada. Essa configuração implicou em uma maior produtividade, com redução da rugosidade, sem prejuízo significativo na vida da ferramenta. Quanto à formação de rebarbas verificou-se que o parâmetro que mais tem influência é o tempo de corte.

O estudo realizado por Mian *et al.* (2011) em peças de liga de níquel conclui que a variável que mais tem impacto em diferentes mecanismos ligados à microusinagem é a velocidade de corte. Outro resultado encontrado é que, junto com a velocidade de corte, a razão entre espessura do cavaco e raio da aresta de corte influencia significativamente na rugosidade da superfície microfresada.

Baldo (2013) efetuou um estudo sobre a influência dos parâmetros de microfresagem para a liga de titânio Ti-6Al-4V. O primeiro fator analisado foi a influência do aumento da velocidade de avanço nas rugosidades Ra e Rz. Aumentar essa velocidade implicou em elevação nos valores encontrados para as rugosidades. Este efeito é atribuído ao fato de que maiores flexões ocorrem sobre a ferramenta, gerando maiores vibrações.

2.3 Microfuração

A furação está amplamente presente na indústria manufatureira e é um dos processos de usinagem mais importantes na indústria metal mecânica. De acordo com a norma alemã DIN 8589-2, a furação é definida como um processo de usinagem com movimento de corte circular, ou seja, com movimento rotativo principal, em que a ferramenta apresenta movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação, o qual mantém sua posição em relação à ferramenta e à peça.

Visando transpor os obstáculos do processo convencional em termos de dimensões de furo, criou-se a microfuração, em que a razão de aspecto para os furos que podem ser feitos é da ordem dos 10:1, para furos cujo diâmetro mínimo é de 0,1 mm (Hinds e Treanor, 2000).

2.3.1 Ferramenta de Corte

As microbrocas são as ferramentas mais utilizadas no processo de microfuração. A montagem é composta através da fixação da microbroca em uma pinça de precisão, com a necessária pré-vistoria do maquinário através de microscópio, evitando assim discordâncias (Selada *et al.*, 2010).

O ciclo de vida da ferramenta é contingente, segundo pesquisas de Kudla (2005) as microbrocas submetidas a parâmetros de corte relativamente diferentes dos pré-definidos e a cargas superiores resultam em quebra antes de apresentar o desgaste total esperado.

Através de seus estudos, Zhuang (2013) concluiu que o bloqueio de aparas e a adesão de cavacos são dois dos principais motivos para a quebra de microbrocas. A Fig. 3 mostra a geometria de uma microbroca.

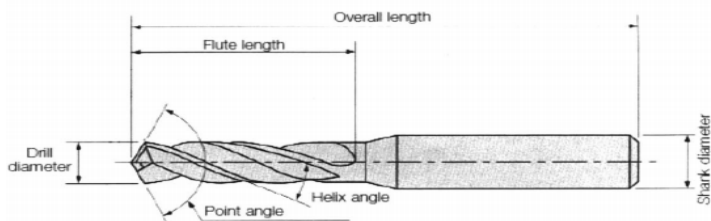


Figura 3 – Geometria da minibroca (Zhuang, 2013).

A relação entre comprimento e diâmetro da microbroca interfere diretamente em sua resistência mecânica, ajustando-a ao tipo de processo requerido (Selada *et al.*, 2010). Essa relação não deve ultrapassar muito o valor da razão preestabelecida para o processo, em virtude da fragilidade estrutural da ferramenta (Vasco e Correia, 2006). A forma e a geometria também influenciam substancialmente o modo com o qual a microbroca se comporta durante o processo de furação.

2.3.2 Efeito dos Parâmetros de Usinagem

Segundo Selada *et al.* (2010) na microfuração o aumento da velocidade de corte tem como efeito uma redução do binário e da componente tangencial da força de corte. O desgaste maior se dá na aresta de corte, não na face, e o atrito entre microbroca e a peça é superior por conta da dificuldade de remoção do cavaco gerado. Esses são os fatores que diferenciam a furação convencional da microfuração.

Hasan *et al.* (2017) estudaram a taxa de remoção de material, que pode ser calculada através da multiplicação entre a velocidade de rotação, a taxa de avanço e a área transversal da broca. A conclusão, através de suas análises, foi que uma maior taxa de remoção de material resulta em menor tempo de perfuração, por conseguinte, uma perfuração mais rápida acaba gerando carga extra na broca e risco de fratura da ferramenta. A Fig. 4 ilustra o padrão alcançado até o momento para a fabricação de microbrocas, de acordo com Hasan *et al.* (2017), as pesquisas no setor de manufatura dessas ferramentas miniaturizadas têm avaliado concomitantemente o aumento da performance e a redução do tamanho.

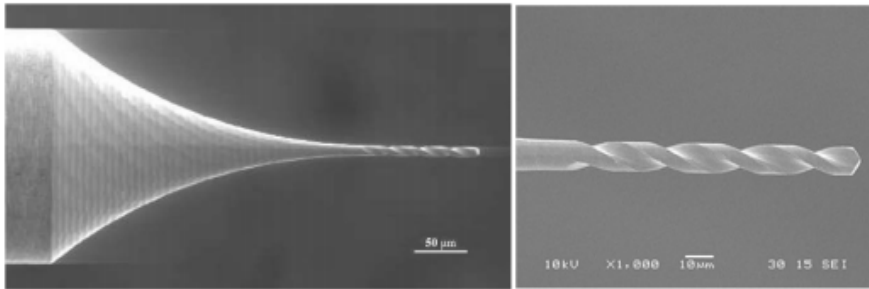


Figura 4 – Microbroca com diâmetro de 10 μm (Hasan *et al.*, 2017).

Segundo Zhuang (2013), a velocidade de rotação recomendada por manuais de vários fabricantes de ferramentas para o aço inoxidável 316 SST está entre 25.000 rpm e 35.000 rpm. Porém, em virtude das restrições de eficiência das máquinas, a velocidade de rotação máxima atingida é inferior aos valores de referência. As máquinas devem funcionar o mais próximo da velocidade de rotação máxima (24.000 rpm) com o intuito de obter melhor desempenho.

Também com relação às análises feitas por Zhuang (2013), outro parâmetro essencial é a taxa de avanço, que possui influência direta no acabamento superficial da peça e no tempo de vida da ferramenta. Uma menor taxa de avanço implica em uma superfície com menor rugosidade. Não obstante, diminuir a taxa de avanço resulta em uma produção mais lenta e reduz ainda mais o ciclo de vida da ferramenta.

2.3.3 Fluido de corte

O fluido de corte, ou fluido refrigerante tem papel importante no arrefecimento, lubrificação e remoção do cavaco gerado no processo. Porém, segundo estudos realizados por Zhuang (2013), o tamanho extremamente reduzido do orifício gerado dificulta o escoamento do fluido pelo microfuro.

Os fatores fundamentais para a melhor performance durante o processo de microfuração avaliaram o tipo de refrigerante, a taxa de fluxo e ângulo do bico. A conjuntura para um desempenho ideal requer um fluido refrigerante com menor viscosidade, alta difusividade térmica e boa lubricidade (Oberg *et al.*, 2004).

2.4 Efeito Escala

Câmara (2014) afirma que o efeito escala caracteriza-se por uma relação não linear entre o crescimento da energia específica de corte e a redução da espessura e do material não deformado. Em processos micrométricos a resistência ao cisalhamento do material se eleva, como indicado na Fig. 5. Esta elevação se deve ao fato de que, ao reduzir as dimensões, tem-se apenas defeitos pontuais para realizar a quebra da ligação atômica da estrutura (Taniguchi, 2003 *apud* Câmara, 2014).

Subbiah e Melkote (2013) explicam que existem diferentes explicações para este efeito, como indicado na Fig. 6. Estas podem ser divididas entre as que estão relacionadas às propriedades do material e às que independem das características dos materiais envolvidos.

Mian *et al.* (2011) estudaram os fatores que mais influenciam no efeito escala na microusinagem, a partir de um experimento baseado em peça microfresada de Inconel 718. Estes autores concluíram que pode-se usar a energia específica, a espessura da base da rebarba e a rugosidade da superfície como fatores relevantes no efeito. O estudo sugere ainda que a razão entre avanço por dente e raio de ponta da ferramenta, como também a velocidade de corte são fatores que podem influenciar de maneira significativa o efeito.

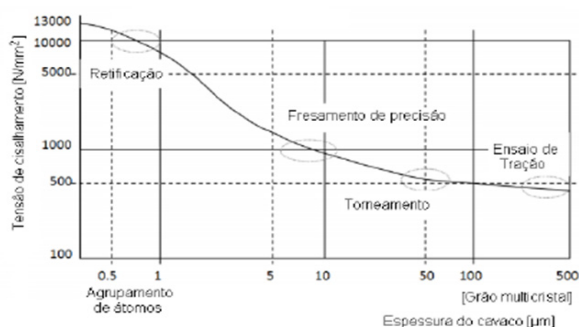


Figura 5 – Tensão de cisalhamento versus espessura do cavaco (Câmara, 2014).

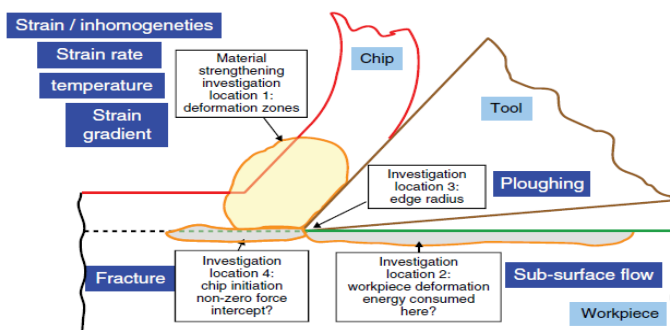


Figura 6 – Explicações diversas para o efeito escala (Subbiah e Melkote, 2013).

Klocke *et al.* (2009) estudaram o efeito escala em operações de micro furação de aço AISI 1045. Foi descoberto que, diferentemente da macrousinagem, altas velocidades favorecem a formação de gumes posições, causando um aumento da força de avanço. Outro interessante ponto abordado é a indicação de que a ferramenta de corte pode ser

da mesma dimensão do tamanho de grão. Porém, nestes casos, deve-se tomar o cuidado de não se analisar o material como isotrópico e homogêneo. Este efeito de escala deve ser considerado ao realizar análise numérica da microusinagem, a partir do método de elementos finitos.

2.5 Formação do cavaco

A formação do cavaco é um processo dinâmico não linear de extrema importância para se compreender e prever a ação das forças de corte atuantes. É relevante, também, a determinação da espessura mínima do cavaco, pois uma profundidade de corte menor que essa não resultará na remoção de material. Na usinagem em dimensões convencionais esse fator não costuma receber muita atenção visto que a profundidade de corte (torneamento) e o avanço por dente (fresamento) normalmente são maiores que o raio de ponta (Vinayagamoorthy e Xavier, 2011). Ainda, segundo estes autores, conhecer a espessura mínima é importante, porém obter este dado durante a execução do processo é uma tarefa difícil. Para contornar esta situação pesquisadores se dedicam a realizar simulações e experimentos para entender melhor o funcionamento do processo.

A redução do avanço por dente produz valores de rugosidade maiores, no microfresamento do aço ABNT 1045. Quando este valor de avanço é da mesma ordem da espessura mínima do cavaco nota-se redução da rugosidade da superfície, isto pode ser explicado pelo fato de a espessura do cavaco estar próximo daquela considerada crítica (Rodrigues, 2013).

Os mapas de simulação para deformação plástica (Maranhão, 2012) indicam que o cavaco, de um aço AISI 4140 microtorneado, aparenta sofrer mais impactos do que a peça produzida, como indicado na Fig. 7. Isso pode ser comprovado analisando o cavaco e notando que a região inferior tem um valor de deformação maior que a superfície superior. Já os mapas da velocidade de deformação plástica (Fig. 8) indicam que os maiores valores destas estão localizados no plano de cisalhamento primário.

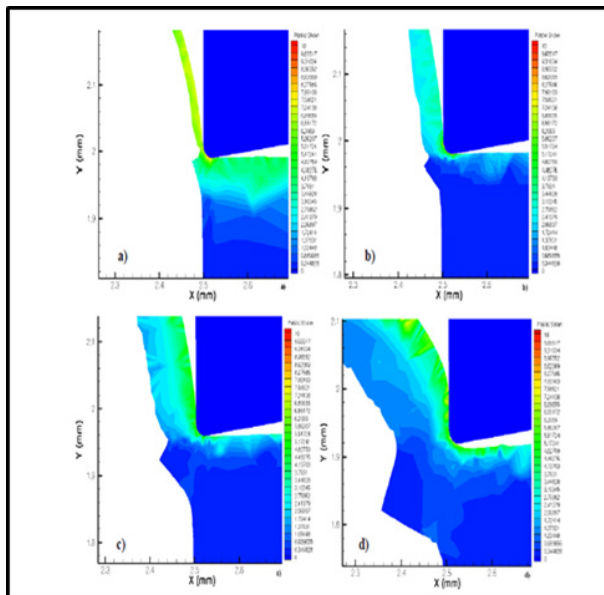


Figura 7 – Distribuição da deformação plástica no final do comprimento de corte para diferentes velocidades de avanço (a) Avanço de 10 $\mu\text{m}/\text{rot}$; (b) Avanço de 20 $\mu\text{m}/\text{rot}$; (c) Avanço de 40 $\mu\text{m}/\text{rot}$; (d) Avanço de 80 $\mu\text{m}/\text{rot}$ (Maranhão, 2012).

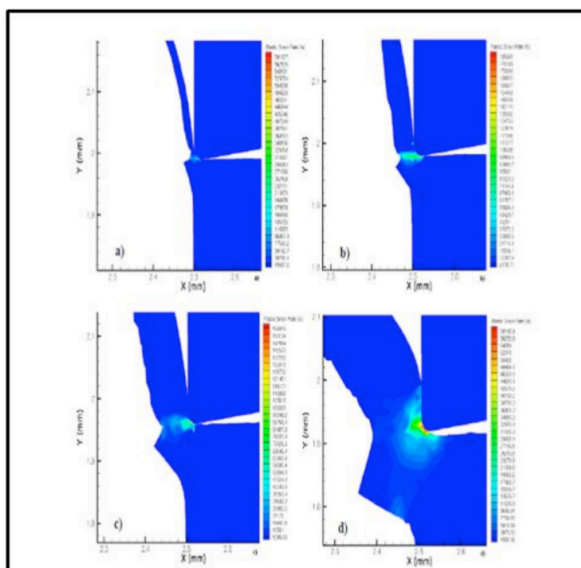


Figura 8 – Distribuição da velocidade de deformação no final do comprimento de corte para diferentes velocidades de avanço (a) Avanço de 10 $\mu\text{m}/\text{rot}$; (b) Avanço de 20 $\mu\text{m}/\text{rot}$; (c) Avanço de 40 $\mu\text{m}/\text{rot}$; (d) Avanço de 80 $\mu\text{m}/\text{rot}$ (Maranhão, 2012).

A remoção dos cavacos produzidos durante o processo de furação é um fator de grande importância, devendo ser levado em consideração no momento de definição dos parâmetros do processo. Quando se trata do processo de micro furação a remoção desta apra torna-se um fator ainda mais crítico, visto que o acúmulo destes nos furos gera aquecimento e tensão adicionais que, podem, culminar na quebra da microbroca (Hasan *et al.*, 2017).

2.6 Produtos da microusinagem

No passado os únicos microprodutos utilizados eram as peças que compunham o mecanismo de um relógio. Com a modernização novas necessidades surgiram e para isso os processos discutidos nos itens 2.1, 2.2 e 2.3 foram desenvolvidos (Masuzawa, 2000). A Fig. 9 mostra algumas aplicações de microusinados.

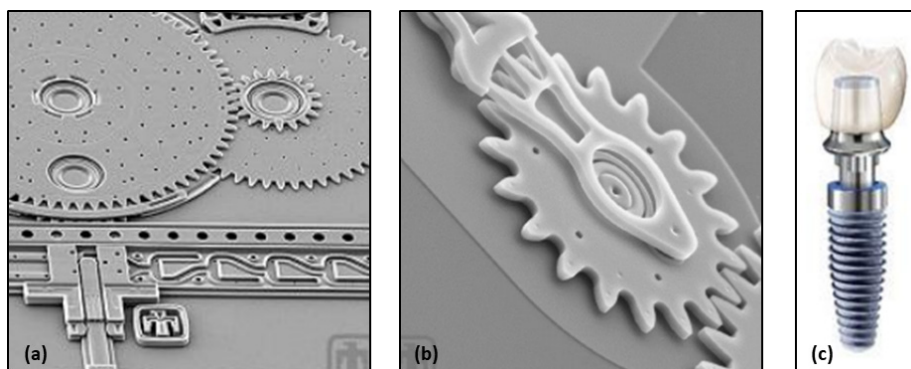


Figura 9 – Exemplos de produtos microusinados (a) microengrenagens (Sandia, 2018); (b) micromotores (Sandia, 2018); (c) Pino utilizado em implantes odontológicos (Adentis, 2018).

3 I MICROMÁQUINAS-FERRAMENTAS

A produção das micromáquinas-ferramentas é o grande desafio em que esbarra a microusinagem na atualidade. Segundo Rahman *et al.* (2010) é indispensável que as micromáquinas de usinagem sejam providas de um sistema CNC (Controle Numérico Computadorizado) que proporcione a elas o monitoramento adequado dos movimentos e parâmetros envolvidos no processo.

De acordo com estudos realizados por Baldo (2013) as micromáquinas-ferramentas demandam um inflexível processo de fabricação, já que as propriedades requeridas devem ser superiores às do processo convencional, que por sua vez, costumeiramente aponta falhas em seus comandos e controles. Esses desvios no âmbito da macroescala podem não causar consequências preocupantes, no entanto, em microusinagem, o mesmo desvio pode resultar em defeito na peça final.

Chae *et al.* (2005) discorrem sobre os inúmeros benefícios associados à utilização de micromáquinas nos processos de usinagem, que incluem a diminuição no gasto de energia e de matéria prima, redução do espaço e menor custo para a produção. Outro benefício é devido às micromáquinas-ferramentas apresentarem frequências naturais mais altas quando comparadas às máquinas convencionais, isso é explicado pela massa ser muito menor. O resultado positivo disso é a possibilidade de utilização de um grande intervalo de velocidades de rotação com reduzida instabilidade. A Fig. 10 traz alguns exemplos de máquinas de baixo custo para operações de microfresamento.

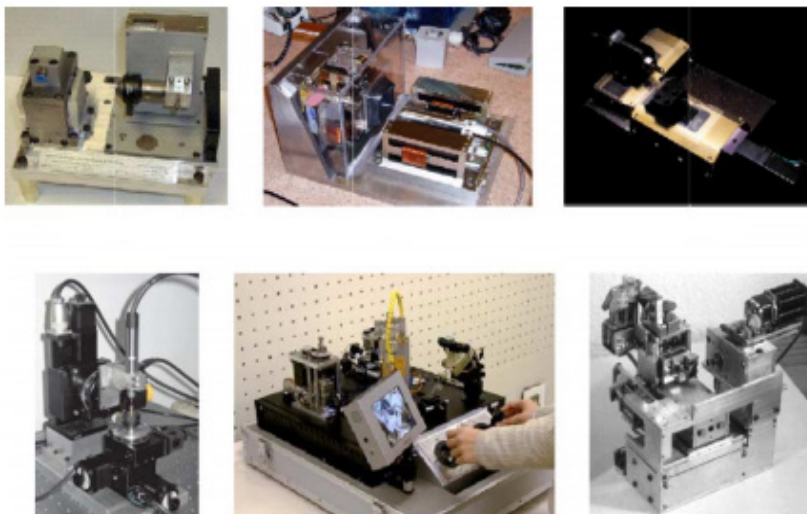


Figura 10 – Micromáquina-ferramentas para aplicações diversas (Adaptado de Zariatin, *et al.*, 2016).

3.1 Microferramentas de corte

Os componentes em miniatura são demanda de vários ramos da indústria e sua produção requer métodos de elevada precisão e garantia da repetitividade. As ferramentas convencionais não têm aplicabilidade na microusinagem (Chae *et al.*, 2005), e poucos estudos foram feitos em termos de experimentação e manipulação das microferramentas. Ainda é um desafio avaliar as reais interações possíveis entre a ferramenta e a peça trabalhada. De acordo com Rahman *et al.* (2010), as deformações mecânica e térmica, o ajuste da ferramenta, a precisão dimensional e o controle das vibrações são os principais fatores que podem afetar a manufatura de ferramentas em microescala.

Também de acordo com Chae *et al.* (2005), as microferramentas podem ser extremamente frágeis e de minuciosa manipulação, porém há um grande estímulo para seu

desenvolvimento derivado da busca pelo aumento da flexibilidade de criação de geometrias, redução do tamanho das peças de trabalho e minimização dos custos de produção.

Os parâmetros mais relevantes das microferramentas nas operações de microusinagem são a geometria e o tipo de material. São utilizadas ferramentas de tungstênio para uma gama grande de materiais Chae *et al.* (2005).

3.1.1 Fabricação de microferramentas por pulverização de feixe de íons focalizados- FIB

A evolução tecnológica e científica na área de materiais e processos de fabricação propiciou a produção de micro ferramentas, seguindo assim o padrão de desenvolvimento das máquinas de microusinagem, afinal, são interdependentes. Para tal, o método utilizado é denominado feixe de íons focalizados ou, em inglês, *Focused Ion Beam* (FIB) (Baldo, 2013).

De acordo com os estudos de Picard *et al.* (2002) o método utilizado para moldar as micro ferramentas consiste em um aparelho à vácuo que acelera íons de argônio e os direciona à peça que se deseja dar forma. Material é removido assim por pulverização. O padrão físico buscado para a ferramenta é gerado computacionalmente, proporcionando flexibilidade de forma e uma ferramenta com ângulos exatos e arestas de corte afiadas. Os materiais primários para a fabricação de microferramentas são fornecidos geralmente em formato de cilindro conectado a um mandril, com um comprimento total de aproximadamente 2,5 cm e com até 3,175 mm de diâmetro.

Segundo Chae *et al.* (2006), microferramentas comercialmente disponíveis atualmente podem alcançar até 50 μm de diâmetro e têm seu ângulo de hélice fabricado por esmerilhamento. A Fig. 11 mostra uma microfresa de 100 μm de diâmetro, é possível avaliar sua dimensão super reduzida observando o diâmetro da parte superior da própria microferramenta, que é 4 mm.

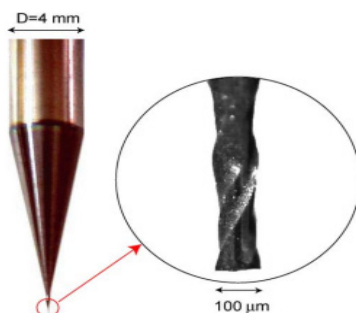


Figura 11 – Microfresa de carbeto de Tungstênio (Chae *et al.*, 2006).

4 | CONCLUSÕES

Este trabalho abordou os aspectos principais processos de microusinagem mecânica. Com esta revisão bibliográfica, conclui-se que:

- O processo de microusinagem é visto como um avanço tecnológico, uma promessa de fomento à economia, progressão nos equipamentos ligados a saúde e uma alavanca para inovações. Porém, a estabilidade já alcançada e conhecimentos já estabelecidos no processo em macroescala convencional tornam-se uma barreira a ser vencida para o seu desenvolvimento;
- A microestrutura da peça resultante dos processos de microusinagem é um fator que ainda requer estudos, pois sem esse conhecimento torna-se limitada a determinação das propriedades do material;
- Outro ponto importante é a adequação dos parâmetros, já consolidados em macroescala, aos processos de microusinagem que dependem da análise cuidadosa do efeito de escala;
- Por fim, acredita-se que o investimento em estudos para o entendimento e desenvolvimento dos processos de microusinagem é de grande importância para a contínua evolução técnico-científico. Vale ressaltar que este crescimento traz impactos, diretos e indiretos, para a sociedade como um todo.

Após o estudo de diversas fontes percebe-se que alguns temas ainda necessitam de um estudo mais detalhado. Dentre estes podem-se destacar: os efeitos do fluido de corte sobre a peça e a ferramenta ainda não foram bem documentados; a influência do material da ferramenta de corte sobre as forças de corte e qualidade da superfície usinada; a validação da precisão com a qual os estudos numéricos reproduzem a realidade e aplicação destas ferramentas e, por fim, a realização de estudos sobre a atuação da metrologia de ultra precisão na medição e avaliação dimensional de componentes.

REFERÊNCIAS

ADENTIS, **Korony na implantach**". Disponível em: <<https://adentis.pl/uslugi-i-ceny/ortodoncja-bez-ekstrakcji/protetyka/korony-na-implantach>> Acesso em 27 de agosto de 2018.

BALDO, D. **Estudo do microfresamento da liga de titânio TI-6Al-4V utilizando análise de sinais de força e emissão acústica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal de São João Del-Rey, São João Del-Rey, MG, 2013. 163 f.

CÂMARA, M. A. **Influência do efeito escala sobre a operação de microfresamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014. 177 f.

CHAE, J.; PARK, S. S.; FREIHEIT, T. "Investigation of micro-cutting operations". **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. v.46, n.3-4, p.313-332, mar. 2006.

DIN 8589-2: "Fertigungsverfahren Spanen Teil 2: Bohren - Einordnung, Unterteilung, Begriffe". Berlin, Alemanha: BeuthVerlagGmbH, 12p, 2003

DORNFELD, D.; MIN, S.; TAKEUCHI, Y. Recent advances in mechanical micromachining. **Cirp Annals - Manufacturing Technology**. v.55, n.2, p.745-768. 2006.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blüncher Ltda, 1990.

FLEISCHER, J. *et al.* Design and manufacturing of micro milling tools. **Microsystem Technologies**. Besançon, França, v.14, n. 9-11, p.1771-1775, ago. 2008.

HASAN, M.; ZHAO, J.; JIANG, Z. A review of modern advancements in micro drilling techniques. **Journal of Manufacturing Processes**. v.29, p.343-375, oct. 2017.

KANG, I. S. *et al.* A mechanistic model of cutting force in the micro end milling process. **Journal of Materials Processing Technology**. v.187-188, p.250-255, jun. 2007.

KRELLING, A. **Usinagem**. [2013?]. 37 slides. Disponível em: <<http://joinville.ifsc.edu.br/~anael.krelling/Tecnologia%20em%20Mecatr%C3%B4nica/PFB64/10%20-%20Usinagem.pdf>>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

KISWANTO, G.; ZARIATIN, D. K.; KO, T. J. The effect of spindle speed, feed-rate and machining time to the surface roughness and burr formation of Aluminum Alloy 1100 in micro-milling operation. **Journal of Manufacturing Processes**. v.16, n.4, p. 435-450, out. 2014.

KLOCKE, F.; GERSCHWILER, K.; ABOURIDOUANE, M. Size effects of micro drilling in steel. **Production Engineering: Research and Development**.v.3, n.1, p. 69-72, mar. 2009.

KUDLA, L.A. Deformations and strength of miniature drills. **Journal of Engineering Manufacture**. v.220, n.3, p. 389-396, 2005.

LI, K.M.; CHOU, S. Y. Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 210, n. 15, p.2163-2170, nov. 2010.

MARANHÃO, C.; SILVA, L. R.; DAVIM, J. P. **Comportamento termomecânico na microusinagem do aço aisi 4140: Simulação numérica com validação experimental**. Ciência & Engenharia, v.21, n.2, p.18-28, jul/dez.2012.

MASUZAWA, T. State of the art of micromachining. **Cirp Annals - Manufacturing Technology**. v. 49, n.2, p. 473-488. 2000.

MIAN, A. J.; DRIVER, N.; MATIVENGA, P. T. Identification of factors that dominate size effect in micro-machining. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. v. 51, n. 5, p. 383-394, may. 2011.

MOREIRA, S. R. S. **Energia específica de corte e integridade superficial no microfresamento do aço ABNT 1045**. Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2012. 90 f.

OBERG, *et al.* **Machinery's Handbook**. 27. ed. Nova Iorque: Industrial Press Inc., 2004.

OLIVEIRA, F. B. **Estudos dos mecanismos governantes do efeito de escala na microusinagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2012. 92 f.

PICARD, Y. N. *et al.* Focused ion beam-shaped microtools for ultra-precision machining of cylindrical components. **Precision Engineering**. v.27, n.1, p. 59-69, jan. 2003.

PICARELLI, T. C. **Microfresamento: Estudo e aplicação do processo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, SP, 2015.

PRASAD, J. H. **Experimental studies on microturning**.. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica)-National Institute of Technology Calicut, Calicut, Kerala, 2007. 62 f.

RAHMAN, M. A. *et al.* CNC microturning: an application to miniaturization. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. v.45, n.6, p.631-639, nov. 2005.

RAHMAN, M. A. *et al.* A multiprocess machine tool for compound micromachining. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. v.50, n.4, p.344-356, 2010.

RAJURKAR, K.; MADOU, M. International assessment of research and development in micromanufacturing. In: EHMANN, K.F. *et al.* **Processes**. Marylan: WTEC, 2005. cap. 4, p.39-64.

RAJURKAR, K. P. *et al.* Micro and Nano Machining by Electro-Physical and Chemical Processes. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**. v. 55, n.2, p. 643- 666. 2006.

RODRIGUES, A. R. *et al.* **Integridade superficial no microfresamento**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 7., 2013, Penedo.

SELADA, A.; FIDELIS, N.; SOARES, R. **Estudo sobre tecnologias nucleares do sector de engineering and tooling com potencial de aplicação noutros sectores**. Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticas, Marinha Grande, Portugal, 2010. 102 f.

SILVA, I. F. P. **Avaliação da qualidade de micropeças torneadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2010. 72 f.

STOETERAU, R. L. **Usinagem com ferramentas de geometria definida [2006?]**.99 slides. Disponível em:< <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS2.pdf>>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

SUBBIAH, S.; MELKOTE, S. N. Engineering materials for micro cutting. In: CHENG, K.; DEHONG, H. **Micro-Cutting: Fundamentals and applications**. Reino Unido: Wiley, 2013. cap. 5, p.87-114.

VINAYAGAMOORTHY, R.; XAVIOR, M. A. A Review on Micro Turning Process. **International Journal of Current Research**. v.3, n.11, p.174-179, out. 2011.

ZARIATIN, D.L.; KISWANTO, G.; KO, T.J. Prototype development of micro-milling machine for micro-product. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**. v.11, n.16, p.10004-10008, ago. 2016.

ZHUANG, Y. **Optimizing the Economic Efficiency by Micro-drill Life Improvement during Deep-hole Drilling in the 212-Valve Manufacturing Process**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Manufatura) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 2013. 67 f.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aços 23, 24, 51

Alumina 24, 81, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 108, 109, 110, 111, 112

Aquecimento 40, 62, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 77, 81, 100, 103

B

Biodiesel 99, 100, 101, 102, 105, 109, 110, 111, 112

C

C260 59, 60, 61, 62, 65, 66

CAD 1, 2, 3, 15, 126

Catálise 99, 103

Celeron 93, 94, 95, 96, 97, 98

Chapas 2, 11, 61, 66, 78, 93, 96, 97, 98

CNC 13, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 31, 40, 45, 62

Combustão Interna 101, 117, 118, 119, 130

Comportamento Superficial 13, 14, 20, 22

Compósito 13, 196

Controle 4, 5, 9, 40, 41, 48, 49, 58, 66, 118, 131, 133, 135, 136, 137, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 181, 182

Corrosão 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 68, 94, 101, 209

D

Desincorporador 79, 80, 82, 86

Dureza 7, 8, 23, 24, 25, 26, 27, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 85, 90, 91, 190

Duto 46

E

Enxuta 172, 173, 174, 176, 178, 181, 182

Estampagem 1, 2, 12, 62

F

Fluidodinâmica 117, 120, 130

Fotopletismografia 134, 135

Fricção 59, 60, 66

FSW 59, 60, 61, 62, 63, 66

G

Gesso 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92

Gestão 11, 50, 172, 174, 177, 182, 209

I

Impregnação de Metal 99

Ishikawa 1, 2, 3, 6

L

Linha de Transmissão 140, 143

M

Manufatura 13, 20, 35, 41, 45, 174

Medição 19, 22, 23, 24, 43, 47, 70, 72, 116, 135, 137, 164, 193

Microusinagem 29, 30, 31, 34, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45

Modelagem 22, 130, 140, 143, 147, 150, 151

Motor 101, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 174

O

Orifício 36, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 168, 169

P

Parâmetros de Corte 13, 14, 16, 17, 19, 22, 30, 31, 34

PDCA 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181

Petróleo 46, 47, 48, 49, 51, 52, 55, 57, 58, 95, 100, 101, 110

Planejamento 3, 58, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 181, 182, 183, 185, 186, 187, 188, 209

Prática 50, 66, 160, 161, 164, 165, 170, 172, 179

Processamento de Sinais 134, 135

Propriedades 13, 14, 22, 29, 30, 37, 40, 43, 59, 61, 63, 65, 67, 68, 72, 73, 77, 87, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 103, 104, 111, 119, 190, 191

R

Radiofrequência 140

Renshape 13, 14, 15, 22

Reservatório 160, 162, 164, 165, 166, 168

Resíduo 46, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 184, 199

Resina Fenólica 93, 94, 96

Resistencia 191

Revestimento 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57

Ritmo Cardíaco 134, 135, 136, 137, 138

Rugosidade 13, 14, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 36, 37, 38

S

Simulações 38, 114, 140, 141, 142, 143, 147, 151

Soldagem 59, 60, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 75, 76, 77, 78, 197, 209

T

Termofixo 93, 94

Transesterificação 99, 101, 102, 103, 105, 109, 111

Tratamento Térmico 67, 68, 71, 74, 75, 77

Turbocompressor 117, 118, 120, 121, 129, 130

V

Vazão 160, 163, 164, 168, 169, 171

Vergalhão 1, 2, 3, 8

Vibração 84, 94, 117, 119, 126, 127, 128

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de Caráter Multidisciplinar

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de Caráter Multidisciplinar

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 