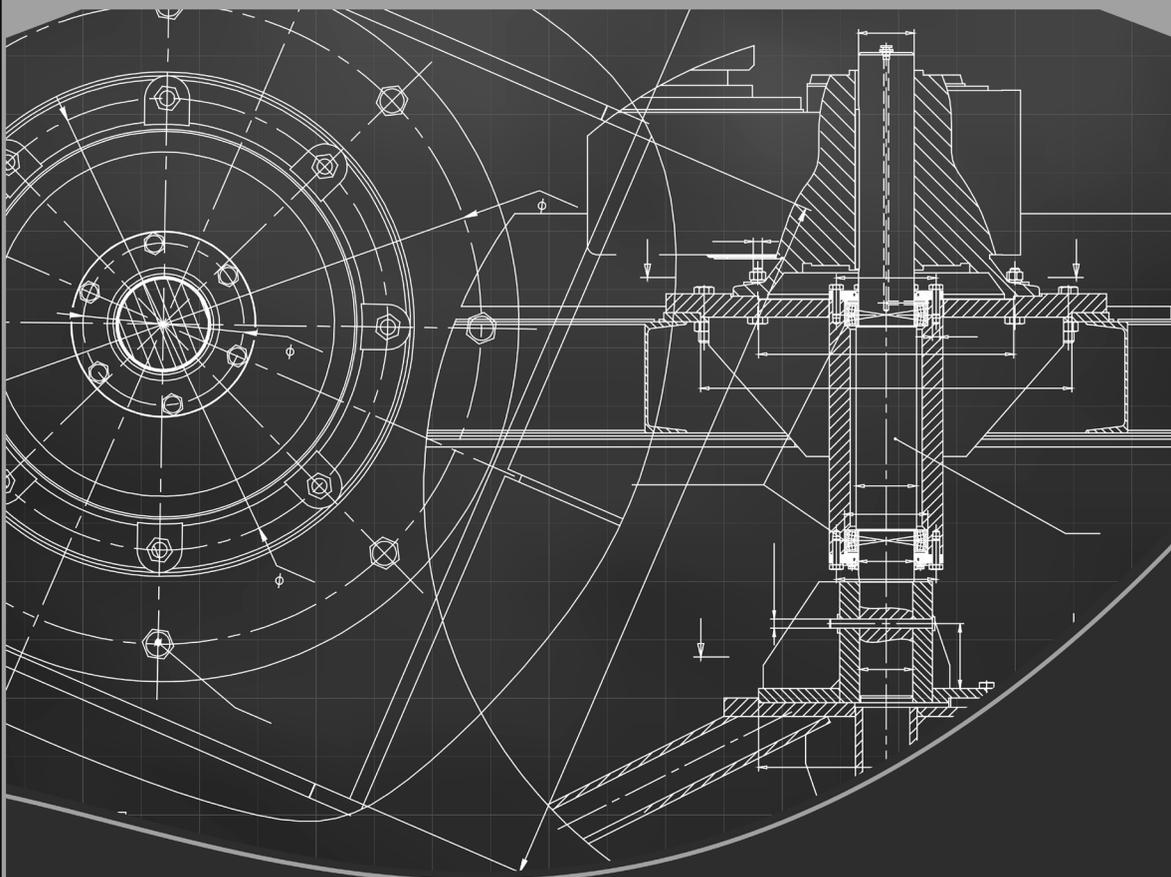


# Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas  
e motores no cotidiano do homem

2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

**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

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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.

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 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  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – 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. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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  
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 Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
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  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
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 Miraniide 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. 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  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza 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. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
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  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
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 Albornoz – 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/UFGA  
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lúvia 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
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  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
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

# Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-117-3

DOI 10.22533/at.ed.173211806

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. 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](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## 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.

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA COM RESINA SINTÉTICA EM COMPÓSITOS**

Rúi Carlos de Sousa Mota

José Ubiragi de Lima Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.1732118061**

### **CAPÍTULO 2..... 18**

#### **CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE PIAÇAVA (*ATTALEA FUNIFERA*) PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES**

Alexandre Silva de Moraes

Vitor da Silva Lacerda

Alberto Matheus Freitas Oliveira

Ana Claudia Rangel da Conceição

Carlos Alberto França Junior

Victor Antunes Silva Barbosa

Mirtânia Antunes Leão

**DOI 10.22533/at.ed.1732118062**

### **CAPÍTULO 3..... 34**

#### **STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A NOSE LANDING GEAR FOR CESSNA 172 AIRPLANE**

Raphael Basilio Pires Nonato

Alexander Dias Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.1732118063**

### **CAPÍTULO 4..... 49**

#### **AVALIAÇÃO DO GRAU DE SENSITIZAÇÃO E O APARECIMENTO DE FASES INTERMETÁLICAS EM TRECHO DE TUBULAÇÃO DE FORNO DE COQUEAMENTO RETARDADO**

Thiago Batista David

Erike Wilker Arruda Figueredo

Fillipe Stephany de Souza Virgolino

Luiz Adeildo da Silva Junior

Moisés Euclides da Silva Junior

**DOI 10.22533/at.ed.1732118064**

### **CAPÍTULO 5..... 60**

#### **FABRICAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7013 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**

Enéas Carlos de Oliveira Silva

Eduardo José Silva

Thiago Batista David

Moisés Euclides da Silva Junior

Oscar Olimpio de Araujo Filho

**DOI 10.22533/at.ed.1732118065**

**CAPÍTULO 6..... 78**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7009 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**

Enéas Carlos de Oliveira Silva  
Eduardo José Silva  
Thiago Batista David  
Moisés Euclides da Silva Junior  
Oscar Olimpio de Araujo Filho

**DOI 10.22533/at.ed.1732118066**

**CAPÍTULO 7..... 96**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA8011 ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**

Sandra Torres Zarzar  
Diogo Monteiro do Nascimento  
José Endreo Baracho da Costa  
Moisés Euclides da Silva Junior  
Oscar Olimpio de Araujo Filho

**DOI 10.22533/at.ed.1732118067**

**CAPÍTULO 8..... 111**

**METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS ASSOCIADOS À APLICAÇÃO DE SOLDAGEM EM TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

Wagner Gutemberg Cavalcanti da Silva  
Felipe Leandro dos Santos  
Helen Rodrigues Araújo  
Marcio Rolemberg Freire  
Moisés Euclides da Silva Junior

**DOI 10.22533/at.ed.1732118068**

**CAPÍTULO 9..... 126**

**APLICAÇÃO DE MQL NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 4340 COM INSERTO DE METAL DURO TEXTURIZADO A LASER E REVESTIDO DE TiAIN**

Rhander Viana  
Milton Sérgio Fernandes de Lima  
Paulo Vinícius da Silva Resende

**DOI 10.22533/at.ed.1732118069**

**CAPÍTULO 10..... 142**

**ESTUDO DO GRADIENTE DE TEMPERATURA DURANTE O FRESAMENTO DO AÇO AISI 4340 UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Nicollas Vivaldini  
Rodrigo Henriques Lopes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.17321180610**

**CAPÍTULO 11 ..... 150**

**IDENTIFICAÇÃO DO MOMENTO IDEAL DE TROCA DE FERRAMENTAS DE CORTE ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DO DESGASTE POR SINAL DE VIBRAÇÃO E**

## **INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Lucas Costa Brito

Márcio Bacci da Silva

Marcus Antonio Viana Duarte

**DOI 10.22533/at.ed.17321180611**

## **CAPÍTULO 12..... 165**

### **METROLOGIA PARA ENGENHARIAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROJETO METROLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE CONCEITOS**

Lisiane Trevisan

Daniel Antonio Kapper Fabricio

**DOI 10.22533/at.ed.17321180612**

## **CAPÍTULO 13..... 175**

### **POTENCIAL ECONÔMICO E ENERGÉTICO DO APROVEITAMENTO DO CALOR REJEITADO POR CONDICIONADORES DE AR**

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Felipe Perissé Duarte Lopes

Carlos Maurício Fontes Vieira

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.17321180613**

## **CAPÍTULO 14..... 184**

### **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO REGIME DE TRABALHO DE REFRIGERADOR DE GRÃOS INTEGRADO A TUBOS CANADIANOS**

Eduarda Silva Costa

Matheus Júnio Souza da Silva

Ramiro de Matos Bertolina

Thiago Ferreira Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.17321180614**

## **CAPÍTULO 15..... 193**

### **DIMENSIONAMENTO DE CARGA TÉRMICA DE CONDICIONARES DE AR NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE A NR 17 E NBR 16401**

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Márcio Paulo Bonifácio das Neves

André Luiz Vicente de Carvalho

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.17321180615**

## **CAPÍTULO 16..... 205**

### **AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE UM VEÍCULO AUTOMOTOR PERTENCENTE À FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT**

Roberta Daniela de Souza

Marcelo Dias de Souza

Jonathan Willian Zangeski Novais

**DOI 10.22533/at.ed.17321180616**

**CAPÍTULO 17..... 211**

**AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE UM VEÍCULO BAJA**

Arthur Barroso Costa

João Lucas Moura Ferreira

Igor Antunes Ferreira

Luiz Gustavo Monteiro Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.17321180617**

**CAPÍTULO 18..... 234**

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DO USO DA AUTOMAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL**

Igor Moreno Mamedes

Andrea Teresa Riccio Barbosa

**DOI 10.22533/at.ed.17321180618**

**CAPÍTULO 19..... 245**

**PRINCIPAIS PARÂMETROS DE DESEMPENHO EMPREGADOS PELAS EMBARCAÇÕES DE PEQUENO PORTE MOVIDAS A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO DESAFIO SOLAR BRASIL**

David Coverdale Rangel Velasco

Valter Luís Fernandes de Sales

**DOI 10.22533/at.ed.17321180619**

**CAPÍTULO 20..... 255**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL**

David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas

Rodrigo Martins Fernandes

**DOI 10.22533/at.ed.17321180620**

**CAPÍTULO 21..... 268**

**SINTONIA DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA COM REDES NEURAIS**

Tiago Luís Andrade Pereira

Anderson Daleffe

**DOI 10.22533/at.ed.17321180621**

**CAPÍTULO 22..... 284**

**COMPARISON OF STRAIN AND LOAD OBTAINED VIA STRAIN GAGE BY WIRE AND WIRELESS TRANSMISSIONS**

Raphael Basilio Pires Nonato

Luiz Carlos Gomes Sacramento Júnior

Leonardo Ferreira Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.17321180622**

<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>300</b>
<b>SISTEMA AUTOMATIZADO DESTINADO À ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS DE PEQUENO PORTE</b>	
Eliezer Silva Bonfim de Jesus	
Guilherme de Souza Carneiro Meireles	
Josedacson Barbosa de Lacerda	
Kevin Ruan dos Reis Oliveira	
Rúi Carlos de Sousa Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.17321180623</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>307</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>308</b>

## APLICAÇÃO DE MQL NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 4340 COM INSERTO DE METAL DURO TEXTURIZADO A LASER E REVESTIDO DE TiAlN

*Data de aceite: 01/06/2021*

*Data de submissão: 29/03/2021*

### **Rhander Viana**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB-FGA,  
Área Especial de Indústria Projeção A, Setor  
Leste, Gama  
Brasília-DF  
<http://lattes.cnpq.br/5270141650315822>

### **Milton Sérgio Fernandes de Lima**

Instituto de Estudos Avançados (IEAv-CTA)  
São José dos Campos-SP  
<http://lattes.cnpq.br/2656804839083572>

### **Paulo Vinícius da Silva Resende**

Instituto Federal de Goiás (IFG), Campus  
Goiânia, Setor Central  
Goiânia-GO  
<http://lattes.cnpq.br/7662245385672395>

**RESUMO:** A texturização a laser de superfícies é um método atualmente muito popular, a sua aplicação resulta em diversos benefícios em diferentes áreas, como a área de metal mecânica, especificamente, a usinagem. Na usinagem a texturização a laser pode aumentar a vida de ferramentas de corte por aumentar a adesividade dos revestimentos cerâmicos sobre o substrato. Além disso, a textura ordenada da superfície pode alterar a interação entre a ferramenta e a peça na zona de corte, tanto para a usinagem a seco quanto para usinagem com fluido de corte. O objetivo deste trabalho consiste em comparar

por meio de ensaios de vida de ferramentas e acabamento superficial da peça usinada no torneamento do aço SAE 4340 a seco e com aplicação de fluido de corte por jorro e MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante), insertos de metal duro da classe ISO P modificados superficialmente, por meio de texturização a laser e jateamento, e posteriormente revestidos de TiAlN (Nitreto de Titânio). Os resultados mostraram um melhor desempenho nos ensaios de vida dos insertos texturizados por jateamento, e um melhor acabamento da peça torneada com a utilização do revestimento TiAlN, tanto para o substrato jateado quanto texturizado a laser em relação a ferramenta sem revestimento. A aplicação de fluido de corte por MQL mostrou-se eficiente nos ensaios de vida, aumentando a vida das ferramentas, excepcionalmente, na ferramenta TiAlN-jateada. Nos ensaios de acabamento superficial, medição da rugosidade média aritmética (Ra), a aplicação de MQL não se mostrou eficiente. A caracterização superficial por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) mostrou que a ferramenta TiAlN-laser sofreu um destacamento precoce do revestimento, o que provavelmente justifica o seu pobre desempenho nos ensaios de vida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Laser, texturização, mql, torneamento, TiAlN.

## MLQ APPLICATION IN SAE STEEL TURNING 4340 WITH TEXTURIZED CARBIDE INSERT LASER AND TiAlN COATING

**ABSTRACT:** Laser surface texturing has become popular method in recent years, its application results in several benefits in different fields, such as machining. In machining, laser texturing can increase the life of cutting tools by increasing the adhesion of ceramic coatings on the substrate. In addition, the ordered texture of the surface can change the interaction between the tool and the part in the cutting zone, both for dry and for cutting fluid machining. The goal of this work is to compare through tool life tests and surface finishing of the machined part in dry turning of SAE 4340 steel and with application of flood cutting fluid and MQL (Minimum Quantity Lubrication), surface modified carbide inserts of ISO P grade by means of laser texturing and blasting, and then coated with TiAlN (Titanium Aluminium Nitride). The results showed a better performance in the life tests of the blasted textured inserts, and a better finish of the turned part with the use of the TiAlN coating, both for the sandblasted and laser textured substrate in relation to the uncoated tool. The application of cutting fluid by MQL proved to be efficient in life tests, increasing the tool life, exceptionally, in the TiAlN-sandblasted tool. In surface finishing tests, measuring the average arithmetic roughness (Ra), the application of MQL was not efficient. The superficial characterization by SEM (Scanning Electron Microscopy) showed that the TiAlN-laser tool suffered an early detachment of the coating, which probably justifies its poor performance in life tests.

**KEYWORDS:** Laser, texturing, mql, turning, TiAlN.

### 1 | INTRODUÇÃO

Os revestimentos cerâmicos compostos por carbeto ou nitretos de metais de transição, tais como TiC (Carbeto de Titânio), TaC (Carbeto de Tântalo), NbC (Carbeto de Nióbio), TiN (Nitreto de Titânio), TiCN (Carbonitreto de Titânio) e TiAlN (Nitreto de Titânio Alumínio), propiciam proteção ao desgaste, resistência ao calor, resistência a corrosão, boa adesão ao substrato, exibem elevada dureza e são aplicados em componentes mecânicos, ferramentas de corte, como revestimentos ópticos e decorativos. (Suh *et al.*, 2003)

Em virtude da grande aplicabilidade industrial dos revestimentos, há uma necessidade crescente em compreender as propriedades fundamentais desses filmes duros, e como eles agem na proteção de uma superfície.

O estudo dos revestimentos tem um aspecto multidisciplinar, pois envolve o conhecimento de suas propriedades químicas, físicas e tribológicas. (Santos, 2002)

A diferença no desempenho de ferramentas de corte revestidas e ferramentas sem revestimentos é resultado da interação entre essas propriedades, que, provavelmente, modificam a região de interface cavaco-ferramenta, aumentando o desempenho da ferramenta revestida. Na necessidade de entender como os revestimentos modificam o desempenho das ferramentas de corte é importante que o revestimento seja analisado tanto em ensaios de usinagem quanto em ensaios que possam caracterizar sua morfologia, sua microestrutura e principalmente sua adesividade sobre o substrato.

A atuação do revestimento depositado sobre a superfície da ferramenta em suportar mudanças constantes nas solicitações mecânicas e térmicas do processo de usinagem, dependerá, sobretudo, de uma boa adesividade sobre o substrato. Uma adesividade adequada do revestimento é muito importante, pois a ferramenta com revestimento com adesividade insuficiente pode se comportar pior que aquela sem revestimento. A formação de partículas duras e abrasivas, resultantes da destruição prematura do revestimento, acelera o desgaste das superfícies que estão em contato. (Lima *et al.*, 2005)

Daí advém à importância de se ter novos processos de deposição disponíveis, um melhor controle do processo de deposição, das fontes de suprimento dos materiais que constituem o revestimento, materiais de substrato com propriedades que ofereçam menor discrepância com as propriedades do revestimento e mesmo técnicas que possam modificar fisicamente o substrato sem alterar significativamente suas propriedades mecânicas para melhorar a adesividade na interface substrato/revestimento.

O desenvolvimento de substratos de ferramentas com propriedades compatíveis com as propriedades do revestimento podem ser uma boa alternativa para melhorar a adesividade do revestimento sobre o substrato. Mas deve-se atentar, por exemplo, ao fato de que um aumento de dureza do substrato para se aproximar da dureza do revestimento, obtendo-se assim menor discrepância entre essas propriedades, pode ocasionar um efeito um tanto indesejável ao substrato, que é a diminuição de sua tenacidade. (Leyland e Matthews, 2000). Isso pode ser indesejável nas ferramentas de corte para usinagem, principalmente, no corte intermitente, onde as ferramentas sofrem constantemente com os impactos na peça e solicitações de compressão e tração ao entrarem e saírem da peça, respectivamente.

Uma boa opção para aproximar as propriedades do substrato da ferramenta e do revestimento, sem causar prejuízo à tenacidade da ferramenta, é modificar as propriedades do substrato, somente em regiões próximas a interface com o revestimento. (Sun *et al.*, 1995)

Dentro deste contexto um meio atualmente difundido é a texturização a laser da superfície. Nos últimos anos, a texturização a laser tem se apresentado como uma opção competitiva para a produção de furos e ou alteração da textura superficial prévia da superfície. (Low *et al.*, 2001) Exemplos estão presentes na indústria aeronáutica, que tem empregado essa técnica em componentes de turbina (palhetas), na câmara de combustão (Corfe, 1983), e em microtecnologia, onde os problemas de lubrificação permanente de componentes miniaturizados, devido à mínima quantidade de lubrificante e à dificuldade de confiná-lo nas superfícies em contato, constituem um desafio. (Blatter *et al.*, 1999; Watanabe *et al.*, 2000)

Nos processos de usinagem, a texturização a laser é utilizada para a melhoria das propriedades de adesividade de revestimentos duros sobre superfícies de ferramentas de corte. No processo de texturização a laser, um laser de pulsos curtos e de alta taxa

de repetição provoca uma texturização advinda da formação de poças líquidas. Após a solidificação dessas poças, ocorre a formação de nanoestruturas que permitem uma melhor ancoragem do revestimento.

A interação do laser com o material é influenciada por fatores como natureza do substrato, composição e estrutura da superfície, energia, frequência e largura do pulso laser, e interação com a atmosfera. Neste processo pode ocorrer à limpeza e a texturização simultâneas do substrato, o material recebe uma quantidade de energia adicional para refundir superficialmente. Macroscopicamente, a rugosidade da superfície aumenta, em geral devido à formação de crateras oriundas da fusão e ablação do material (Lima *et al.*, 2005), o que provavelmente pode colaborar para aumentar a adesividade do revestimento no substrato.

Este meio de modificação da textura do substrato de ferramentas de corte através de feixes de laser com o intuito de melhorar a adesividade de revestimentos é relativamente novo na usinagem, e carece ainda de muitas investigações visto que são poucos os trabalhos publicados na área. Pelo seu potencial observa-se que é uma alternativa muito promissora para melhorar a adesividade de revestimentos em ferramentas de corte.

Outra frente de pesquisa relevante na usinagem nos últimos anos são os fluidos de corte e suas formas de aplicação, uma vez que são indispensáveis tecnicamente na usinagem de diversos materiais. No entanto, podem prejudicar o meio ambiente e também a saúde do operador da máquina. Consequentemente, a interação entre ferramentas texturizadas e o uso de fluidos de corte e sua forma de aplicação é outro tema interessante a se pesquisar na área de usinagem. (Machado *et al.*, 2021)

O uso de fluido de corte é significativo em qualquer operação de usinagem, para resfriar a ferramenta de corte e a superfície da peça, e/ou lubrificar a interface ferramenta-peça, e promover a remoção de cavacos da zona de corte. Recentemente, muitas pesquisas têm focado na lubrificação com mínima quantidade de lubrificante ou fluido de corte (MQL ou MQF) entre os vários métodos existentes na aplicação de um refrigerante/lubrificante. (Said *et al.*, 2019)

O MQL/MQF reduz o uso de refrigerante/lubrificante ao impelir na zona de corte uma mistura de ar comprimido e fluido de corte em quantidades reduzidas, na média até 50 ml/h. Para certas operações de usinagem, como no fresamento com ferramentas com diâmetros maiores do que 40 mm, essa quantidade pode ser maior do que 150 ml/h por um curto período de tempo (DGUV, 2010). O método MQL/MQF demonstra ser apropriado na usinagem, pois a aplicação de uma névoa fina de fluido de corte com ar comprimido na zona de corte atende às necessidades de uma usinagem “verde”, com solução ecológica e econômica. (Kamata e Obykawa, 2007; Pervaiz *et al.*, 2019; Said *et al.*, 2019).

Assim, a principal justificativa para realização deste trabalho é contribuir com novas investigações e fornecer dados que darão suporte técnico na viabilização da utilização da

texturização superficial de ferramentas de corte utilizando feixe de laser com aplicação de mínima quantidade de lubrificante.

A princípio a contribuição deste trabalho teve o intuito de avaliar o desempenho de insertos de metal duro da classe ISO P jateados e revestidos de TiAlN (Nitreto de Titânio Alumínio) utilizados comercialmente, e insertos de metal duro da classe ISO P texturizados a laser e revestidos de TiAlN por meio de ensaios de vida de ferramentas e ensaios de acabamento superficial da peça usinada no torneamento do aço SAE 4340 com aplicação de MQL, usinagem a seco e com jorro de fluido de corte. O conjugado substrato/revestimento da ferramenta foi também avaliado por meio de ensaios de microscopia e adesividade de revestimentos.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Ensaios de Vida

A metodologia para execução dos ensaios de vida foi baseada na avaliação e comparação do desempenho de insertos de metal duro da classe ISO P texturizados por laser e jateamento mediante ensaios de torneamento do aço SAE 4340. A vida da ferramenta de corte foi avaliada por meio da medição do desgaste de flanco médio ( $VB_p = 0,3$  mm) utilizando-se um estereomicroscópio Zoom 645T - Koye. Os ensaios de vida foram realizados a seco, sem aplicação de fluido de corte, com jorro e MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante) para três ferramentas testadas - sem revestimento (SR), jateada e revestida de TiAlN, e laser e revestida de TiAlN. O fluido de corte utilizado foi o Rocol Ultracut 250 HW aplicado por jorro e MQL. Na aplicação MQL foi utilizada uma vazão de 50 ml/h com pressão de 6 bar, com apenas um bico de injeção inclinado a  $45^\circ$  em relação a ponta da ferramenta, e aplicação de fluido de corte por jorro com vazão de 20 l/min.

Nos ensaios foram obtidas as médias de vida das três ferramentas testadas, para três repetições, ou seja, três arestas de corte foram utilizadas nos testes. As ferramentas utilizadas nos testes apresentam especificação CNMG 12 04 08 H13A, o revestimento de TiAlN foi depositado pela empresa Oerlikon Balzers. Os ensaios de vida foram executados em um Torno CNC modelo Diplomat Logic 195 VS. Os corpos de prova utilizados nos ensaios de vida foram tarugos cilíndricos do aço SAE 4340 com diâmetro de 50,8 mm e comprimento de 113 mm, as condições de corte utilizadas são mostradas na Tab. (1).

Nesta etapa utilizou-se também de microscopia óptica, estereomicroscópio Zoom 645T - Koye, e eletrônica de varredura (MEV), modelo MEV Jeol JSM-7000F, para a caracterização do desgaste e análise superficial das ferramentas.

Parâmetro	Valor
Velocidade de corte [m/min]	200
Avanço [mm/rotação]	0,5
Profundidade de corte [mm]	2,0
Comprimento de usinagem [mm]	50

Tabela 1 - Condições de corte utilizadas nos ensaios de vida.

Fonte: elaborado pelo autor.

## 2.2 Ensaios de Rugosidade

Os ensaios de rugosidade foram realizados utilizando-se um rugosímetro Mitutoyo modelo SJ-210. Nos ensaios foram obtidas as rugosidades médias (Ra) da superfície usinada sem aplicação de fluido de corte e com aplicação por jorro e MQL, com três medições para cada ferramenta ensaiada com varredura a 120° uma da outra. As aplicações de jorro e MQL seguem as mesmas condições dadas nos ensaios de vida, com aplicação de MQL numa vazão de 50 ml/h com pressão de 6 bar, bico de injeção inclinado a 45° em relação a ponta da ferramenta, e aplicação de fluido de corte por jorro com vazão de 20 l/min.

Os ensaios de rugosidade também foram executados no Torno CNC modelo Diplomat Logic 195 VS.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de rugosidade também eram de aço SAE 4340 com as mesmas dimensões dos corpos de prova dos ensaios de vida. As condições de corte utilizadas nos ensaios de rugosidade constam na Tab. (2).

Parâmetro	Valor
Velocidade de corte [m/min]	200
Avanço [mm/rotação]	0,1
Profundidade de corte [mm]	1,0
Comprimento de usinagem [mm]	50

Tabela 2 - Condições de corte utilizadas nos ensaios de rugosidade.

Fonte: elaborado pelo autor.

## 2.3 Análise Morfológica do Conjugado Substrato/Revestimento

As ferramentas texturizadas a laser foram modificadas com o uso de um feixe do tipo CuHBr (Hidreto de Cobre e Bromo) com potência de 4 W, desenvolvido pelo Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) em São José dos Campos.

Para a análise morfológica dos conjugados substratos/revestimentos foram realizados ensaios de microscopia óptica e confocal a laser. O objetivo do ensaio de microscopia óptica foi caracterizar a superfície dos conjugados quanto às diferenças macroscópicas existentes nas texturas laser e jateada. O equipamento utilizado nessa análise foi um estereomicroscópio Zoom 645T - Koye.

Já o ensaio de Microscopia Confocal a Laser teve como objetivo estudar de forma mais realística e precisa as características das superfícies das ferramentas texturizadas e revestidas, com a utilização de um microscópio óptico Zeiss Axio Imager 2 acoplado a um sistema de varredura laser Zeiss LSM 700, equipado com laser de diodo (405 nm) e lente objetiva EC PLAN-NEOFLUAR 40x0,75. As imagens foram geradas a partir de mosaicos de 5 x 5 imagens totalizando uma área de varredura de 800x800  $\mu\text{m}$ .

Com as imagens obtidas foi possível comparar a topografia das ferramentas por meio da medição dos parâmetros de amplitude das rugosidades ( $S_q$ ,  $S_a$  e  $S_z$ ) e parâmetros de distribuição de amplitude ou estatísticos ( $S_{sk}$  e  $S_{ku}$ ), variação da forma, irregularidades e alterações provocadas pelas texturizações a laser e jateada.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaios de Vida e Caracterização das Ferramentas

A Figura 1 mostra os resultados obtidos nos ensaios de vida das ferramentas testadas. A ferramenta com pior desempenho foi a sem revestimento, tanto a seco quanto com aplicação de fluido de corte por jorro e MQL, com uma média de vida de aproximadamente 0,13 m de usinagem, equivalente a três passadas.

A ferramenta com melhor desempenho nos ensaios de vida foi a ferramenta revestida de TiAlN com substrato jateado, tanto a seco quanto com aplicação de fluido de corte por jorro e MQL, com uma média de vida de aproximadamente 7,08 m, equivalente a 140 passadas até atingir o desgaste de flanco médio de 0,3 mm, chegando ao fim de vida.

Na avaliação quanto à usinagem com fluido de corte, observa-se na Fig. (1), que a utilização de jorro e MQL aumentaram a vida das ferramentas, com maior destaque para a ferramenta de TiAlN-jateada.

Provavelmente, a aplicação do fluido de corte, por jorro e MQL, modificou a zona de corte, particularmente, a zona de cisalhamento secundário na usinagem, ocasionando uma diminuição no atrito na interface cavaco-ferramenta e no calor gerado, possibilitando um aumento na vida da ferramenta.

Quanto ao comportamento dos substratos testados, jateado e laser, observa-se que a ferramenta TiAlN-jateada teve um desempenho muito superior, tanto a seco quanto com aplicação de jorro e MQL, em relação a ferramenta TiAlN-laser. A justificativa para este resultado pode estar na adesão do revestimento TiAlN sobre os substratos jateado e laser.

A Figura 2 mostra imagens da superfície de saída da ferramenta TiAlN-Laser. Nas imagens observa-se nitidamente o destacamento precoce do revestimento TiAlN depositado.

O destacamento precoce do revestimento TiAlN na ferramenta texturizada a laser, pode estar relacionado com diferentes graus de fragilidade do revestimento, as suas propriedades elasto-plásticas, as tensões residuais internas do filme depositado e mesmo uma baixa adesividade do filme depositado sobre o substrato de metal duro com textura laser.

Uma baixa adesividade do revestimento sobre o substrato interfere claramente no comportamento da ferramenta durante o corte, pois a delaminação da camada leva ao contato prematuro do metal duro do substrato com a peça. Além disso, a fragmentação do revestimento gera partículas duras e abrasivas que interagem com o sistema tribológico peça-ferramenta, podendo acelerar ainda mais o desgaste da ferramenta. (Neves *et al.*,2006)

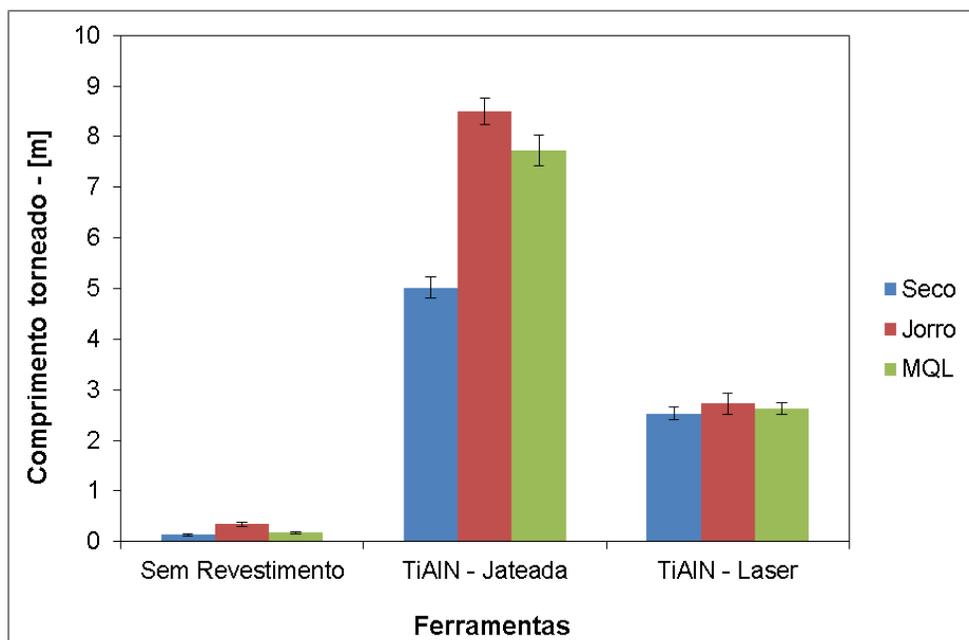


Figura 1 - Ensaio de vida no torneamento a seco do aço SAE 4340.

(Condições de corte:  $v_c = 200$  m/min,  $f = 0,5$  mm/rot e  $a_p = 2,0$  mm)

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 3 mostra as ferramentas TiAlN-Jateada e TiAlN-Laser após o fim de vida. Observa-se claramente nas imagens um acentuado desgaste de flanco nas ferramentas. Considera-se o desgaste de flanco o mais comum entre as formas de desgaste que ocorrem em ferramentas de usinagem. Sendo até uma forma de desgaste preferível, pois indica uma vida útil da ferramenta previsível e estável. O desgaste de flanco ocorre, principalmente, devido aos mecanismos de desgaste por abrasão e *attrition*, causado por elementos duros, como carbonetos presentes no material da peça ou mesmo pelo destacamento ou delaminação precoce dos revestimentos utilizados, neste estudo TiAlN.

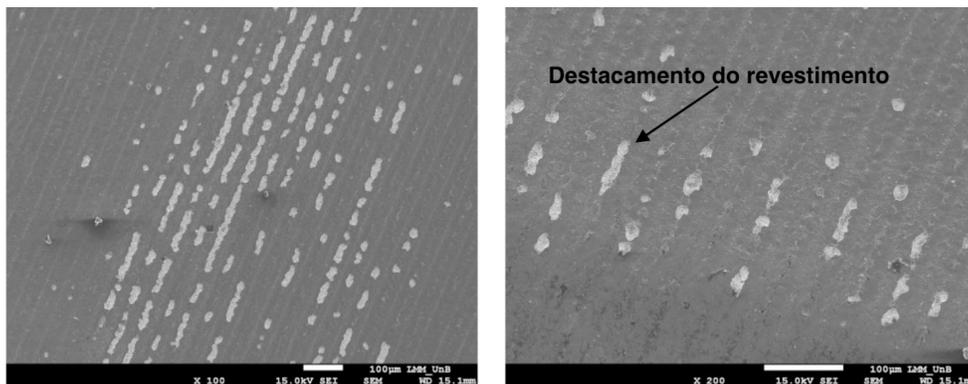
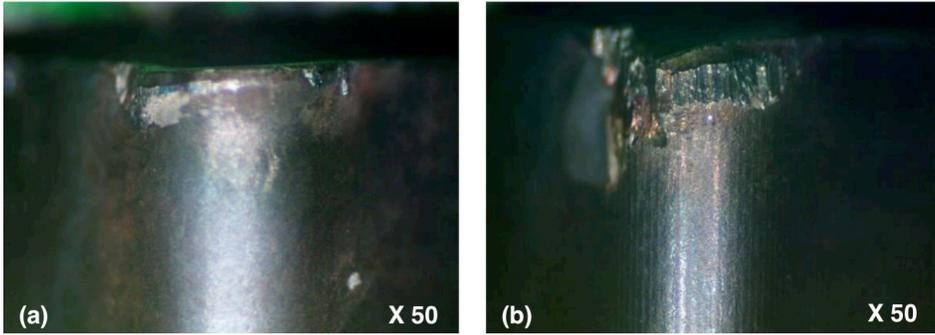


Figura 2 - MEV da superfície de saída da ferramenta TiAlN-Laser.

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 4 mostra por meio de MEV, uma área deformada plasticamente na região do desgaste de flanco da ferramenta TiAlN-Jateada, presença de microsulcos e material da peça aderido na ferramenta, caracterizando nitidamente a atuação dos mecanismos de desgaste por abrasão e *attrition*, cujo último tem como característica marcante a aderência e o arrastamento de material da peça durante a usinagem.



(a) - TiAlN-Jateada e (b) - TiAlN-Laser.

Figura 3 - Imagens de estereomicroscópio do desgaste de flanco das ferramentas no fim de vida:

Fonte: elaborado pelo autor.

Os mecanismos de desgaste por abrasão e *attrition* também foram predominantes nas ferramentas sem revestimento e TiAlN-laser.

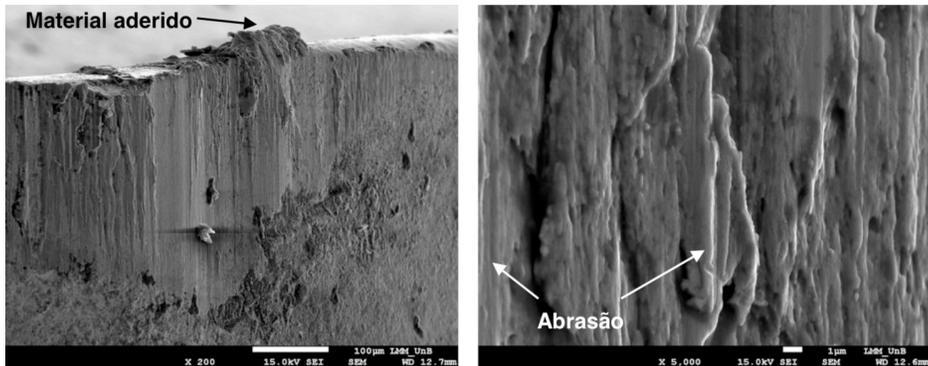


Figura 4 - Imagem de MEV do desgaste de flanco de uma ferramenta de TiAlN-Jateada.

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.2 Ensaios de Rugosidade

A Figura 5 mostra os resultados obtidos nos ensaios de rugosidade do aço SAE 4340 no torneamento a seco e com utilização de fluido de corte por jorro e MQL, utilizando-se as ferramentas - Sem Revestimento, TiAlN-jateada e TiAlN-laser. De maneira geral, os resultados mostram que a utilização do revestimento cerâmico, TiAlN, afeta sensivelmente o valor da rugosidade média ( $R_a$ ) da superfície torneada.

A utilização do revestimento TiAlN modifica a interface ferramenta/peça, uma vez que interfere diretamente nas áreas dos planos de cisalhamento primário e secundário, diminuindo o atrito, e conseqüentemente, os esforços de corte durante o torneamento.

Com a diminuição dos esforços de corte, a tendência é que haja uma diminuição das microirregularidades formadas na superfície usinada, melhorando o acabamento.

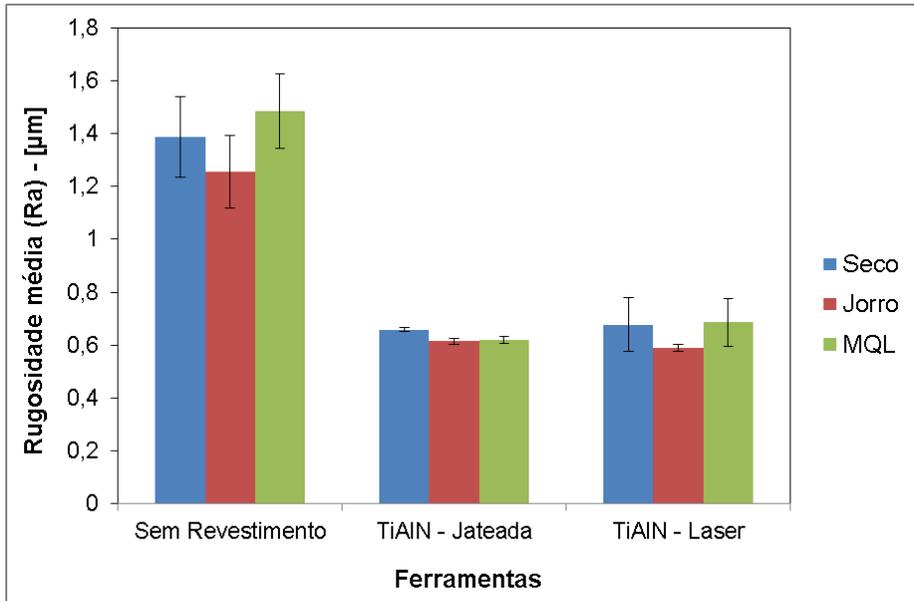


Figura 5 - Ensaios de rugosidade média (Ra) do aço SAE 4340 no torneamento a seco, com jorro e MQL. (Condições de corte:  $v_c = 200$  m/min,  $f = 0,1$  mm/rot e  $a_p = 1,0$  mm)

Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto à diferenciação do acabamento obtido em relação ao torneamento a seco, jorro e MQL, não se observa diferença estatisticamente significativa, mostrando que o uso de fluido de corte para a operação realizada nas condições de corte dadas, não influencia na interface ferramenta/peça ao ponto de causar uma modificação nas micro irregularidades da peça torneada.

### 3.3 Microscopia Óptica e Confocal a Laser

Para a análise morfológica dos conjugados substratos/revestimentos foram realizados ensaios de microscopia óptica e confocal a laser.

A Figura 6 mostra imagens da textura da superfície de saída das ferramentas ensaiadas: TiAlN-jateada e TiAlN-laser. Com a utilização de um estereomicroscópio é possível perceber a diferença entre as texturas jateada e laser das ferramentas utilizadas. Nas ferramentas jateadas não há uma ordenação macroscópica da textura, como o arranjo paralelo de linhas visualizado na ferramenta TiAlN-laser. Essa ordenação diferenciada entre os revestimentos, provavelmente, foi crucial para o desempenho das ferramentas nos ensaios de vida.

Essencialmente a ordenação da textura na ferramenta laser foi pouca efetiva, a degradação precoce do revestimento leva a formação de “microlascas” de revestimentos de TiAlN com dureza de aproximadamente 3000 HV. Essas “microlascas” de TiAlN se tornam então parte de um sistema tribológico, causando, provavelmente, desgaste abrasivo à três corpos: peça, ferramenta e as “microlascas” de TiAlN como elemento interfacial. As “microlascas” de TiAlN são pressionadas contra a peça e a ferramenta concomitantemente, causando microtrincas, e, principalmente, microsulcos de desgaste no flanco da ferramenta, como observado na Fig. (4).

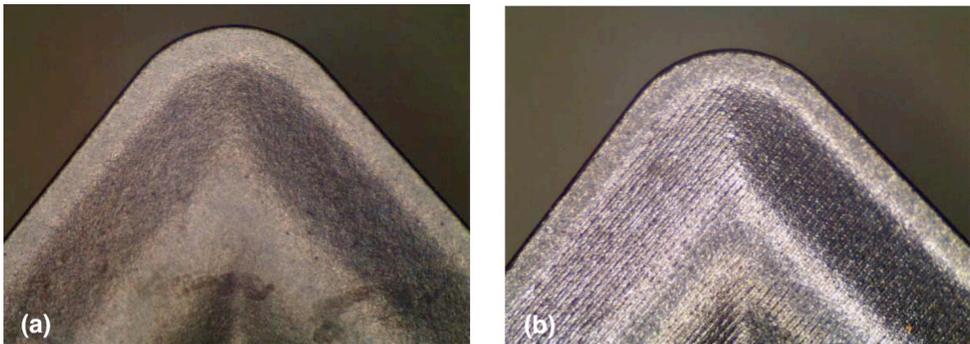


Figura 6 - Imagens de estereomicroscópio da superfície de saída das ferramentas: (a) - TiAlN-Jateada e (b) - TiAlN-Laser.

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 7 mostra os resultados dos ensaios de microscopia confocal a laser para as ferramentas TiAlN-Jateada e TiAlN-Laser.

As imagens foram adquiridas por varredura laser por meio de microscopia confocal, após a varredura as imagens foram tratadas utilizando o *software MountainsMap® 8.2*.

Nas imagens é possível observar claramente que a textura jateada mostra-se aleatória, ao passo que a textura laser apresenta notoriamente uma distribuição ordenada de picos, a qual provavelmente pode alterar as condições de contato na interface cavaco-ferramenta, e ocasionalmente modificar a vida da ferramenta.

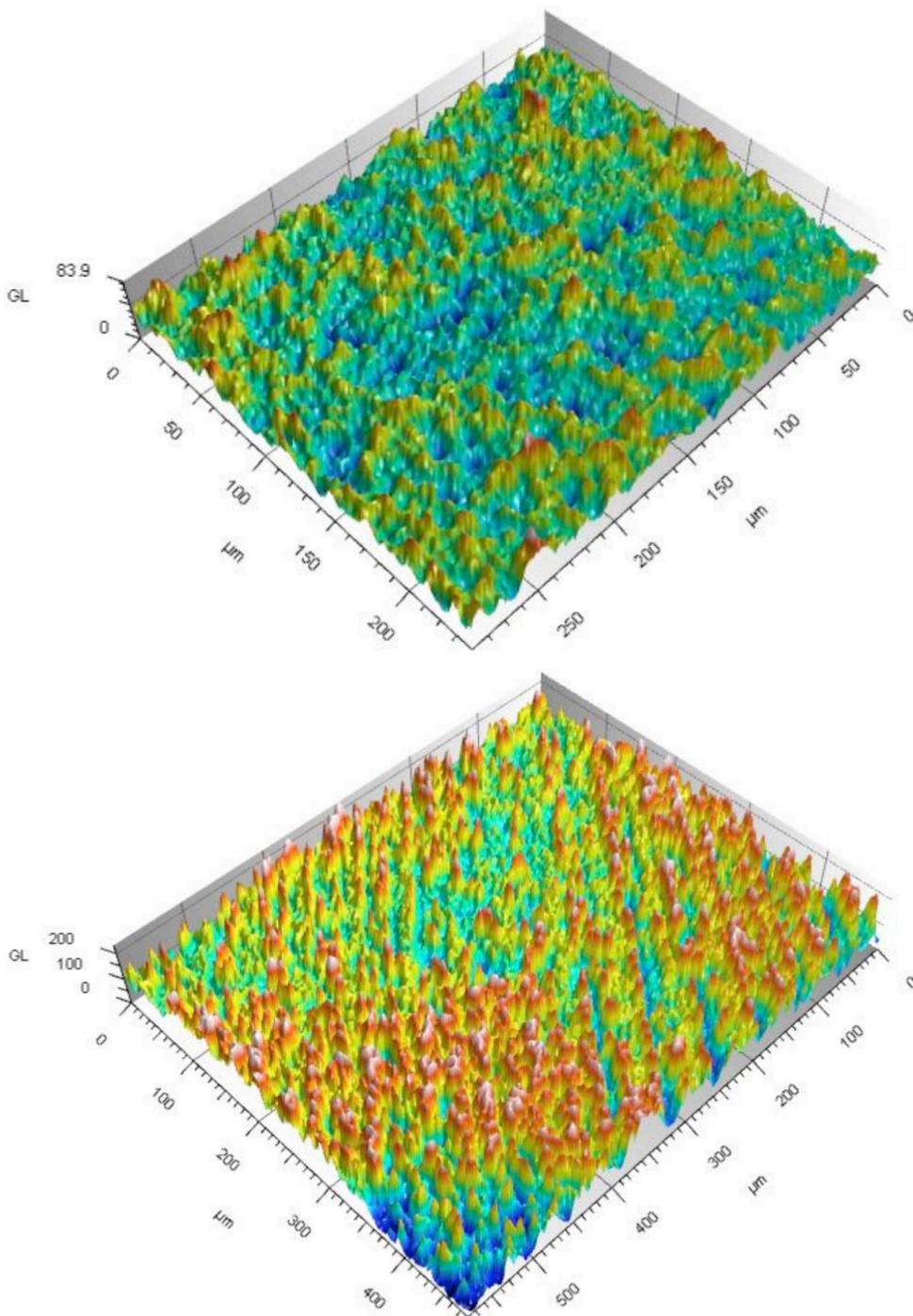


Figura 7 - Texturas das ferramentas TiAlN-Jateada (a) e TiAlN-Laser (b).

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 3 mostra os resultados das medições dos parâmetros de amplitude das rugosidades ( $S_q$ ,  $S_a$  e  $S_z$ ) e parâmetros de distribuição estatísticos ( $S_{sk}$  e  $S_{ku}$ ), obtidos na varredura laser da superfície das ferramentas por meio de microscopia confocal. Basicamente a texturização a laser provocou uma diminuição nos parâmetros de amplitude  $S_a$  e  $S_q$  das superfícies das ferramentas, o que pode corroborar para uma diminuição da rugosidade média da peça usinada. Quanto à assimetria ( $S_{sk}$ ), a distribuição da textura mostra-se enviesada moderadamente, com uma curtose acima de 3 para todas as texturas das ferramentas ensaiadas.

Ferramenta	$S_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$S_q$ ( $\mu\text{m}$ )	$S_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$S_{sk}$	$S_{ku}$
TiAlN-Jateada	1,221	1,505	13,729	-0,698	3,245
TiAlN-Laser	0,959	1,305	16,748	-1,620	7,203

Tabela 3 - Parâmetros de amplitude e estatísticos.

Fonte: elaborado pelo autor.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste estudo, as superfícies de insertos de metal duro foram texturizadas: (i) por feixe de laser, especificamente, ablação a laser utilizando uma fonte de CuHBr (Hidreto de Cobre e Bromo), e (ii) jateamento (processo comercial), posteriormente os insertos texturizados foram revestidos de TiAlN. O desempenho das diferentes texturas, laser e jateamento, foram testadas em ensaios de vida de ferramenta e acabamento da superfície usinada no torneamento do aço SAE 4340 a seco e com aplicação de fluido de corte por jorro e MQL. As diferentes texturas também foram caracterizadas por meio de microscopia óptica e confocal a laser. Conforme os resultados anteriormente apresentados e discutidos, as seguintes conclusões foram obtidas:

- Nos ensaios de vida, o revestimento TiAlN aumentou significativamente o comprimento torneado em relação a ferramenta sem revestimento, tanto a seco quanto com aplicação de jorro e MQL;
- A ferramenta TiAlN-jateada apresentou o melhor resultado nos ensaios de vida, seguida pela ferramenta TiAlN-laser;
- Provavelmente o destacamento precoce do TiAlN depositado no substrato com textura laser, foi o fator preponderante para o seu baixo desempenho nos ensaios de vida;
- A utilização do TiAlN diminuiu a rugosidade aritmética média ( $R_a$ ) da superfície torneada em relação a ferramenta sem revestimento;

- A aplicação de fluido de corte por jorro e MQL aumentou a vida das ferramentas em relação a usinagem a seco, excepcionalmente, para a ferramenta TiAlN-jateada;
- A aplicação de fluido de corte por jorro e MQL não alterou significativamente o acabamento superficial da superfície torneada em relação a usinagem a seco.

## AGRADECIMENTOS

Ao Decanato de Pesquisa e Inovação da UnB (DPI-UnB) por meio dos editais de financiamento a pesquisa DPI/UnB 04/2019 e DPI/DPG 03/2020, e a Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelo financiamento a pesquisa por meio do edital 03/2016, processo 0193.001259/2016.

## REFERÊNCIAS

Blatter, A., Maillat, M., Pimenov, S.M., Shafeev, G.A., Simakin A.V., Loubnin, E. N., 1999, **Lubricated Sliding Performance of Laser-Patterned Sapphire**, *Wear*, v. 232, pp. 226-230.

Corfe, A.G., 1983, **Laser Drilling of Aero Engine Components**, In: Proceedings of the First International Conference on Lasers in Manufacturing. Brighton, East Sussex, pp. 31-40.

DGUV, 2010, **Minimum Quantity Lubrication for Machining Operations**, Publisher Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Edition November, pp. 1-84.

Kamata, Y., Obikawa, T., 2007, **High Speed MQL Finish-Turning of Inconel 718 with Different Coated Tools**, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 192, pp. 281-286.

Leyland, A., Matthews, A., 2000, **On the Significance of the H/E ratio in Wear Control: a Nanocomposite Coating Approach to Optimized Tribological Behavior**, *Wear*, v. 246, pp. 1-11.

Lima, M. S. F., Neves, D., Diniz, A. E., 2005, **Machining with a Laser Treated Tool Steel Drill: Surface and Tool Life Aspects**, I International Conference on Heat Treatment and Surface Engineering of Tools and Dies, Pula-Croatia, 8-11 de Junho.

Low, D. K. Y., Li, L., Corfe, A. G., Byrd, P. J., 2001, **Spatter-free Laser Percussion Drilling of Closely Spaced Array Holes**, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v. 41, pp. 361-377.

Machado, A. R., Silva, L. R. R., Souza, F. C. R., Davis, R., Pereira, L. C., Sales, W. F., Rossi, W., Ezugwu, E. O., 2021, **State of the Art of Tool Texturing in Machining**, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 293, pp. 1-23.

Neves, D., Diniz, A. E., Lima, M. S. F., 2006, **Efficiency of the Laser Texturing on the Adhesion of the Coated Twist Drills**, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 179, pp. 139-145.

Pervaiz, S., Anwar, S., Qureshi, I., Ahmed, N., 2019, **Recent Advances in the Machining of Titanium Alloys Using Minimum Quantity Lubrication (MQL) Based Techniques**, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 6(1), pp. 133-145.

Said, Z., Gupta, M., Hegab, H., Arora, N., Khan, A. M., Jamil, M., Bello, E., 2019, **A Comprehensive Review on Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Machining Processes Using Nano-Cutting Fluids**, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 1, pp. 1-30.

Santos, S. C., 2002, **Estudo da Influência de Revestimentos e da Aplicação de Fluido de Corte no Desempenho de Brocas de Aço-Rápido e de Metal Duro Integral na Usinagem de Ferro Fundido Cinzento**, Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, pp. 192.

Suh, C. M., Hwang, B. W., Murakami, R. I., 2003, **Behaviors of Residual Stress and High Temperature Fatigue Life in Ceramic Coatings Produced by PVD**, Materials Science and Engineering A, v. 343, pp. 1-7.

Sun, Y., Bloyce, A., Bell, T., 1995, **Finite Element Analysis of Plastic Deformation of Various TiN Coating/Substrate Systems under Normal Contact with a Rigid Sphere**, Thin Solid Films, v. 271, pp. 112-131.

Watanabe, K., Natsume, J., Hashizume, K., Ozasa, T. O., Nada, T., Masuda, Y., 2000, **Theoretical Analysis of Bearing Performance of Microgrooved Bearing**, JSAE Review, v. 21, pp. 29-33.