

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED MECHANICAL
ENGINEERING
2**

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED MECHANICAL
ENGINEERING
2**

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Collection: applied mechanical engineering 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering 2 / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-982-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.827222904>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 621

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



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied Mechanical Engineering 2” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na análise da influência dos parâmetros térmicos e estruturais da solidificação de ligas AA5052 na resistência à corrosão, análise termofluidodinâmica em trocadores de calor do tipo casco e tubo utilizando técnicas de CFD (Computational Fluid Dynamics ou dinâmica dos fluidos computacional), aparelho para exame de audiometria com Arduino, estudo de expressões matemáticas para a difusividade efetiva da água de cascas de maracujá durante a secagem, manutenção centrada em confiabilidade (RCM - Maintenance Focusing on Reliability) como estratégia para otimizar um plano de manutenção, simulação de superfícies de peças resultantes do fresamento de topo reto utilizando MATLAB ® e validação do método numérico utilizando os softwares Ansys ® e Matlab ®.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TÉRMICOS E ESTRU-TURAIIS DA SOLIDIFICAÇÃO DE LIGAS AA5052 NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO


Vinícius Pereira da Silveira
Dielson Muniz Silva
Lanna Almeida Pereira
José Roberto Pereira Rodrigues
Fabio Alejandro Carvajal Florez
Jean Robert Pereira Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229041>

CAPÍTULO 2..... 9

ANÁLISE TERMOFLUIDODINÂMICA EM TROCADORES DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO UTILIZANDO TÉCNICAS DE CFD

Lucas Vinícius da Silva Azevedo
Francisco Augusto Aparecido Gomes
Jakeline Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229042>

CAPÍTULO 3..... 23

APARELHO PARA EXAME DE AUDIOMETRIA COM ARDUINO


Camila Baleiro Okado Tamashiro
Ricardo Costa Rossi
Gabriel Moisés de Camargo
João Pedro de Paiva da Silva
João Pedro Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229043>

CAPÍTULO 4..... 29

ESTUDO DE EXPRESSÕES MATEMÁTICAS PARA A DIFUSIVIDADE EFETIVA ÁGUA DE CASCAS DE MARACUJÁ DURANTE A SECAGEM

Êmyle Myrelle Alves dos Santos
Aluizio Freire da Silva Júnior
Amélia Ruth Nascimento Lima
Josefa Dayse Lima Silva
Maria Tereza Lucena Pereira
Vera Solange de Oliveira Farias
Célia Maria Rufino Franco
Jair Stefanini Pereira de Ataíde
Luis Eduardo Araújo Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229044>

CAPÍTULO 5..... 40

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM) COMO ESTRATÉGIA PARA

OTIMIZAR UM PLANO DE MANUTENÇÃO

Esmeralda Hernandez Méndez

Miguel Ángel Rodríguez Lozada

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229045>

CAPÍTULO 6..... 53

SIMULAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE PEÇAS RESULTANTES DO FRESAMENTO DE TOPO RETO UTILIZANDO MATLAB

Leon Yuhiti Mori Correa da Cunha

Milton Luiz Polli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229046>

CAPÍTULO 7..... 61

VALIDAÇÃO DO MÉTODO NUMÉRICO UTILIZANDO OS SOFTWARES ANSYS® E MATLAB®

Marie Madeleine Sarzi Inácio

Rubens Gallo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229047>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 68

ÍNDICE REMISSIVO..... 69

CAPÍTULO 6

SIMULAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE PEÇAS RESULTANTES DO FRESAMENTO DE TOPO RETO UTILIZANDO MATLAB

Data de aceite: 01/04/2022

Leon Yuhiti Mori Correa da Cunha

Engenharia mecânica, Universidade
Tecnológica Federal do Paraná
Curitiba, Paraná, Brasil

Milton Luiz Polli

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Curitiba

RESUMO: A qualidade superficial é uma característica importante das peças usinadas, sendo que um dos principais fatores que a afetam são as vibrações que ocorrem durante o processo de usinagem. Neste trabalho é pesquisada a possibilidade de simular computacionalmente as superfícies tridimensionais de peças usinadas por fresamento topo reto que levem em conta as vibrações do processo de usinagem. Para tal foram utilizados modelos matemáticos e dados experimentais encontrados na literatura, e o programa MATLAB para simular a trajetória da ferramenta, as forças e vibrações resultantes do processo. Com esses dados foi possível criar uma representação tridimensional da superfície resultante e avaliar a sua rugosidade. Foram obtidos resultados que simularam uma superfície de uma parede de peça usinada por fresa topo reto tanto em condição de estabilidade quanto em condição de instabilidade. O resultado destas simulações estão de acordo com os dados obtidos da literatura e comprovaram a viabilidade da proposta de pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: MATLAB, simulação,

usinagem e fresamento.

SIMULATION OF WORKPIECE SURFACES RESULTING FROM END MILLING WITH MATLAB

ABSTRACT: The surface quality is an important characteristic of machine parts, with vibrations of the machining process being one of the most important factors that define the surface quality. This research was undertaken to test the viability of creating simulations of tridimensional surfaces of end-milled parts that took into account the forces and the vibrations of the milling process. For this purpose, mathematical models proposed in the scientific literature, experimental data and the MATLAB program were employed for simulating the tool path, the forces and vibrations resulting from the cutting process. With this data it was possible to create a tridimensional representation of the resulting machined surface and analyse its roughness. The results obtained in the present work simulated wall surfaces end milled in both stable cutting conditions and unstable cutting conditions. These simulations were in agreement with the data found in literature and proved the viability of the research objective.

KEYWORDS: MATLAB, simulation, machining and milling.

1 | INTRODUÇÃO

Com a chegada de ferramentas computacionais a simulação tridimensional de peças se tornou uma realidade, com o uso de *softwares* CAD (Computer Assisted Design)

CAM (Computer Assisted Manufacturing). Esses *softwares* muitas vezes por meio de modelos matemáticos conseguem simular as etapas de usinagem de uma peça e mostrar um modelo tridimensional destas ao usuário, porém este modelo geralmente é simplificado, não é levado em consideração as interações dinâmicas reais entre a peça e a ferramenta que tem resultados bem expressivos na qualidade superficial da peça, como a vibração e influência da velocidade de avanço na rugosidade. E considerando que de acordo com Niu et al (2020) o perfil da superfície é um dos aspectos mais importantes para a avaliação do processo de fresamento e que para Schmitz e Smith (2009) ainda não há um amplo entendimento sobre as dinâmicas do processo de corte foi escolhido o tema para a pesquisa.

Sendo assim, seria possível com o auxílio de modelos matemáticos e o uso de software MATLAB criar simulações de superfícies tridimensionais de uma peça que levem em consideração essas interações dinâmicas entre a peça e a ferramenta? Conseguindo dessa maneira trazer um *feedback* para o usuário, que avaliaria as forças envolvidas no processo de usinagem, a rugosidade superficial resultante e as vibrações envolvidas no processo de usinagem. E com esses dados simular a superfície da peça que permitiria uma visualização da qualidade superficial que se espera obter com os parâmetros de corte estabelecidos.

Para os parâmetros deste trabalho foi escolhido analisar o processo de fresamento de topo reto com dentes helicoidais, incluindo as forças de usinagem envolvidas, as vibrações resultantes, o caminho percorrido por cada dente e por fim reunir todos esses dados em uma matriz com coordenadas cartesianas que permitiria por intermédio do software MATLAB montar uma superfície tridimensional simulada.

2 | MÉTODO

O desenvolvimento do algoritmo de simulação foi feito através da linguagem de programação MATLAB com base na literatura encontrada em Schmitz e Smith (2009), foi escolhido um modo de simulação no domínio do tempo de caminho de ferramenta cicloidal. O primeiro passo foi definir as variáveis: coeficiente de força na direção tangencial, coeficiente de força na direção radial, constante tangencial, constante radial, rigidez, velocidade de rotação, diâmetro da ferramenta, taxa de amortecimento, frequência natural, ângulo de entrada e saída do corte, profundidade de corte, avanço por dente, número de dentes, ângulos dos dentes, ângulo de hélice, velocidade de rotação, número de revoluções a serem simuladas, número de passos ou *steps* a serem simulados por revolução e número de planos perpendiculares ao eixo Z a serem simulados do percurso da ferramenta.

Após as variáveis serem determinadas é calculado o aumento do ângulo da ferramenta para cada passo, o atraso do ângulo da ferramenta para cada altura simulada e com isso através de três *loops for* e das seguintes equações Eq. (1) e Eq. (2) é possível calcular as matrizes das coordenadas X e Y para cada dente para cada passo a ser

simulado do trajeto da ferramenta em três matrizes tridimensionais que registram a posição dos gumes de corte de cada dente em relação ao número do passo do percurso simulado.

$$surf_x(cnt1, cnt2, cnt3) = r \cdot \text{sen}(\phi) + dfeed \cdot (cnt1 - 1) \quad (1)$$

$$surf_y(cnt1, cnt2, cnt3) = r \cdot \text{cos}(\phi) \quad (2)$$

Com *cnt1* sendo o número do passo do percurso ou *step*, *cnt2* o número do dente e *cnt3* o número do plano da altura, *phi* o ângulo de imersão, *r* o raio da ferramenta em metros, *dfeed* o avanço em metros na direção *x* para cada *step* tomado. O avanço acontece somente na direção *x*.

Já a coordenada *Z* é constante para todos os *steps* e apenas muda quando é analisada outro plano da altura da ferramenta, então o cálculo de seu vetor coordenada é feito usando apenas um *loop for* e as Eq. (3) e Eq. (4).

$$db = b / (\text{steps_axial} - 1) \quad (3)$$

$$zsurf(cntz) = (cntz - 1) \cdot (db) \quad (4)$$

Com *b* sendo a profundidade de corte em metros, *steps_axial* o número de planos simulados da altura, *db* o incremento da coordenada *Z* entre cada fatia da ferramenta em metro e *cntz* o número do plano da ferramenta.

Com esses três vetores calculados tem-se coordenadas cartesianas do caminho da ferramenta para todos os pontos que serão simulados em relação a qual *step*, número de dente e número de plano. Pode-se então avançar para o próximo passo que é o cálculo das forças de corte envolvidas e da vibração resultante desta.

O cálculo das forças de corte é feito para cada *step* através da espessura aproximada do cavaco, para determinar essa espessura é calculada a distância entre o ponto C e o ponto D, com o ponto C sendo a coordenada do ponto a ser simulado do dente e o ponto D a interpolação entre dois pontos da passagem do dente anterior cujo os ângulos limitam o ângulo de C, como mostrado na Fig. 1.

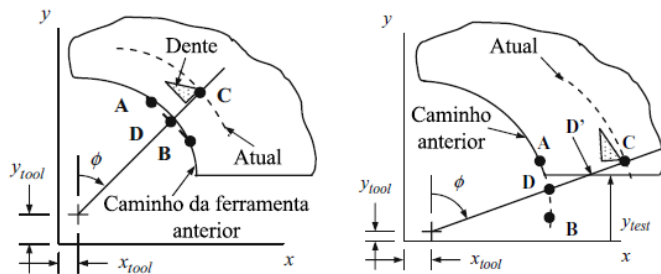


Figura 1 – Trajetória dos dentes da ferramenta durante (esquerda) e saída (direita) do corte.

Fonte: Schmitz e Smith (2009).

Caso haja redução na espessura do cavaco ocasionada na entrada ou saída do corte pode-se calcular a espessura do cavaco determinado um novo ponto D', que substitui o ponto D ou o ponto C dependendo qual deles se situa fora da fronteira de corte. Com a espessura do cavaco obtida pode-se calcular as forças de corte tangenciais e normais de cada dente para cada *step* usando a Eq. (5) e Eq. (6).

$$F_t = K_t \cdot db \cdot h + K_{te} \cdot db \quad (5)$$

$$F_n = K_n \cdot db \cdot h + K_{ne} \cdot db \quad (6)$$

Com F_t sendo a força tangencial em Newtons, F_n a força radial em Newtons, db o incremento da coordenada Z entre cada fatia da ferramenta em metro, h a espessura do cavaco em metros, K_t o coeficiente de força na direção tangencial em N/m², K_n o coeficiente de força na direção radial em N/m², K_{te} a constante tangencial em N/m e K_{ne} a constante radial em N/m.

Usando as forças radiais e tangenciais para cada dente envolvido no corte durante o *step* analisado pode-se calcular as forças na direção X e na direção Y para cada dente usando a Eq. (7) e Eq. (8).

$$F_x = F_t \cdot \cos(\phi) - F_n \cdot \sin(\phi) \quad (7)$$

$$F_y = F_t \cdot \sin(\phi) - F_n \cdot \cos(\phi) \quad (8)$$

Com F_x a força na direção X e F_y a força na direção Y.

Somam-se então as forças F_x de todo os dentes envolvidos no corte para o *step* analisado em um vetor denominado Forcex que armazena o valor das forças resultantes na direção X para cada *step* do percurso da ferramenta, o mesmo é feito com as forças F_y em um vetor denominado Forcey, esses vetores serão utilizados para o cálculo do deslocamento causado pelas forças de corte.

O deslocamento causado pela força é calculado por uma solução no domínio do tempo proposta por Tlustý e Ismail (1981) estas são resolvidas iterativamente pelo método de Euler para X e Y. As acelerações são calculadas a partir das forças para cada grau de liberdade e duplamente integradas para se chegar aos deslocamentos da ferramenta usando as Eq.(9), Eq.(10), Eq.(11) Eq.(12) e Eq.(13).

$$x'' = (F_x - c_x \cdot x' - K_x \cdot x) / m_x \quad (9)$$

$$x' = x'' \cdot dt + x' \quad (10)$$

$$x = x' \cdot dt + x \quad (11)$$

$$c_x = 2 \cdot \zeta \omega_x \cdot \sqrt{m_x \cdot K_x} \quad (12)$$

$$m_x = K_x / \omega_x^2 \quad (13)$$

Com dt sendo o tempo entre *steps* em segundos, ζ sendo a razão de amortecimento, ω_x a frequência natural em rad/s, K_x a rigidez em N/m. Equações

similares são usadas para o deslocamento em Y.

Com as coordenadas X e Y em matrizes tridimensionais que registram a posição dos gumes de corte de cada dente em relação ao número do *step* do percurso simulado, número do dente e qual fatia da altura da ferramenta. Com essas matrizes é feito um processamento de dados para extrair os pontos das coordenadas que compõem a superfície da peça usinada, primeiro é selecionado os pontos que estão mais próximos à superfície da peça, depois todos os pontos são organizados em ordem ascendente em relação ao eixo X, em seguida é usado um *loop* que compara os valores da coordenada Y dos dois próximos pontos e mantém apenas o maior destes dois pontos, o processo é repetido até que se mantenha apenas os valores em uma matriz bidimensional que compõem uma superfície simulada da peça, isso é feito para todas as fatias que compõem as diversas alturas no eixo Z do percurso da ferramenta.

Com as coordenadas em X, Y e Z que representam a superfície simulada resultante do processo de fresamento analisado é possível simular rugosidade Ra em micrômetros dessa superfície calculando a média dos picos e vales da coordenada Y pelo percurso simulado.

Utilizando as matrizes de coordenadas que representam a superfície de uma peça usinada é possível processá-los em dados que possam ser inseridos em uma função *surf* que montará uma superfície tridimensional, para isso primeiro transforma-se as três matrizes coordenadas X, Y e o vetor de Z em vetores coordenadas classificados pelo *step*, então é usada a função *linspace* para os valores mínimo e máximo de X, o mesmo é feito para os valores mínimo e máximo de Z, isso cria dois vetores de pontos equidistantes entre esses valores. Esses vetores então são usados para criar matrizes de pontos equidistantes usando a função *meshgrid* que então são usadas como pontos de consulta para a função *griddata* que interpola os pontos dos vetores X, Y e Z resultando em uma matriz de pontos que representam as alturas em Y em relação aos valores de X e Z. Essa matriz de Y juntamente com os vetores X e Z são utilizados com a função *surf* para gerar uma simulação tridimensional da superfície da peça usinada.

Para validar os resultados das simulações foram empregados os dados experimentais de Zhongqun e Qiang. (2008), onde coeficiente de força tangencial $K_t = 796 \text{ N/mm}^2$, coeficiente de força radial $K_n = 168 \text{ N/mm}^2$, constante tangencial $K_{te} = 27,7 \text{ N/mm}$ e constante radial $K_{tn} = 13,5 \text{ N/mm}$, com parâmetros modais a seguir:

Direção	Frequência natural (Hz)	Razão de amortecimento	K ou Rigidez (N/m)
X	1198	0,041	$1,20 \cdot 10^7$
	1389	0,048	$1,30 \cdot 10^7$
	1589	0,027	$3,70 \cdot 10^6$
Y	1214	0,071	$1,24 \cdot 10^7$
	1428	0,049	$1,52 \cdot 10^7$
	1591	0,031	$3,56 \cdot 10^6$

Tabela 1 – Dados.

Fonte: Zhongqun e Qiang (2008).

3 I RESULTADOS

A Fig. 2 representa a superfície simulada na parede da peça em situação de estabilidade, ou seja, as vibrações tiveram pequena amplitude, para uma rotação de 15900 rpm, diâmetro de ferramenta de 12 mm, com 2 dentes, profundidade de corte de 0,8mm e imersão radial de 12 mm. A Fig. 3 mostra as forças e deslocamentos vibracionais para essa condição. A Fig. 4 representa a simulação em situação de instabilidade, onde foi usada uma rotação de 13500 rpm, profundidade de corte de 0,3 mm e mesma ferramenta. Os resultados destas simulações estão de acordo com os obtidos experimentalmente por Zhongqun e Qiang. (2008).

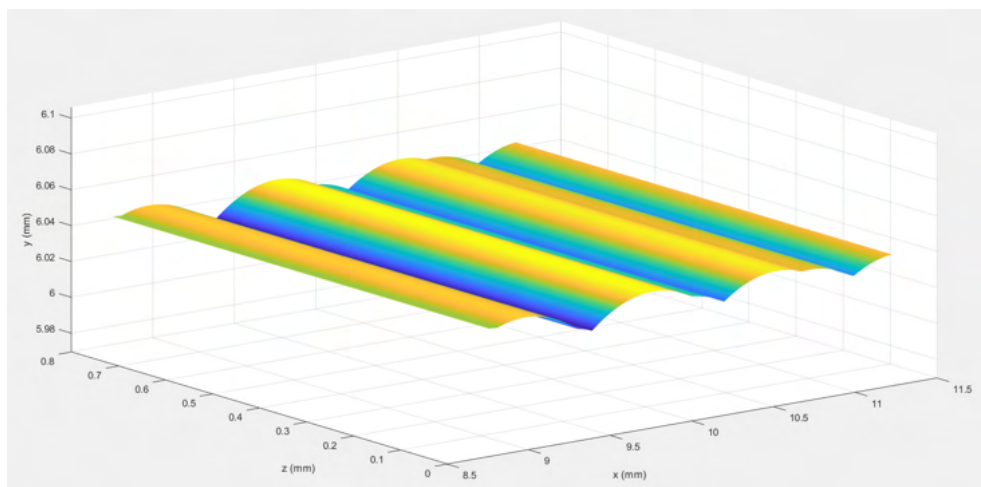


Figura 2 – Superfície simulada para uma condição estável $Ra\ 3.10\ \mu m$.

Fonte: Autoria própria (2021).

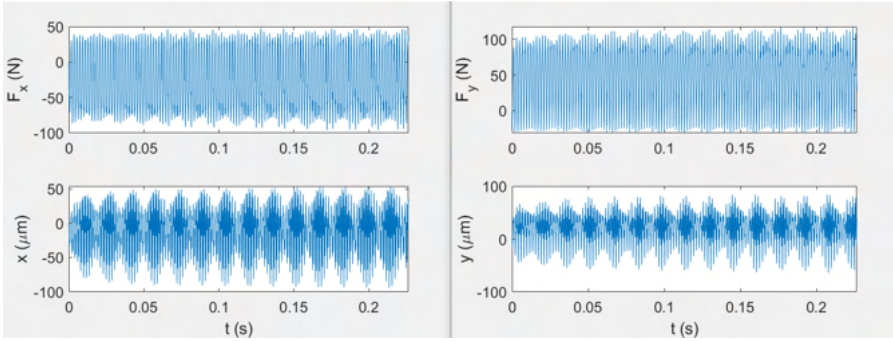


Figura 3 – Forças e deslocamentos para uma condição estável.

Fonte: Autoria própria (2021).

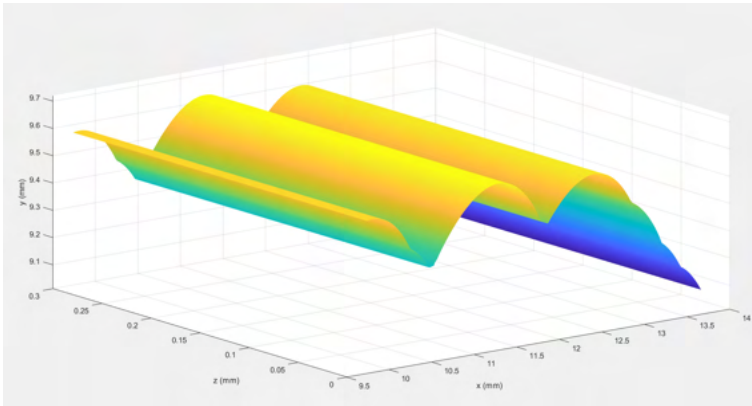


Figura 4 – Superfície simulada para condição instável.

Fonte: Autoria própria (2021).

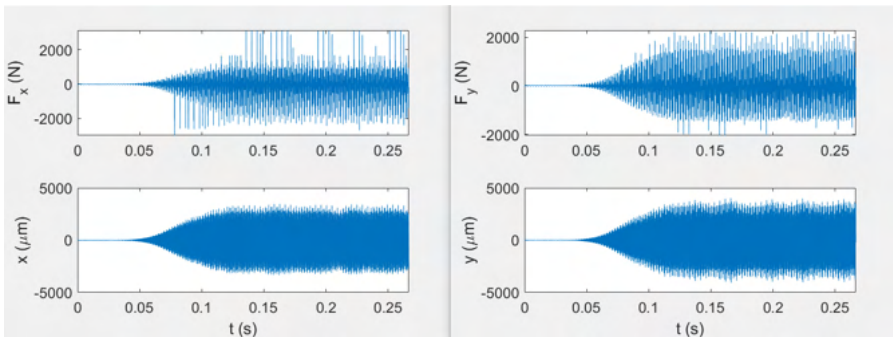


Figura 5 – Forças e deslocamentos para uma condição instável.

Fonte: Autoria própria (2021).

Na primeira simulação houve uma vibração realista com um Ra similar ao esperado por um processo nessas condições, já no segundo em situações reais provavelmente haveria a quebra da ferramenta, pois a vibração foi de uma grande amplitude.

4 | CONCLUSÃO

Pode-se observar com os resultados que é possível gerar superfícies tridimensionais que levam em consideração as vibrações do processo de fresamento topo reto utilizando dos modelos matemáticos propostos por Schmitz e Smith (2009) e Tlusty e Ismail (1981), e essas simulações funcionam tanto em condições de estabilidade quanto de extrema vibração.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento são prestados a Fundação Araucária pelo apoio financeiro, a UTFPR campus Curitiba, ao professor Milton Luiz Polli e a meus pais.

REFERÊNCIAS

SCHMITZ, T. L.; SMITH, K. S.. **Machining Dynamics frequency response to improved productivity**. New York: Springer, 2009.

TLUSTY, J.; ISMAIL, F. Basic Nonlinearity in Machining Chatter. **Annals of the CIRP**, v. 30, n. 1, p. 299-304, 1981.

ZhongQu, L.; QIANG, L.. Solution and analysis of charter stability for end milling in the time domain. **Chinese Journal of Aeronautics**, v.21, p. 169-178, 2008.

Niu, J.; Jia, J.; Sun, Y.; Guo, D.. Generation mechanism and quality of milling surface profile for variable pitch tools considering the runout. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v.142(12), p. 1-35, 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumínio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14

Arduino 23, 24, 25, 27

C

Casco e tubo 9, 15

CFD - Computational Fluid Dynamics 9, 22

Confiabilidade 40

Corrosão 1, 2, 4, 5, 6, 7

E

Educação 23, 29, 68

F

Fresamento 53, 54, 57, 59, 67

I

Impedância 1, 4, 6, 7

M

Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM 40

MATLAB 53, 54, 65

Método direto 61, 62, 66

Método dos volumes finitos 21, 30, 32, 38

Modelos difusivos 30, 31, 35

O

OpenFOAM 9, 10, 13, 14, 21, 22

Otimização 30, 34, 36, 38

R

Robótica 23, 25

S

Saúde 23, 24, 25, 27, 29, 68

Simulação 10, 13, 15, 19, 21, 30, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 63, 65

Simulação numérica 21, 61

Solidificação 1, 2, 3, 5

Solução numérica 29, 30, 31, 32, 33, 34

T

Transferência de calor 9, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 39, 61, 62, 65, 66, 67

Trocador de calor 9

U

Usinagem 53, 54, 67

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING 2


Ano 2022

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING 2