

Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2019

Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2019

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

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. 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
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
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P474 Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-902-8

DOI 10.22533/at.ed.028200601

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas.
3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 1” contempla vinte e três capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas nas diversas áreas de engenharia.

Os resultados obtidos através de pesquisas científicas trazem benefícios a sociedade e promovem inovações tecnológicas, surgindo como uma engrenagem nas engenharias.

O estudo sobre o comportamento de determinados materiais sob determinadas situações permite avaliar e otimizar seu uso, proporcionando o controle das condições ideais, bem como viabilizando a utilização de determinadas matérias primas. Por sua vez, essas matérias primas podem trazer benefícios ao meio ambiente, bem como trazer resultados econômicos satisfatórios.

A avaliação de propriedades físicas e mecânicas de materiais permite também a sua utilização em diversos segmentos da engenharia, proporcionando o desenvolvimento de novos produtos, trazendo benefícios a sociedade.

Diante do exposto, esperamos que esta obra traga ao leitor conhecimento técnico de qualidade, fazendo com que o leitor reflita sobre o uso das pesquisas científicas e as inovações tecnológicas no desenvolvimento social, e faça uso dessas ferramentas na melhoria de qualidade de vida na sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AÇÃO CORROSIVA DE SOLOS DO SUL DO BRASIL SOBRE ESTRUTURAS METÁLICAS	
Jessica Oliveira Ayres Matthews Teixeira Coutinho Devai Luciana Machado Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.0282006011	
CAPÍTULO 2	10
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINÉIS AGLOMERADOS CONFECCIONADOS COM PINUS, EUCALIPTO, BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA	
Estéfani Suana Sugahara Ana Laura Soler Cunha Buzo Raissa Pravatta Pivetta Sérgio Augusto Mello da Silva Elen Aparecida Martines Morales	
DOI 10.22533/at.ed.0282006012	
CAPÍTULO 3	21
ANÁLISE EXPERIMENTAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM LAMINADOS DE PRFC	
Nara Villanova Menon Maicon de Freitas Arcine Juliana Penélope Caldeira Soares	
DOI 10.22533/at.ed.0282006013	
CAPÍTULO 4	35
CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM EDIFÍCIO LITORÂNEO COM EXPANSÃO, FISSURAÇÃO COM ESFARELAMENTO E BAIXA RESISTÊNCIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO	
Renato Freua Sahade Fabiano Ferreira Chotoli Sérgio Soares de Lima Priscila Rodrigues Melo Leal	
DOI 10.22533/at.ed.0282006014	
CAPÍTULO 5	45
CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO	
Paula Thais dos Santos Felix	
DOI 10.22533/at.ed.0282006015	
CAPÍTULO 6	55
PINUS E EUCALIPTO PARA CONSTRUÇÕES LEVES EM MADEIRA (WOODFRAME) NO BRASIL: COMPARATIVOS, POSSIBILIDADES E DESAFIOS	
Mirna Mota Martins Júlia Cruz da Silva Matheus Fernandes Lima Rita Dione Araújo Cunha	

CAPÍTULO 7 68

ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DO DESLIZAMENTO PINO SOBRE DISCO DO AÇO ISI 4140 X H13

Eric Elian Lima Espíndola
Andrey Coelho das Neves
Beatriz Seabra Melo
Vinicius Silva dos Reis
Milena Cristina Melo Carvalho
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Rodrigo Ribeiro Lima
Edgar Costa Cardoso
Aécio de Jesus Monteiro dos Santos
Emerson Rodrigues Prazeres
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.0282006017

CAPÍTULO 8 81

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO TIPO COSTANEIRAS DE CORYMBIA CITRIODORA PARA APLICAÇÃO EM MÓVEIS E COMPONENTES DECORATIVOS

Matheus Fernandes Lima
Mirna Mota Martins
Julia Cruz da Silva
Sandro Fábio Cesar
Rita Dione Araújo Cunha

DOI 10.22533/at.ed.0282006018

CAPÍTULO 9 94

AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE PAINÉIS EM MADEIRA PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS: RECOMENDAÇÕES PARA O DETALHAMENTO CONSTRUTIVO

Mônica Duarte Aprilanti
Simone Fernandes Tavares
Akemi Ino

DOI 10.22533/at.ed.0282006019

CAPÍTULO 10 108

COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL UTILIZANDO PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO DE ALTA DENSIDADE

Lilian Cristina Ciconello
Luciana Alves de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.02820060110

CAPÍTULO 11 121

INCIDÊNCIA DE DESCOLAMENTO EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS EM FACHADAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O PROJETO E A PRODUÇÃO

Luciana Alves de Oliveira
Luciana Araújo Mauricio Varella
Renato Freua Sahade

DOI 10.22533/at.ed.02820060111

CAPÍTULO 12 133

COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS DO *Eucalyptus urograndis*: CORPOS DE PROVA ISENTOS DE DEFEITOS X PEÇAS ESTRUTURAIS

Fabiana Yukiko Moritani
Carlito Calil Junior

DOI 10.22533/at.ed.02820060112

CAPÍTULO 13 145

CROSS LAMINATED TIMBER VS CONCRETO: RESISTÊNCIA MECÂNICA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E DENSIDADE

Aliane Cardoso de Almeida
Rafaele Almeida Munis
Jessé Salles Lara

DOI 10.22533/at.ed.02820060113

CAPÍTULO 14 158

DUREZA JANKA COMO ESTIMADOR DA DENSIDADE APARENTE E DAS RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO EM EUCALIPTO

Takashi Yojo
Cassiano Oliveira de Souza
Maria José de Andrade Casimiro Miranda
Sergio Brazolin

DOI 10.22533/at.ed.02820060114

CAPÍTULO 15 167

ESTUDO COMPARATIVO DOS EFEITOS DE NANOFIBRAS DE SÍLICA, OBTIDAS VIA SBS, E ARGILA MONTMORILONÍTICA EM POLIAMIDA 66

Edvânia Trajano Teófilo
Gabriel Lucena de Oliveira
Radamés da Silva Teixeira
Cláudio Bezerra Martins Júnior
Rosiane Maria da Costa Farias
Aline Vasconcelos Duarte
Ellen Cristine Lopes da Silva Bento
Raí Batista de Sousa
Francisco Diassis Cavalcante da Silva
Francisca Maria Martins Pereira

DOI 10.22533/at.ed.02820060115

CAPÍTULO 16 178

ESTUDO DAS FORÇAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L

Milla Caroline Gomes
Márcio Bacci da Silva

DOI 10.22533/at.ed.02820060116

CAPÍTULO 17 185

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE FORNO DIDÁTICO PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO

Carlos Eduardo Costa
Jefferson Maiko Luiz

Ivan Rodrigues dos Santos
Emerson da Silva Seixas
Milton Luis Polli

DOI 10.22533/at.ed.02820060117

CAPÍTULO 18 194

QUANTIFICAÇÃO DE HIDROGÊNIO EM CORPOS DE PROVA DE UM AÇO ARBL
PARA ENSAIOS DE PUNÇIONAMENTO ESFÉRICO

Luiz Fernando Maia de Almeida
Rosenda Valdés Arencibia
Sinésio Domingues Franco

DOI 10.22533/at.ed.02820060118

CAPÍTULO 19 200

METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA PRÉ-TRINCA POR FADIGA NO
ENSAIO SNTT

Guilherme Bernardes Rodrigues
Waldek Wladimir Bose Filho
Sinésio Domingues Franco
Rosenda Valdés Arencibia

DOI 10.22533/at.ed.02820060119

CAPÍTULO 20 206

BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS UTILIZANDO A MICROALGA *Synechococcus
nidulans*

Juliana Silveira de Quadros
Paulo Fernando Marques Duarte Filho
Fernando Junges

DOI 10.22533/at.ed.02820060120

CAPÍTULO 21 216

DISTRIBUIÇÃO BIDIMENSIONAL DA PROFUNDIDADE DE MISTURA NO
RESERVATÓRIO DE LAJEADO, TOCANTINS

Marcelo Marques
Elaine Patricia Arantes
Fernando Oliveira de Andrade
Alexandre Kolodynskie Guetter
Cristhiane Michiko Passos Okawa
Isabela Arantes Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.02820060121

CAPÍTULO 22 227

ESTUDO PROSPECTIVO E TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE SYNGAS
UTILIZANDO CATALISADORES

Munique Gonçalves Guimarães
Grace Ferreira Ghesti
Camila Lisdália Dantas Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.02820060122

CAPÍTULO 23 240

UTILIZAÇÃO DE PELÍCULAS COMESTÍVEIS NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MORANGOS

Tatiane Barbosa dos Santos

Matheus Luis Ferrari

Marcio Eduardo Hintz

João Paulo Brazão Gianini

Rafael Rodrigo Bombardelli

Idiana Marina Dalastra

DOI 10.22533/at.ed.02820060123

SOBRE A ORGANIZADORA..... 251

ÍNDICE REMISSIVO 252

ESTUDO DAS FORÇAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L

Data de aceite: 25/11/2019

Milla Caroline Gomes

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

Márcio Bacci da Silva

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

RESUMO: Nos processos de microusinagem a espessura e o raio da aresta de corte possuem grandes influências nas forças desenvolvidas durante o processo de corte. Quando a espessura de corte é menor que a mínima, tem-se formação do cavaco ao longo de uma aresta de corte arredondada devido ao tamanho comparável entre a espessura e o raio da aresta de corte, tendo como resultado um aumento não linear da energia específica. Devido as influências da espessura e do raio da aresta de corte na força desenvolvida nos processos de microusinagem, estudos do comportamento destas forças estão sendo realizados para melhorar o entendimento do processo de corte que ocorre na microusinagem. Visando contribuir com o conhecimento sobre este processo, o trabalho irá estudar as forças de corte desenvolvidas no microfresamento do aço

inoxidável austenítico AISI 316L. Para isso será utilizado microfresas de metal duro revestidas com (Al, Ti)N da Mitsubishi Materials, que possuem diâmetro de corte de $400\ \mu\text{m}$. Os sinais da força serão adquiridos por meio da utilização de um dinamômetro e amplificador de sinais da Kistler, juntamente com uma placa de aquisição da National Instruments e um computador com o *software* LabView Signal Express para leitura dos sinais. Como resultado, espera-se obter as forças de corte desenvolvidas durante o microfresamento utilizando um dinamômetro convencional.

PALAVRAS-CHAVE: microusinagem, microfresamento, forças de corte, aço inoxidável

STUDY OF CUTTING FORCES IN AISI 316L AUSTENITIC STAINLESS STEEL MICROMILLING

ABSTRACT: In micromachining processes the thickness and radius of the cutting edge have major influences on the forces developed during the cutting process. When the cutting thickness is less than the minimum, chip formation occurs along a rounded cutting edge due to the comparable size between the thickness and radius of cutting edge, resulting in a nonlinear increase in specific energy. Due to the influence of thickness and radius of cutting edge on the force developed in micromachining processes,

studies of the behavior of these forces are being developed to improve understanding of the cutting process that occurs in micromachining. In order to contribute to the knowledge about this process, the work will study the cutting forces developed in the micro milling of austenitic stainless steel AISI 316L. For this it will be used WC microtools coated with (Al, Ti) N from Mitsubishi Materials, with a diameter of 400 μm . Force signals will be acquired using a Kistler dynamometer and signal amplifier, along with a National Instruments acquisition board and a computer with LabView Signal Express software for signal reading. As a result, it is expected to obtain the cutting forces developed during the micromilling using a conventional dynamometer.

KEYWORDS: micromachining, micromilling, cutting force, stainless steel

1 | INTRODUÇÃO

Nos processos de microusinagem a redução da espessura de corte não possui o mesmo efeito nas forças de corte quando comparado com os processos convencionais, as quais são diretamente influenciadas pela formação do cavaco (CHENG; HUO, 2013; CHAE, PARK; FREIHEIT, 2006).

Com relação as forças de corte o efeito da espessura é incerto, ao mesmo tempo que a força é elevada devido ao aumento da seção transversal do cavaco, a mesma é reduzida, uma vez que nesta condição o ângulo de saída efetivo da ferramenta se torna mais positivo, o que diminui a ocorrência do *ploughing* (Bissacco; Hansen; De Chiffre, 2005).

A diminuição não proporcional entre a força e a espessura de corte tem como consequência o aumento na energia específica, a qual é definida como a quantidade de energia consumida na remoção de um volume unitário de material e é determinada pela razão entre a potência de corte e taxa de remoção (Cheng; Huo, 2013).

Nos processos de microusinagem devido ao tamanho comparável entre a espessura e o raio da aresta de corte, a formação do cavaco ocorre ao longo de uma aresta de corte arredondada. Isto faz com que um grande volume de material seja deformado plasticamente para que somente uma pequena parte seja transformada em cavaco, tendo como resultado um aumento não linear da energia específica de corte. Isto ocorre quando a espessura de corte é menor que a mínima, o que leva a ocorrência dos fenômenos do atrito e do *ploughing*, que aumentam a quantidade de energia dissipada no processo, mas não contribuem com a remoção de material (Chae; Park; Freiheit, 2006; Ng Et al., 2006).

É importante determinar as forças de corte teoricamente por meio de modelos que são desenvolvidos para prever a potência de corte necessária na usinagem (Machado et al., 2011). Sendo assim, o modelo analítico das forças de corte dos processos de usinagem convencionais, baseado na seção transversal de um cavaco

a ser retirado, foi refinado para os processos de microusinagem ao ser acrescentado a parcela referente a ocorrência do *ploughing*. Na Equação 1.1 tem-se o modelo utilizado na microusinagem, onde a força de corte (F_c) é dada em função da pressão específica de corte (k_s), da área da seção transversal de um cavaco a ser formado, a qual é determinada pelo produto da largura de corte (b) pela espessura de corte (h), além da contribuição do *ploughing*, dada pelo produto do coeficiente da aresta de corte (k_e) pela largura de corte (b) (Cheng; Huo, 2013).

$$F_c = k_s b h + k_e b \quad 1.1$$

Diante das influências da espessura e do raio da aresta de corte na força de corte para os processos de microusinagem, estudos do comportamento das forças estão sendo desenvolvidos para melhorar o entendimento dos processos de microusinagem, uma vez que as forças estão correlacionadas com o desgaste das microferramentas de corte e com a estabilidade do processo (Cheng; Huo, 2013; Jin; Altintas, 2013). Nestes estudos são encontrados modelos numéricos, analíticos, e simulações por elementos finitos para determinação das forças (Araujo; Mougo; De Oliveira Campos, 2013; Yuan et al., 2018).

Um exemplo da aplicação de modelagem analítica foi apresentado no trabalho de Kang et al. (2007). Neste os autores desenvolveram um modelo analítico para prever as forças de corte desenvolvidas em uma microfresa de topo, considerando o raio da aresta de corte da ferramenta. Os resultados obtidos pelo modelo foram validados a partir da realização do microfresamento da liga de alumínio Al7075, com microfresas de metal duro de 200 μm de diâmetro.

Como resultado os pesquisadores observaram que ao considerar o raio da aresta de corte no modelo, os resultados obtidos para a força na direção normal não foram tão superiores aos valores das forças na direção do avanço, sendo este resultado diferente dos encontrados nos processos de usinagem convencional e em trabalhos de microfresamento que desenvolveram modelagem das forças de corte, porém, não consideraram o efeito do raio da aresta de corte da microferramenta. A explicação para a pequena diferença encontrada entre as forças, nestas duas direções, foi dada pela atuação de uma força de atrito, causada pelo contato entre a ferramenta e a peça de trabalho na superfície de folga. Além disso, foi concluído que as forças de corte previstas pelo modelo foram consistentes com as encontradas experimentalmente.

Já Afazov, Ratchev e Segal (2010) utilizaram do método de elementos finitos (finite element method - FEM) para prever as forças de corte durante o microfresamento do aço AISI 4340. Os autores desenvolveram um modelo analítico para determinação da espessura de corte, considerando a trajetória da ferramenta para diferentes

parâmetros de usinagem (avanço, velocidade de corte, raio da aresta de corte e a quantidade de arestas das microfresas), além de levar em conta a ocorrência de batimento radial. Com base no modelo de elementos finitos, foi determinada uma equação não linear para representar a relação entre as forças de corte, a espessura e a velocidade de corte. Com esta relação foi possível prever as forças para cada condição de corte utilizada, isso foi confirmado pela validação dos resultados a partir de ensaios experimentais.

Com o objetivo de estudar as forças de corte desenvolvidas na microusinagem, este trabalho irá realizar análises dos sinais da força no microfresamento do aço inoxidável austenítico AISI 316L, utilizando microfresas de metal duro, revestidas com (Al, Ti)N com 400 μm de diâmetro de corte.

2 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O material de trabalho será o aço inoxidável austenítico AISI 316L. Este material foi o escolhido para a realização dos ensaios, por possuir, dentre outras características, alta resistência à corrosão e boas propriedades mecânicas, o que torna-o biocompatível. Devido a isso, o mesmo é utilizado em vários setores para a produção de microcomponentes. Assim, é extremamente necessário estudá-lo, para compreender o seu comportamento quando microusinado.

O microfresamento será o processo usado na realização dos ensaios para a fabricação de microcanais. Assim, a máquina-ferramenta utilizada será a microfresadora fabricada pela empresa Minitex Machinery Corporation® modelo CNC Mini-mill/GX. Esta possui rotação do eixo árvore máxima de 60 000 rpm. A máquina é constituída por 3 eixos com resolução de posicionamento de 0,1 μm . A mesma se encontra localizada sob uma mesa inercial, especialmente projetada para diminuir a influência de vibrações de fontes externas durante a realização da microusinagem. Na Figura 1 tem-se uma imagem da máquina-ferramenta utilizada.

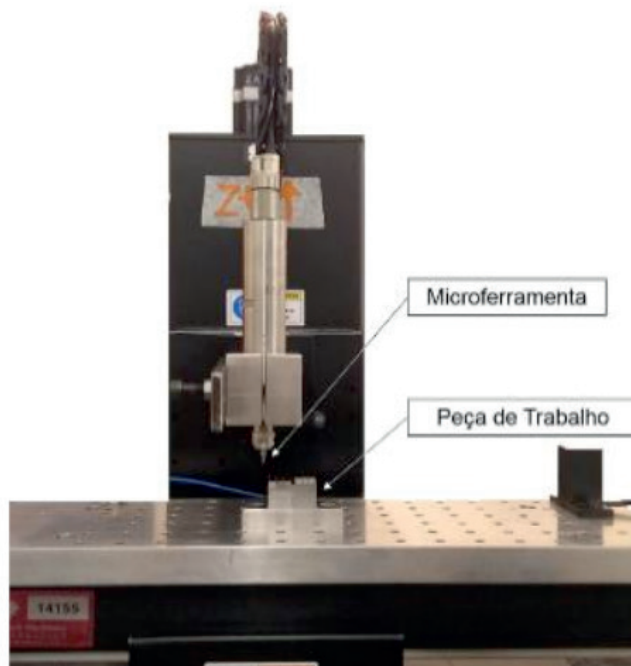


Figura 1 - Microfresadora CNC Mini-mill/GX

As microferramentas empregadas na realização dos ensaios serão microfresas inteiriças de metal duro, revestidas com (Al, Ti)N, constituídas por duas arestas de corte, fabricadas pela Mitsubishi Materials. Estas microfresas possuem diâmetro de corte (DC) igual a $400\ \mu\text{m}$, comprimentos de corte (APMX) igual a $800\ \mu\text{m}$, diâmetro (DCON) e comprimento (LF) da haste iguais a 4 mm e 40 mm, respectivamente. A Fig. 2 mostra uma ilustração das microferramentas utilizadas, com a identificação de cada parâmetro geométrico especificado.

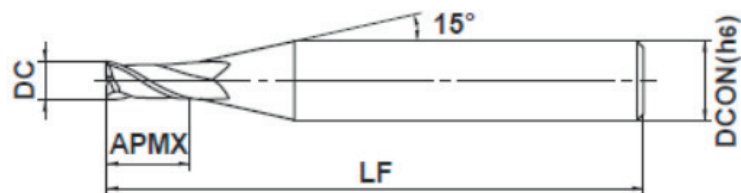


Figura 2. Parâmetros geométricos das microfresas

A aquisição dos sinais de força será realizada por meio da utilização de um dinamômetro, amplificador de sinais, placa de aquisição, apresentados na Fig. 3, e um computador com o *software* LabView Signal Express para leitura dos sinais.

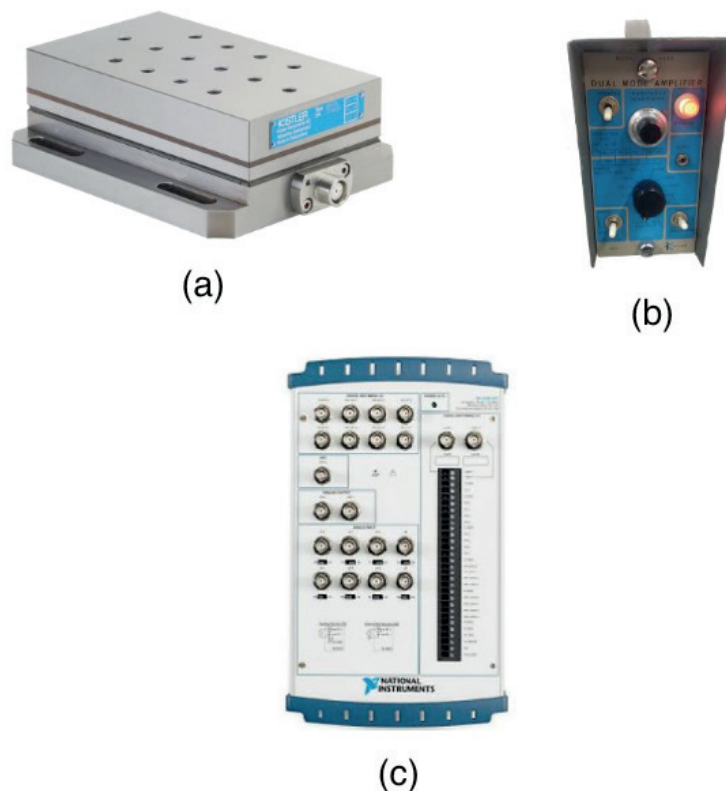


Figura 3. Equipamentos para a aquisição da força de corte (a) dinamômetro, (b) amplificador de sinais e (c) placa de aquisição

O dinamômetro utilizado será da marca Kistler do tipo 9257B, o qual possui sensibilidade igual a $7,5 \text{ pC/N}$ e frequência natural de $3,5 \text{ kHz}$. O condicionamento dos sinais da força de corte será realizado pelo amplificador de carga da marca Kistler modelo 504E e será utilizada a placa da National Instruments NI USB-6551 para realizar a conversão do sinal analógico para o digital.

Então, pela realização dos ensaios será possível desenvolver uma metodologia para medir as forças de corte desenvolvidas no microfresamento, utilizando o sistema de aquisição descrito. Além disso, por meio deste trabalho será possível estudar os efeitos dos parâmetros de corte nas forças de corte adquiridas, correlacionando-os com o efeito escala.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU, e às agências de fomento governamentais CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro. Agradecemos também à comissão organizadora do POSMEC 2019.

REFERÊNCIAS

- AFAZOV, S. M.; RATCHEV, S. M.; Segal, J. Modelling and simulation of micro-milling cutting forces. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 210, n. 15, pp. 2154-2162, 2010.
- ARAUJO, A. C.; MOUGO, A. L.; DE OLIVEIRA CAMPOS, F. Micromilling Cutting Force on Machining Aluminium Alloy. In: **8th International Conference Micromanufacturing (ICOMM)**, 2013.
- BISSACCO, G.; HANSEN, H. N.; SLUNSKY, J., Modelling the cutting edge radius size effect for force prediction in micro milling, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Vol. 57, n° 1, pp. 113–116, 2008.
- CHAE, J.; PARK, S. S.; FREIHET, T. Investigation of Micro-Cutting Operations. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Vol. 46, n° 3-4, pp. 313-332, 2006.
- CHENG, K.; HUO, D. **Micro-Cutting – Fundamentals and Applications**. Ed. Wiley, United Kingdom, 2013, 366p.
- JIN, X.; ALTINTAS, Y. Chatter stability model of micro-milling with process damping. **Journal of manufacturing science and engineering**, Vol. 135, n. 3, pp. 1-9, 2013.
- KANG, I. S.; KIM, J. S.; KIM, J. H.; KANG, M. C.; SEO, Y. W. A mechanistic model of cutting force in the micro end milling process. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 187, pp. 250-255, 2007.
- MACHADO, A. R.; SILVA, M. B.; COELHO, R.T.; ABRÃO, A.M. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2a edição. São Paulo: Blucher, 2011.
- NG, C.K.; MELKOTE, S.N.; RAHMAN, M.; KUMAR, A. S. Experimental study of micro- and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Vol. 46, n. 9, pp. 929–936, 2006.
- YUAN, Y.; JING, X.; EHMANN, K. F.; CAO, J.; LI, H.; ZHANG, D. Modeling of cutting forces in micro end-milling. **Journal of Manufacturing Processes**, Vol. 31, pp. 844-858, 2018.

SOBRE A ORGANIZADORA

Franciele Braga Machado Tullio - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço inoxidável 178, 181
Aproveitamento de costaneira 81
Argamassa de revestimento 35, 36, 42, 44, 45
Argila montmorilonítica 167, 168

C

Carga normal 68, 71, 73, 74, 75, 77, 78, 79
Cisalhamento 21, 23, 24, 27, 31, 32, 33, 34, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 203, 217
CLT 97, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157
Coeficiente de atrito 68, 71, 73, 74, 79
Comparação 7, 13, 14, 23, 40, 56, 57, 58, 61, 63, 73, 75, 77, 78, 79, 86, 133, 135, 140, 145, 206, 209, 244, 245, 247
Compartimentação horizontal 108, 110, 111, 118
Compressão 24, 25, 28, 29, 33, 48, 114, 115, 135, 137, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 164, 165, 166, 201
Concreto 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 61, 97, 117, 118, 123, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 190
Concreto armado 21, 22, 23, 33, 34, 37, 123, 148, 156, 157
Conforto acústico 45
Conforto térmico 45, 47, 50, 53, 122
Construção civil 12, 18, 22, 23, 36, 44, 45, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 57, 59, 65, 96, 97, 98, 108, 110, 128, 132, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 156, 187
Construções leves 55, 56, 60, 61, 65, 66
Corrosão 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 23, 112, 113, 181, 195
Corymbia citriodora 81, 82, 83, 84, 85, 92, 93
Cura 15, 22, 35, 43, 44, 145, 152, 156

D

Densidade 5, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 47, 51, 63, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 145, 149, 150, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 187, 190, 191, 207
Descolamento 31, 32, 33, 38, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132
Desgaste deslizante 68, 76
Detalhe construtivo 94
Durabilidade 36, 50, 56, 57, 64, 94, 96, 97, 98, 99, 103, 106, 107, 115, 122
Dureza Janka 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166

E

Eletroquímica 1, 2, 196, 197
Ensaio de caracterização 35, 39, 40, 42

Escória 35, 41, 43, 44, 188

Eucalipto 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 82, 93, 101, 136, 144, 148, 158, 159, 160, 161

F

Fachadas de edifícios 121, 123, 132

Fachadas em madeira 94, 95, 96, 100

Fiação por sopro em solução 167, 168, 169, 170, 171, 176

Flexão 10, 13, 17, 21, 24, 31, 32, 114, 135, 136, 137, 141, 142, 143, 158, 159, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 201

Forças de corte 178, 179, 180, 181, 183

Forno didático 185, 191, 192

M

Madeira 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 119, 129, 133, 134, 135, 139, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 156, 157, 158, 159, 160, 163, 164, 165, 166

Manifestação patológica 35

Materiais alternativos 19, 45, 47

Materiais compósitos de PRFC 21

Metal 1, 2, 5, 6, 178, 180, 181, 182, 206, 207, 210, 212, 213, 214, 215, 229

Microfresamento 178, 180, 181, 183

Microusinagem 178, 179, 180, 181

N

Nanofibras de sílica 167, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177

P

Painéis de madeira 11, 18, 19, 20, 81, 83, 97, 157

Parede corta-fogo 108, 119

Patologia 121, 123

Pinus 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 101, 143, 144, 145, 151

Poliamida 66 167, 168, 170, 173, 174, 175

Prática acadêmica 185

Processo de fundição 185

Projeto de revestimento 121

Proteção contra incêndio 108

R

Reforço estrutural 21, 22, 25

Resíduo de madeira 81, 92

Revestimento cerâmico 121, 122, 126, 128, 130, 132

Revestimento em madeira 94

S

Sistema construtivo em placas de silicato de cálcio 108

Solo 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 65, 100, 134, 231

T

Tecnologia de vedações verticais leves 108

Tubulação 1

V

Vermiculita 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53

Vigas 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 114, 123

W

Wood frame 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

