

# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

### **Bibliotecária**

Janaina Ramos

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

### **Imagens da Capa**

Shutterstock

### **Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

### **Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

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

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

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

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<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> 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> 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> 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 Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<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

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

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

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

#### **Linguística, Letras e Artes**

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

#### **Conselho Técnico Científico**

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

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

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

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

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

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

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

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

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

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

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

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

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

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Engenharias: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar

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

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

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

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

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

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

## APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.6002005111**

### **CAPÍTULO 2..... 13**

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

Walkiria Kohmoto Nishimurota  
Marco Stipkovic Filho

**DOI 10.22533/at.ed.6002005112**

### **CAPÍTULO 3..... 23**

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

Ronan Geraldo Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.6002005113**

### **CAPÍTULO 4..... 29**

#### **CONCEITOS BÁSICOS DE MICROUSINAGEM: UMA REVISÃO**

Ainá Winnie Carlos Riomar  
Esther Samila Santana Barbosa  
Lucas Winterfeld Benini

**DOI 10.22533/at.ed.6002005114**

### **CAPÍTULO 5..... 46**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.6002005115**

### **CAPÍTULO 6..... 59**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.6002005116**

**CAPÍTULO 7..... 67**

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

Natanael Pinho da Silva Alves

Ronan Geraldo Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.6002005117**

**CAPÍTULO 8..... 79**

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

Tássila Saionara Gomes Galdino

Pâmela Bento Cipriano

Andréa de Vasconcelos Ferraz

**DOI 10.22533/at.ed.6002005118**

**CAPÍTULO 9..... 93**

**DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE CELERON**

Karla Hikari Akutagawa

Caroline da Silva Neves

Celia Kimie Matsuda

Nabi Assad Filho

**DOI 10.22533/at.ed.6002005119**

**CAPÍTULO 10..... 99**

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

Normanda Lino de Freitas

Talita Kênya Oliveira Costa

Joelda Dantas

Elvia Leal

Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes

Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes

**DOI 10.22533/at.ed.60020051110**

**CAPÍTULO 11 ..... 113**

**SIMULAÇÃO DE ESPECTROMETRIA DE MASSA DE ÍONS SECUNDÁRIOS**

Gabriel dos Santos Onzi

Igor Alencar Vellame

**DOI 10.22533/at.ed.60020051111**

**CAPÍTULO 12..... 117**

**ANÁLISE DE UM MOTOR 3 CILINDROS SOBREALIMENTADO**

Bruno Barreto Irmão

Alexsander Velasco Cardoso

Gustavo Simão Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.60020051112**

**CAPÍTULO 13..... 131**

**PROTÓTIPO DE UMA ESTEIRA AUTOMATIZADA PARA ÂMBITO INDUSTRIAL**

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

**DOI 10.22533/at.ed.60020051113**

**CAPÍTULO 14..... 134**

**DETERMINAÇÃO DE RITMO CARDÍACO A PARTIR DE SINAIS DE FOTOPLETISMOGRAFIA**

Lucas Fernandes Alves dos Anjos  
Sergio Okida

**DOI 10.22533/at.ed.60020051114**

**CAPÍTULO 15..... 140**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.60020051115**

**CAPÍTULO 16..... 150**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.60020051116**

**CAPÍTULO 17..... 160**

**DESENVOLVIMENTO DE OBJETOS EDUCACIONAIS: ATIVIDADE PRÁTICA DE VAZÕES EM ORIFÍCIOS**

Thais Esmério Pimentel  
Henrique da Silva Pizzo

**DOI 10.22533/at.ed.60020051117**

**CAPÍTULO 18..... 172**

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

Elaine Garrido Vazquez

Renata Gonçalves Faisca

Joyce Dias da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.60020051118**

**CAPÍTULO 19..... 183**

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

Alexandre Candido Soares

Yara Daniel Ribeiro

Sara Daniel Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.60020051119**

**CAPÍTULO 20..... 189**

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

Yara Daniel Ribeiro

Alexandre Candido Soares

Sara Daniel Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.60020051120**

**CAPÍTULO 21..... 198**

**ESTUDO CINÉTICO DA LIXIVIAÇÃO DE COBRE UTILIZANDO ÁCIDO NITRÍCO**

Alexandre Candido Soares

Yara Daniel Ribeiro

Sara Daniel Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.60020051121**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 209**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 210**

# CAPÍTULO 12

## ANÁLISE DE UM MOTOR 3 CILINDROS SOBREALIMENTADO

*Data de aceite: 01/11/2020*

*Data de submissão: 05/08/2020*

### **Bruno Barreto Irmão**

Universidade Estácio de Sá  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/8552052387629699>

### **Alexsander Velasco Cardoso**

Universidade Estácio de Sá  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/3678162104645344>

### **Gustavo Simão Rodrigues**

Universidade Estácio de Sá  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/0076357223461709>

**RESUMO:** A criação de máquinas capazes de transformar calor em trabalho mecânico revolucionou a indústria. Os motores à combustão interna (MCI) tiveram papel fundamental nesse processo de inovação tecnológica. Sua introdução no mercado permitiu novos meios de transporte, além de mobilidade urbana e geração de empregos. Todavia, a exploração de recursos naturais não renováveis para seu consumo aumentou exponencialmente, além de sua contribuição na emissão de gases poluentes. Diante deste cenário, diversas medidas foram tomadas para mitigar os impactos ao meio ambiente, como a criação de leis que regulam as emissões de poluentes, que forçou a indústria a estudar o desenvolvimento de novos motores, cujo consumo e tamanho são menores, sem

a perda da eficiência. Um motor 3 cilindros busca reunir todas essas características: baixo consumo, tamanho reduzido e entrega de potência similar ao motor de 4 cilindros. Entretanto, a redução de um cilindro acarretou efeitos indesejáveis sobre sua vibração e a sobrealimentação em algumas versões, como por exemplo o turbocompressor, que gera um aumento de pressão e, conseqüentemente, maior calor gerado no interior do motor, podendo causar desvantagens, como a autoignição. Neste tipo de aplicação, o compressor é acionado por uma turbina que é acionada pelos gases de escape do motor. Desta forma, a utilização dos gases oriundos da queima altera o balanço energético do motor, possibilitando um aumento se sua eficiência térmica. Dessa forma, o presente trabalho visa analisar os efeitos nos principais componentes do motor, a médio e longo prazo, em condições normais de trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Motor de combustão interna, turbocompressor, vibração, método dos elementos finitos, fluidodinâmica computacional.

### ANALYSIS OF AN OVERFUELED THREE CYLINDER ENGINE

**ABSTRACT:** The creation of machines capable of transforming heat into mechanical work has revolutionized the industry. Internal combustion engines (MCI) played a fundamental role in this process of technological innovation. Its introduction in the market allowed new means of transport, in addition to urban mobility and job creation. However, the exploitation of non-renewable natural resources for consumption has increased exponentially, in addition to its

contribution to the emission of polluting gases. In view of this scenario, several measures were taken to mitigate the impacts on the environment, such as the creation of laws that regulate pollutant emissions, which forced the industry to study the development of new engines, whose consumption and size are smaller, without loss efficiency. A 3-cylinder engine seeks to bring together all these characteristics: low consumption, reduced size and power delivery similar to the 4-cylinder engine. However, the reduction of a cylinder caused undesirable effects on its vibration and supercharging in some versions, such as the turbocharger, which generates an increase in pressure and, consequently, greater heat generated inside the engine, which can cause undesirable effects, such as self-ignition. In this type of application, the compressor is driven by a turbine that is driven by the engine's exhaust gases. In this way, the use of gases from the burning changes the energy balance of the engine, allowing an increase in its thermal efficiency. Thus, the present work aims to analyze the effects on the main engine components, in the medium and long term, under normal working conditions.

**KEYWORDS:** Internal combustion engine, turbocharger, vibration, finite element method, computer fluid dynamic.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com a tendência de investimentos em inovação tecnológica nos motores, por parte das montadoras, cria-se a necessidade do investimento em pesquisas para aprofundar o conhecimento sobre as novas tendências e solucionar os problemas intrínsecos, dos quais já citamos alguns.

Os motores 3 cilindros são novos no mercado brasileiro. Mesmo com seu excesso de vibrações e um desbalanceamento dinâmico, eles atendem à proposta de economia. Mas deve-se levar em consideração que os componentes podem ser afetados por um desgaste prematuro, visto que seu funcionamento não se dá em um ciclo de trabalho ideal. Sua rotação é afetada por não possuírem pistões se deslocando de forma conjunta e seu intervalo de combustão é irregular. Uma alta taxa de compressão e a presença do turbocompressor em algumas versões agrava ainda mais esse quadro.

Dessa forma, uma análise mais detalhada é necessária, visto que não se trata apenas de uma relação de economia com peças e manutenção. Além disso, há a segurança de quem utiliza esses automóveis, item fundamental a ser considerado em qualquer projeto.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Brunetti (2012), máquinas térmicas são dispositivos que permitem transformar calor em trabalho. O calor pode ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica, energia atômica, etc. Um dos tipos de máquina térmicas mais utilizado é o motor de combustão interna (MCI), que funciona obtendo energia através da queima de combustível, isto é, energia química em trabalho mecânico e recebe essa classificação pois o fluido ativo (formado pela mistura ar combustível na entrada do volume de controle e produtos da combustão de saída) participa diretamente da combustão.



Os motores de combustão interna (MCI) ainda podem ser classificados de acordo com a forma de se obter trabalho mecânico (alternativos, rotativos e impulso) e quanto à ignição (ignição por faísca ou Otto e ignição espontânea ou diesel). O presente trabalho focará somente nos motores alternativos ciclo Otto que realizam trabalho obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformando em rotação contínua por um sistema biela-manivela. Nesses motores, a mistura combustível-ar é admitida, previamente dosada ou formada no interior dos cilindros quando a injeção direta de combustível, e inflamada por uma faísca que ocorre entre eletrodos de uma vela.

## 2.1 Vibrações em motores

Os problemas de ruídos e vibrações em motores de combustão interna são comuns, devido à grande diversidade de peças e componentes que compõem um motor. O eixo virabrequim sofre vibrações transversais, laterais e torcionais, devido à dinâmica dos esforços sofridos principalmente no tempo de combustão do motor. Mancais hidrodinâmicos podem induzir vibrações orbitais de grande amplitude em rotores neles apoiados. Cita-se também os efeitos de discos acoplados em eixos, a combustão e o efeito giroscópio de eixos massivos. Esses efeitos produzem desgastes prematuros nos componentes internos do motor, reduzindo o tempo de vida do próprio motor, além de prejudicar a saúde das pessoas (SANTANA, 2010).

Segundo Rao (2009), qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é denominado vibração ou oscilação. A teoria de vibração trata do estudo de movimento oscilatório de corpos e as forças associadas a eles. Sendo que a resposta vibroacústica de um sistema é um resultado das forças (forças desbalanceadas, transientes e atrito) que atuam no sistema interagindo com parâmetros estruturais (massa, rigidez e amortecimento).

A grande dificuldade é entender se a resposta do sistema é ressonante, forçada ou uma combinação de ambas. Se a resposta do sistema for ressonante, ou seja, o sistema é excitado em uma condição em que esteja em ressonância, a maneira de se controlar o ruído e vibrações é inteiramente diferente da atenuação necessária quando as vibrações do sistema são divididas apenas às forças que atuam no sistema.

Segundo Brunetti (2012), no caso do motor, as excitações são predominantemente harmônicas, mas com rotação não estacionária. Para aplicar os conceitos de que o sistema é resultado das forças aplicadas e do comportamento modal da estrutura, alguns princípios devem ser bem compreendidos.

Outro importante conceito que influencia diretamente nos cálculos analíticos de vibração são as forças de inércia das massas rotativas e das massas alternativas. Segundo Selim (2017), atuam quando a pressão da câmara de combustão aumenta devido à queima da mistura ar combustível e todo o sistema biela-manivela começa a receber sua atuação.

Tomando como exemplo, as propriedades de um motor monocilíndrico podem ser determinadas: a massa do pistão  $m_k$  (massa oscilante), a massa da árvore de manivelas

(massa rotativa) e os componentes da massa da biela (compostos de massas rotativas e oscilantes, que constituem 1/3 e 2/3 da massa, respectivamente) (BOSCH, 2005, p.457):

## 2.2 Sobrealimentação

Segundo Brunetti (2012), em motores sobrealimentados, sabe-se que o torque de um motor está diretamente relacionado à massa de ar que o mesmo consegue aspirar por ciclo de admissão. Quanto maior a massa de ar admitida pelos cilindros, maior é o aproveitamento da mistura. O papel do turbocompressor se resume a comprimir o ar antes dele ser admitido pelo motor. Assim, dado um mesmo volume de ar, têm-se muito mais massa de ar devido à compressão do mesmo.

Fisicamente, um turbocompressor pode ser dividido em duas partes: a turbina (caixa quente) e o compressor (parte fria ou caixa fria), cujos nomes se dão devido à diferença de temperatura das duas partes que pode exceder centenas de graus durante o trabalho. A caixa quente é a responsável por receber os gases oriundos da queima da mistura ar - combustível que, em alta temperatura, aquecem o componente. A caixa fria, por sua vez, é responsável por admitir ar ambiente e enviar em direção ao coletor de admissão, já sob alta pressão.

## 3 | RESULTADOS OBTIDOS

### 3.1 Análise fluidodinâmica do turbocompressor

Para selecionar um turbocompressor deve-se primeiro atribuir a potência que se espera no motor onde está instalado o turbocompressor, calcular a quantidade de ar necessário e a pressão absoluta nesse motor. Com efeito nessa pesquisa utilizou-se os dados técnicos de um motor de 1000 cilindradas de uma grande montadora do mercado brasileiro.

Na tabela 1 encontram-se os principais dados característicos do motor.

Cilindrada	990 cm <sup>3</sup>
Diâmetro dos cilindros x curso dos pistões	74,5 x 76,4 mm
N° de cilindros	3 em linha
Válvulas por cilindros	4
Posição	Transversal à frente do eixo
Taxa de compressão	10,5:1
Formação da mistura	Injeção direta de combustível, dispensa partida a frio

Potência líquida máxima	116 cv (G) / 128 (E) a 5500 rpm
Torque líquido máximo	20,4 kgfm (G/E) entre 2000 e 3500 rpm

Tabela 1 – Ficha técnica do motor

Segundo Garrett (2017), as equações de 1 a 5 são utilizadas para selecionar um turbocompressor para um motor qualquer, nesta pesquisa utilizou-se os dados do motor da tabela 1. Com efeito, a equação 1 serve para determinar o fluxo de ar necessário para alcançar a potência de 116 cv, a equação 2 determina a pressão absoluta, a equação 3 e 4 servem para determinar a diferença de pressão na saída e na entrada do turbocompressor e pôr fim a equação 5 determina a diferença de pressão no turbocompressor.

$$W_a = HP \cdot \frac{A}{F} \cdot \frac{BFSC}{60} \quad (1)$$

$$MAP_{req} = \frac{W_a \cdot R \cdot (460 + T_m)}{V_E \cdot \frac{N}{2} \cdot V_d} \quad (2)$$

$$P_{2c} = MAP_{req} + \Delta P_{loss} \quad (3)$$

$$P_{1c} = P_{amb} - \Delta P_{loss} \quad (4)$$

$$r_c = \frac{P_{2c}}{P_{1c}} \quad (5)$$

Na tabela 2 observa-se o resultado a partir do cálculo do fluxo para a potência do motor de 116 CV. Já na tabela 3 pode-se observar os cálculos para a pressão absoluta.

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade	Valor (SI)	Unidade
Fluxo de ar	W <sub>a</sub>	11,01	lb/min	0,083	kg/s
Potência	HP	116	cv	85317,9	W
Relação Ar/Combustível	A/F	10,5	-	10,5	-
Consumo específico de combustível do eixo	BSFC	0,55	lb/HPh	355	g/Wh

Tabela 2 – Parâmetros para cálculo do fluxo de ar

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade	Valor (SI)	Unidade
Pressão absoluta	MAP req	25,26	Psi	17,4616,6	Pa
Fluxo de ar	W <sub>a</sub>	11,01	lb/min	0,083	kg/s
Constante dos gases	T	639,6	lbf.in/lb.°F	287	J/kgk

Temperatura do coletor de admissão	Tm	130	°F	328,15	K
Eficiência volumétrica	VE	0,98	-	98%	-
Velocidade de rotação do motor	N	5500	RPM	91,67	Hz
Cilindrada total	Vd	61,02	in3	1	L

Tabela 3 – Parâmetros para cálculo da pressão absoluta

Nas equações 6 e 7 observa-se o cálculo de pressão de entrada e saída do compressor a partir do resultado da pressão absoluta de 25,26 Psi, nota-se um incremento de 2 Psi no cálculo de saída e uma redução de 1 Psi no cálculo da entrada, isso se dá devido à perda de pressão entre o compressor e o coletor de admissão e devido à perda de pressão do filtro de ar respetivamente. Já na equação 8 pode-se observar o cálculo para a razão de pressão do sistema.

$$P_{2c} = 25,26 + 2 \quad (6)$$

$$P_{2c} = 27,26 \text{ Psi}$$

$$P_{1c} = 14,7 - 1 \quad (7)$$

$$P_{1c} = 13,7 \text{ Psi}$$

$$r_c = \frac{27,26}{13,7} \quad (8)$$

$$r_c = 1,99$$

A metodologia para simulação em CFD, consiste nas etapas de pré-processamento, resolução e pós-processamento, o mesmo que, definir os objetivos, identificar o domínio, criar a geometria, criar a malha, configurar o solver, obter a solução, examinar os resultados, considerar revisões. Os resultados calculados foram utilizados como dados de entrada na análise de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) (ESSS, 2019).

Observa-se na figura 1 o primeiro resultado de velocidade da simulação a qual tira-se as seguintes conclusões: primeiramente a velocidade máxima entre as paletas do rotor é extremamente alta, chegando a 1162,686 m/s. Isso caracteriza uma inconsistência da simulação, ocasionando recirculação do fluido entre as paletas. Além disso existe uma área que a velocidade do fluxo é mínima o que indica que o fluido está entrando para a voluta antes de acelerar no rotor.

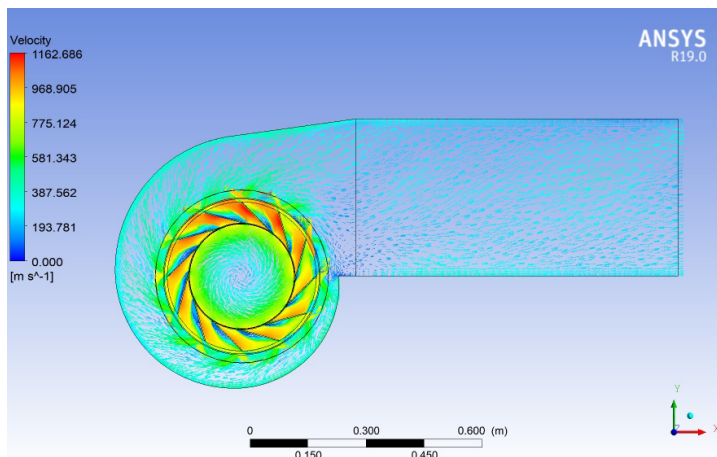


Figura 1 - Gráfico do vetor de velocidade

Na figura 2, observa-se o gráfico de velocidade (no plano que intercepta o meio da voluta e o meio do rotor). Os vetores de velocidade se comportando de maneira ordeira após sair do rotor e entrar na voluta e normalizando-se com uma velocidade de aproximadamente 290 m/s, que ainda é considerada alta para um rotor de um veículo de 3 cilindros.

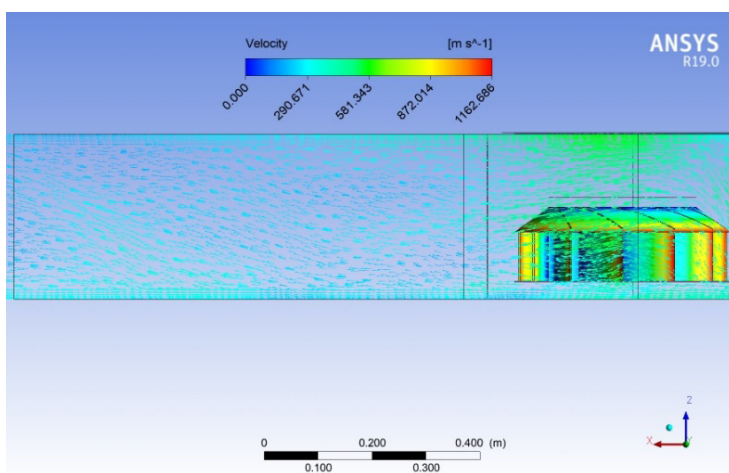


Figura 2 - Gráfico de velocidade no plano vertical

Na figura 3, é apresentado o campo de velocidades visto somente no rotor, e pode-se observar que as regiões azuis de recirculação de fluido em cima das palhetas são regiões de descolamento de fluido que resultam em uma ineficiência do rotor por estar energizando um fluido que deveria estar colado nas palhetas.

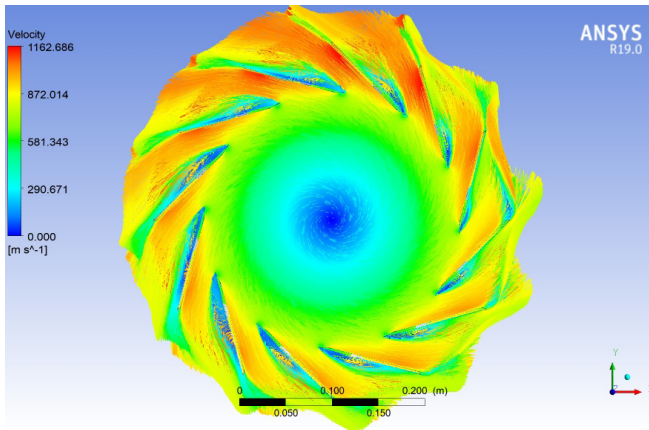


Figura 3 - Gráfico de velocidade no rotor

Além disso, tem-se na figura 4, um gráfico do mesmo campo de velocidade, porém com a variável *mach*, onde percebe-se um *mach* supersônico de 3.023. Esse valor também reflete as condições do “ângulo de ataque” da paleta que não está bem projetada e com isso forma-se muitas ondas de choques entre as palhetas do rotor. Depois o fluido se normaliza na voluta com *mach* transônico, com um valor entre 0.756 e 1.511.

- Subsônica:  $Mach < 1$
- Transônica:  $0.8 < Mach < 1.2$
- Sônica:  $Mach = 1$
- Supersônica: Entre 1.2 e 5 *Mach*
- Hipersônica:  $Mach > 5$

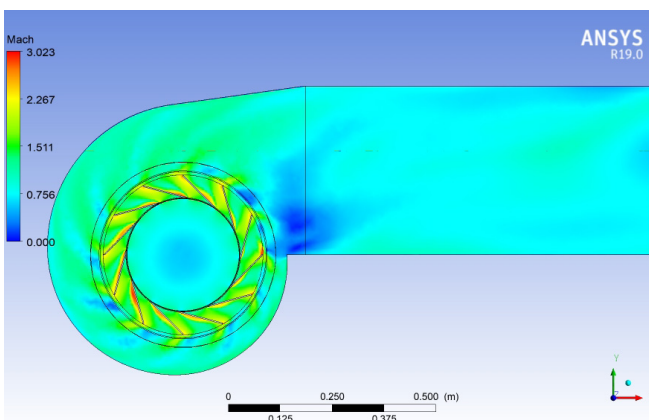


Figura 4 - Gráfico de velocidade *Mach*

As áreas onde o *mach* é máximo (tom vermelho e amarelado) são áreas de descolamento de fluido que faz com que o fluido circule entre as palhetas e as áreas onde o *mach* é mínimo (tom azulado) são áreas que a velocidade do fluido é consideravelmente lenta, que reflete perda de eficiência do compressor. Nas áreas verdes, onde o valor de *mach* é de aproximadamente 1.511, que reflete uma velocidade alta para o compressor e uma área onde a velocidade *mach* é supersônica, justamente no rotor, que por sua vez, mostra que, as palhetas deveriam ter sido projetadas com uma angulação adequada e possivelmente isso reduziria as recirculações entre as palhetas e conseqüentemente as velocidades de *mach*, atingindo um valor aceitável para o compressor que é a velocidade de *mach* subsônico. Pode-se observar isso na figura 5.

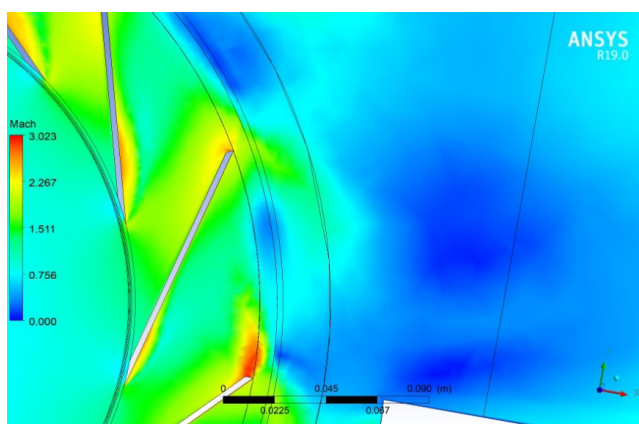


Figura 5 - Gráfico de velocidade Mach em detalhe

Na figura 6, observa-se um gráfico de pressão do compressor e o mesmo apresenta valores razoáveis e condizentes com a pressão calculada analiticamente. Tem-se um aumento de pressão nas paredes da entrada da voluta, logo após o fluido entrar no rotor do compressor. Tal aumento faz sentido tendo em vista que o rotor está girando a 50.000 rpm. Com isso, o fluxo tende a comprimir o ar, o que resulta em um aumento de pressão e depois normaliza-se, ficando praticamente constante com 171.681 Pa, equivalente a 24.90 Psi. O valor calculado analiticamente foi de 27,26 Psi na saída da voluta.

As áreas azuis sobre as palhetas são áreas de sucção e aceleração do fluido, por isso do valor negativo nessas regiões.

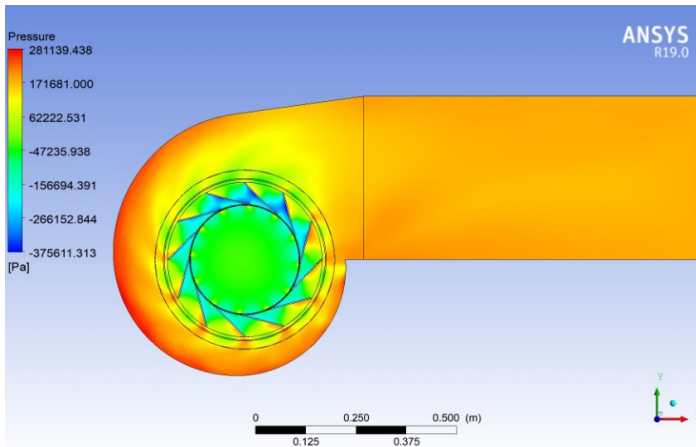


Figura 6 - Gráfico de pressão do compressor

### 3.2 Análise Modal do Motor

Com o objetivo de analisar o comportamento da estrutura, foi escolhida a análise modal feita pelo método de elementos finitos. Essa análise é feita através de um programa, ou seja, é uma simulação computacional. Os resultados foram obtidos após as seguintes etapas:

- 1<sup>a</sup> – Delimitações dos sistemas físicos;
- 2<sup>a</sup> – Elaboração do modelo CAD;
- 3<sup>a</sup> – Definição dos materiais de cada componente;
- 4<sup>a</sup> – Escolha da análise de perturbação linear;
- 5<sup>a</sup> – Seleção das condições de contorno da simulação;
- 6<sup>a</sup> – Definição dos elementos (tipo e tamanho) e aplicação da malha;
- 7<sup>a</sup> – Determinação dos modos de vibração.

A primeira análise, foi de um conjunto composto do virabrequim, pistões, bielas, volante de inércia, polia anti-vibração e engrenagem. Esse conjunto foi escolhido por representar de maneira simplificada o foco do desbalanceamento do motor. Posteriormente foram feitas duas análises dos virabrequins, de três e quatro cilindros. Como resultado de todo processo, foram obtidos os dez primeiros modos de vibrar das três análises. Através da análise do conjunto do virabrequim, foi possível verificar o comportamento dos componentes que estão diretamente em contato com a maior fonte de vibração. Os virabrequins isolados serviram para se fazer um comparativo e verificar em quanto o virabrequim de três cilindros vibrava a mais.

Todos os resultados foram expostos de maneira qualitativa, pois durante a pesquisa foi cometido um equívoco na exportação do modelo 3D em CAD para o programa de elementos finitos e devido ao pouco tempo as análises não puderam ser refeitas. O



modelo foi feito com as unidades em milímetros e deveria ser exportado em metros, como resultados eram para se obter os deslocamentos em metros e as frequências em *hertz*. Todas as interpretações foram feitas substituindo as unidades reais por grandezas abstratas, ou seja, magnitude(deslocamento) e ciclo(frequência).

### 3.2.1 Análise do conjunto do virabrequim

A análise do conjunto possibilitou a compreensão do comportamento de uma série de componentes, como biela, pistão, volante de inércia, engrenagem e polia anti-vibração, submetidos às forças desbalanceadas das massas rotativas do virabrequim. A magnitude e o ciclo de atuação foram os parâmetros obtidos. Por meio deles foi possível mensurar os danos causados a estrutura.

Os modos 1, 2, 3, 9 e 10 influenciaram o volante de inércia. Essa vibração no volante aparecendo em cinco modos ocorre porque ele é responsável por atenuar as variações na velocidade do virabrequim causadas pela mudança de torque.

A polia anti-vibração sofre com a vibração nos modos 7, 5 e 4. O excesso de vibrações na polia afeta uma série de componentes secundários, como o compressor e alternador.

Os modos 6 e 8 são os mais preocupantes, pois afetam diretamente o virabrequim, bielas e pistões. A avaria nesses componentes pode ocasionar a perda do motor prematuramente. A tabela 4 mostra os dados de cada modo, assim como, a figura 7 apresenta das deformações com um gradiente de cor, sendo o vermelho as magnitudes mais severas e o azul as mais brandas:

Modo:	Magnitude(máx):	Ciclo:
1°	1,004	0,46504
2°	1,004	0,4659
3°	1,001	0,76362
4°	1,377	0,83862
5°	1,377	0,83886
6°	1,114	1,1418
7°	1	1,1981
8°	1,27	1,5021
9°	1,005	1,5303
10°	1,005	1,5305

Tabela 4 – Resultados obtidos na análise do conjunto para um estudo qualitativo da magnitude e ciclos adimensionais.

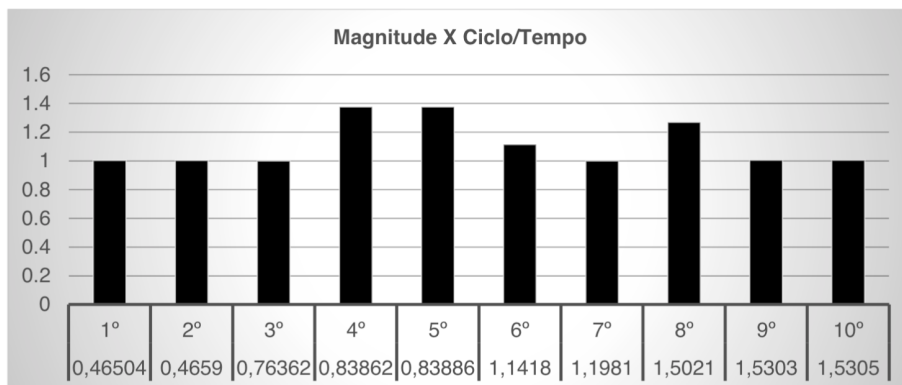


Figura 7 – Resultados obtidos na análise do conjunto para um estudo qualitativo da magnitude e ciclos adimensionais.

### 3.2.2 Análise comparativa do virabrequim de três cilindros e quatro cilindros

Com esse comparativo foi possível confirmar em todos os modos que o virabrequim de quatro cilindros sofre menos vibração que o de três cilindros. A magnitude do deslocamento e o ciclo, assim como os gráficos das peças deformadas demonstram que o virabrequim de três cilindros está mais propenso a quebras, falhas por fadiga (esforços cíclicos). Um ponto importante a salientar é que nas duas peças, as partes que mais sofreram com as vibrações foram as massas rotativas, pelo fato delas serem responsáveis por balancear os esforços dinâmicos a atenuando o desequilíbrio do eixo. Para uma correta comparação foram feitas as tabelas (5 e 6) e as figuras 8a e 8b.

Para uma breve análise, tomando como base os resultados do virabrequim de três cilindros, as maiores frequências foram obtidas nos 9º (5,0605) e 10º (5,2554) modos, sendo ciclos maiores que 5. Comparando com o de quatro cilindros que também obteve suas máximas frequências no 9º (3,1524) e 10º (3,6727), ou seja, uma diferença de 1,9081 e 1,5827 respectivamente. De uma forma bem superficial, esses números absolutos indicam que o virabrequim de três cilindros falhará antes do de quatro, sendo necessário um maior cuidado com manutenções periódicas.

Tratando da maior magnitude ou deslocamento, no de três cilindros o modo mais problemático foi o 5º (1,221), e no de quatro cilindros o 6º (1,203). A análise dos números da magnitude indica uma tendência de pouca variação em contrapartida dos ciclos que apresentam valores significativos.

VIRABREQUIM 3 CILINDROS		
Modo:	Magnitude(máx):	Ciclo:
1°	1,142	1,1885
2°	1,12	1,5241
3°	1,07	1,7992
4°	1,143	2,7819
5°	1,221	2,9048
6°	1,156	3,0879
7°	1,03	3,5201
8°	1,09	4,7024
9°	1,149	5,0605
10°	1,135	5,2554

VIRABREQUIM 4 CILINDROS		
Modo:	Magnitude(máx):	Ciclo:
1°	1	0,75607
2°	1,059	1,0644
3°	1,05	1,2616
4°	1	1,3543
5°	1	1,8484
6°	1,203	2,2975
7°	1	2,719
8°	1,184	3,0646
9°	1	3,1524
10°	1,029	3,6727

Tabelas 5 e 6 – Resultados obtidos na análise do virabrequim de três e de quatro cilindros para um estudo qualitativo da magnitude e ciclos adimensionais.

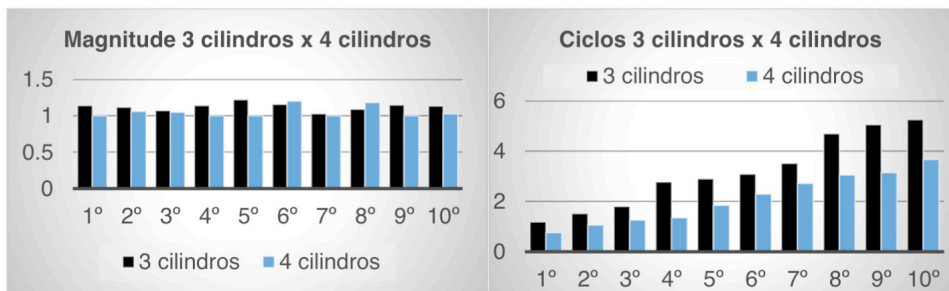


Figura 8a e 8b – Comparativos das magnitudes obtidas nas análises dos virabrequins para um estudo qualitativo (direita) e comparativos dos ciclos obtidos nas análises dos virabrequins para um estudo qualitativo(esquerda).

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

É imprescindível dizer, portanto que, a análise CFD por volumes finitos, é uma excelente ferramenta para estudos de diversos tipos de análise, auxiliando os profissionais de engenharia em seus projetos, analisando todas as variáveis da simulação, seja velocidade, pressão, dentre outros. Com efeito, pode-se identificar possíveis inconsistências do projeto inicial e aplicar possíveis soluções com intuito de minimizar o tempo e o custo na produção do equipamento.

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou uma visão mais detalhada dos componentes de um turbocompressor e seus respectivos funcionamentos, bem como, calcular analiticamente um turbocompressor para um motor de 3 cilindros.

Vale ressaltar que, a análise foi feita com um compressor genérico o qual os resultados embora pareça razoáveis salvo a velocidade que está ligeiramente elevada devido a modelagem inadequada das palhetas, ainda sim, para um projeto de fabricação que foge ao escopo deste trabalho, seria necessário a modelagem e simulação completa do turbocompressor, sendo assim necessária também a modelagem da turbina, no caso deste trabalho, foi estipulado uma rotação de 50.000 rpm para o rotor do compressor, sendo que, o rotor do compressor e da turbina são ligados por um mesmo eixo, o qual conclui-se que, essa rotação foi tirada de uma faixa de trabalho de rotação da turbina.

Dada à importância da análise por CFD, bem como sua complexidade na construção do mesmo, faz-se necessário, a realização de trabalho futuros, com intuito de disseminar esse assunto, a qual hoje, restringe-se ao um nicho muito pequeno do ramo da engenharia.

## REFERÊNCIAS

BOSCH, ROBERT GMBH. **Manual de tecnologia automotiva**. São Paulo: E. Blücher, 2005. 1232 p.

BRUNETTI, FRANCO. **Motores de Combustão Interna: volume 1**. São Paulo: Blucher, pag. 553, 2012.

BRUNETTI, FRANCO. **Motores de Combustão Interna: volume 2**. São Paulo: Blucher, pag. 485, 2012.

ESSS (2019). Curso de Introdução à Simulação Fluidodinâmica. Disponível em: <https://www.esss.co/biblioteca-tecnica>, acesso em: 15/03/2019.

GARRETT, HONEYWELL (2017). Apostila Tech 101. Disponível em: [www.turbogarrett.com.br](http://www.turbogarrett.com.br), acesso em: 25/03/2019.

GARRETT, HONEYWELL (2017). Apostila Tech 102. Disponível em: [www.turbogarrett.com.br](http://www.turbogarrett.com.br), acesso em: 02/04/2019.

GARRETT, HONEYWELL (2017). Apostila Tech 103. Disponível em: [www.turbogarrett.com.br](http://www.turbogarrett.com.br), acesso em: 15/04/2019.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. Tradução de Arlete Simille. Revisor técnico: José Juliano de Lima Júnior. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SANTANA, C.M. **Análise de vibrações em um motor de combustão interna**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SELIM, ANDRÉ BARONI. **Influência das forças de inércia e do balanceador de massas na dinâmica do motor de combustão interna**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264881/1/Selim\\_AndreBaroni\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264881/1/Selim_AndreBaroni_M.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2019

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aços 23, 24, 51

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

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

### B

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

### C

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

CAD 1, 2, 3, 15, 126

Catálise 99, 103

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

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

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

Combustão Interna 101, 117, 118, 119, 130

Comportamento Superficial 13, 14, 20, 22

Compósito 13, 196

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

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

### D

Desincorporador 79, 80, 82, 86

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

Duto 46

### E

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

Estampagem 1, 2, 12, 62

### F

Fluidodinâmica 117, 120, 130

Fotopletismografia 134, 135

Fricção 59, 60, 66

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

## **G**

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

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

## **I**

Impregnação de Metal 99

Ishikawa 1, 2, 3, 6

## **L**

Linha de Transmissão 140, 143

## **M**

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

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

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

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

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

## **O**

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

## **P**

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

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

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

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

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

Processamento de Sinais 134, 135

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

## **R**

Radiofrequência 140

Renshape 13, 14, 15, 22

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

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

Resina Fenólica 93, 94, 96

Resistencia 191

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

Ritmo Cardíaco 134, 135, 136, 137, 138

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

## **S**

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

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

## **T**

Termofixo 93, 94

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

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

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

## **V**

Vazão 160, 163, 164, 168, 169, 171

Vergalhão 1, 2, 3, 8

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

# ENGENHARIAS:

## Metodologias e Práticas de Caráter Multidisciplinar

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



# ENGENHARIAS:

## Metodologias e Práticas de Caráter Multidisciplinar

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 