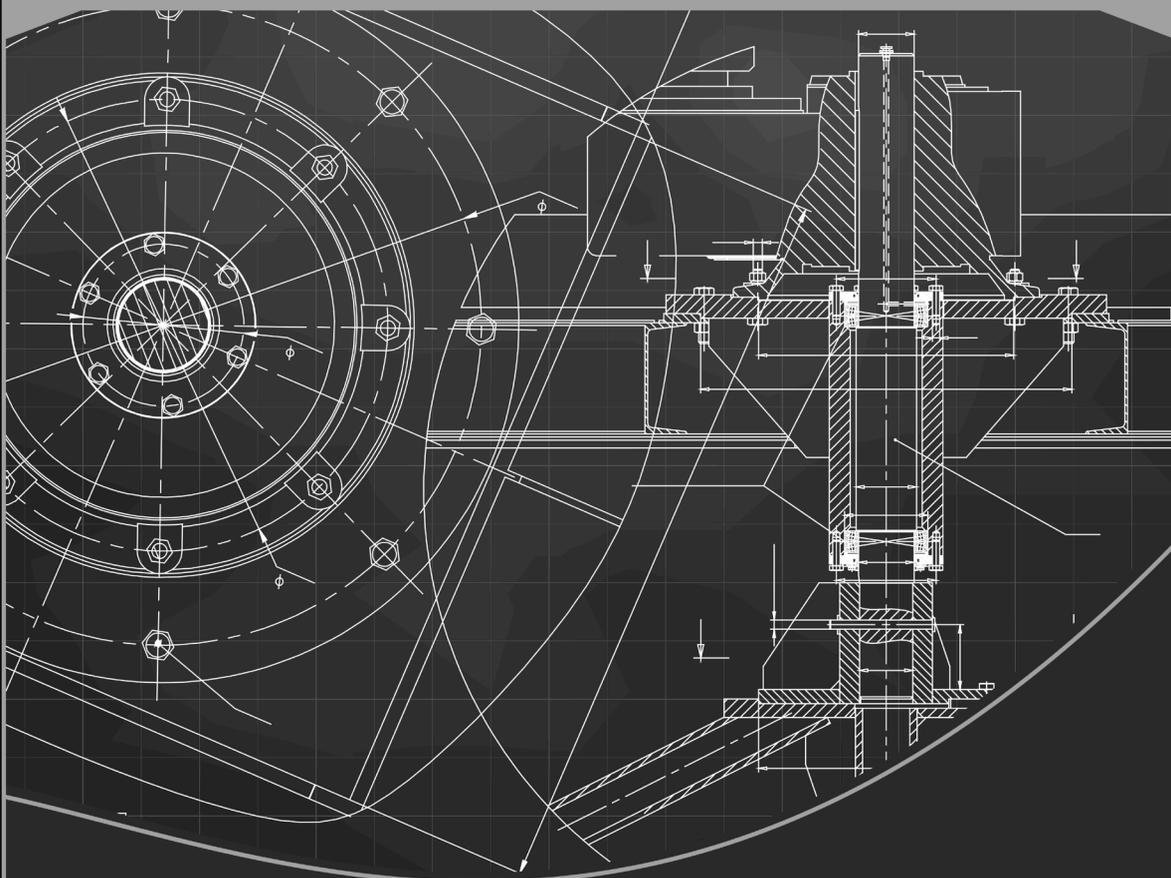


# Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

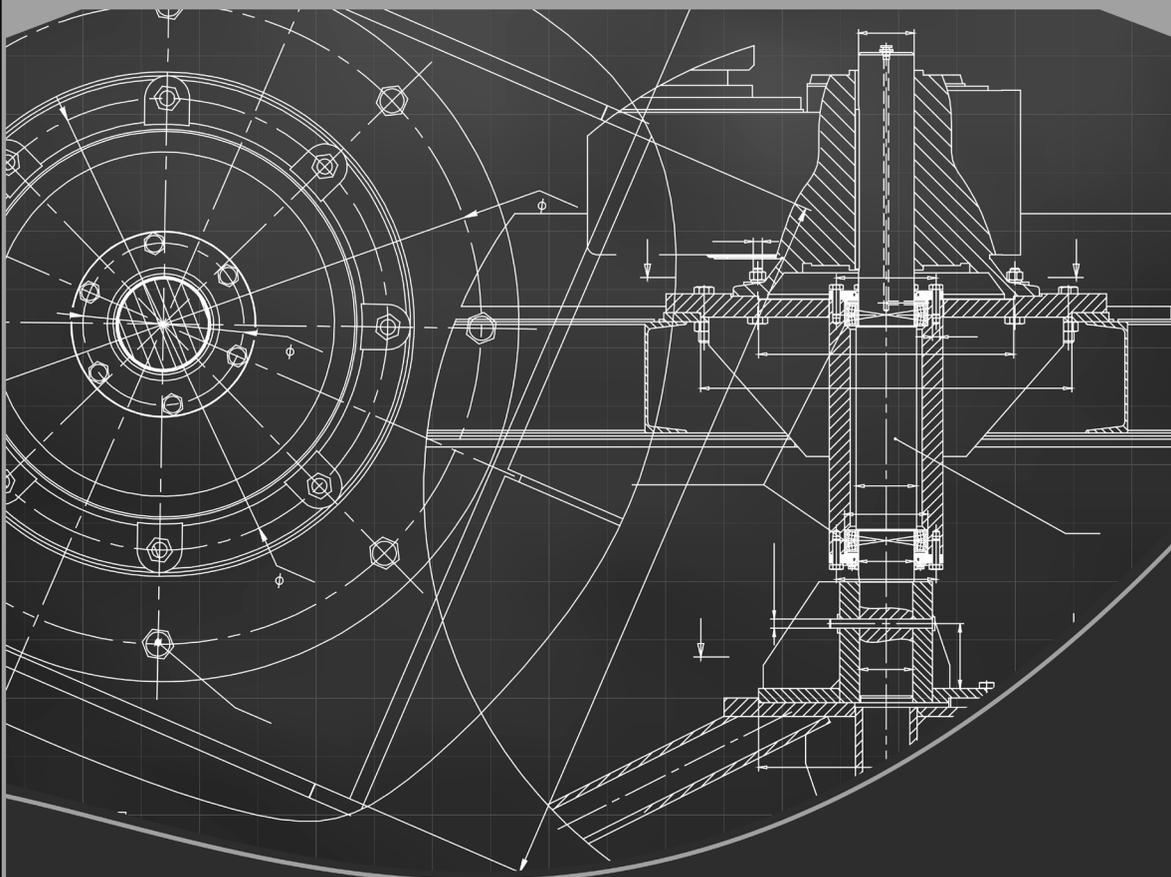
Ano 2021

# 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª 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  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª 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  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano 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>

## SINTONIA DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA COM REDES NEURAIS

Data de aceite: 01/06/2021

### Tiago Luís Andrade Pereira

Faculdade SATC// Departamento de  
Automação Industrial  
<http://lattes.cnpq.br/9724159965294521>

### Anderson Daleffe

Faculdade SATC/ Departamento de Eng.  
Mecatrônica  
<http://lattes.cnpq.br/7569701338186684>

**RESUMO:** O método de sintonia de controladores de temperatura é um processo árduo, que se remete à procura do sinal ideal no menor espaço de tempo, para que a máquina tenha economia de energia e performance adequada. Porém, com a mudança de região, estado ou país do qual a mesma foi projetada, pode gerar uma perda de rendimento ou instabilidade no processo. Com isso, surge a necessidade de que as empresas façam um retrabalho para uma nova sintonia do controlador. Esse trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação de uma rede neural para promover alterações dos valores do ganho proporcional e integral, sendo que esses valores são parâmetros internos de um controlador implementado em um Raspberry Pi, permitindo que a rede neural atue independente, das variações de temperatura ou ação do clima. Os testes foram realizados com um protótipo de secador em faixas de temperatura de 0 a 40 °C se mostrando eficaz, trazendo a curva de sinal ideal para o sistema. O trabalho em questão contribuiu

para uma melhora na eficiência de controladores de temperatura, visto que é reduzido o retrabalho de parametrização e tão logo, produzindo uma performance para o protótipo, constatando-se que as diferenças climáticas fazem toda diferença no processo de controle, seja ele em temperaturas baixas ou altas. Assim como no aperfeiçoamento da inteligência artificial, onde o compartilhamento de informação traga novas ideias para o controle de processos ajudando a economia energética para um mundo sustentável.

**PALAVRAS-CHAVES:** Inteligência Artificial, Redes Neurais, Keras, Controle, PID.

**ABSTRACT:** The method of tuning temperature controllers is an arduous process, which refers to the search for the ideal signal in the shortest time so that the machine has energy savings and adequate performance. However, with the change of region, state, or country from which it was projected, it can generate a loss of energy or instability in the process. With this, there is a need for companies to rework for a new tuning of the controller. This work aims to demonstrate the application of a neural network to promote changes in the proportional and integral gain values, and these values are internal parameters of a controller implemented in a Raspberry Pi, allowing the neural network to act independently, from variations of temperature or climate action. The tests were carried out with a dryer prototype in temperature ranges from 0 to 40 °C, proving to be effective, bringing the ideal signal curve to the system. The work in question contributed to an improvement in the efficiency of temperature controllers, since the parameterization rework is

reduced and, as soon as, producing a performance for the prototype, verifying that the climatic differences make all the difference in the control process, either it at low or high temperatures. As well as in the improvement of artificial intelligence, where the sharing of information brings new ideas for the control of processes helping the energy saving for a sustainable world.

**KEYWORDS:** Artificial Intelligence, Neural Networks, Keras, Control, PID.

## 1 | INTRODUÇÃO

O controle de processo acompanha as atualizações de tecnologia, tornando a fábrica física em um sistema virtual, em que são realizados testes antes da produção do produto. Protótipos são criados para simular eventos, gerar resultados, reduzir erros e aperfeiçoar o profissional.

Neste trabalho foi utilizado um protótipo de secador de grãos aquecido por meio de resistência elétrica, a fim de simular as condições de trabalho e, através de sensores, gerar uma atualização dos parâmetros internos de controle (PI), originando-se de um sistema de topologia, e baseando em redes neurais ou ANN'S (*Artificial Neural Networks*) implementando-se, um controlador PI que utiliza redes neurais para a parametrização.

A análise de controle de temperatura de uma planta industrial, por exemplo, tem função de manter uma linearidade do sistema, variando a potência da resistência elétrica que aquece o túnel de ar para que se mantenha um aquecimento constante. Através dessa temperatura pré-estabelecida como desejável (*Setpoint*), esse degrau que se almeja atingir, deve-se ajustar aos parâmetros de controle para que o sistema se torne estável. Contudo, esses valores do PID (*Proportional Integral Derivative*), será ajustado conforme o processo em que a máquina é projetada, mas os valores desses parâmetros em uma forma “modelo ideal” é abstrato, tornando a tentativa e erro, uma demonstração da melhor saída para um ajuste fino na engenharia e no reconhecimento do processo (LJUNG, 2001).

Como justificativa desse controlador, é usado como exemplo, o armazenamento de grãos em silos, em que a temperatura costuma oscilar de acordo com as condições e períodos do dia. Nesse intervalo, a máquina poderá sofrer interferências, para tanto é necessário o devido reajuste no valor do PI, mantendo assim o processo estável e garantindo a qualidade do produto armazenado.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Redes neurais

Em se tratando de redes neurais, de acordo com Haykin (2004), o cérebro humano processa informações altamente complexas, havendo a possibilidade de armazenamento de dados em neurônios para tomar decisões e percepções mais rápidas que um computador. Nesse sentido, a rede neural vem de um modelo de aprendizado do ser humano, resultante

do processo de tentativa e erro ou pelas conexões conhecidas como pesos sinápticos. Esses pesos são atualizados para manter o conhecimento adquirido, sendo que também podem sofrer mutações, modificando assim a sua topologia, tão logo, formando um novo algoritmo de aprendizado.

A parte da unidade de processamento consiste em um diagrama de blocos de um neurônio conforme a Fig. 1. Nesse conjunto existem três elementos fundamentais (HAYKIN, 2004), tais como: sinapses/pesos aleatórios gerados pelo neurônio na entrada; somador/ combinador linear para equilibrar as funções; e função de ativação/ para o sinal de saída não tender ao infinito.

- Sinapses/pesos aleatórios gerados pelo neurônio na entrada;
- Somador/combinador linear para equilibrar as funções;
- Função de ativação/ para o sinal de saída não tender ao infinito.

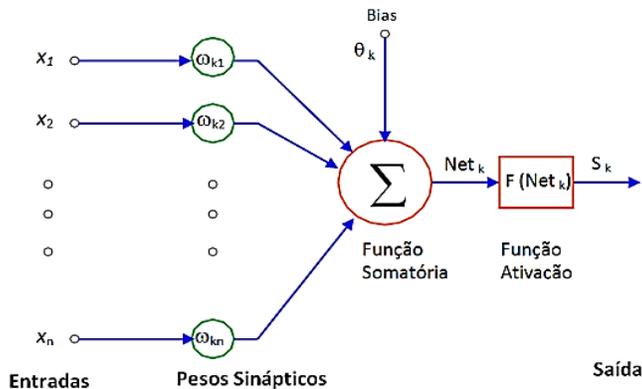


Figura 1 - Modelo de um neurônio Perceptron.

Fonte: Adaptado de Haykin (2004, p.36)

Sobre o processo de controle de temperatura, em alguns modelos de plantas industriais são inerentemente complexos, não-lineares e incertos. Essas mudanças de padrões a serem seguidos, não podem passar dos limites já pré-estabelecidos do processo de um sistema adaptativo. Conforme foi treinado, a rede neural apresentada manda os melhores parâmetros para o controlador, independentemente que a saída esteja no padrão ideal. E, ambos os controladores, adaptativos ou supervisionados, realizam testes para constatar se a função que foi utilizada está no padrão a ser alcançado (AZEVEDO; BRASIL; OLIVEIRA, 2000).

Referente a rede neural do Keras, de acordo com Ribeiro e Guimarães (2016), podemos definir Keras como uma biblioteca para rede neural de alto nível na linguagem

*python*, e que pode ser utilizada em CPU quanto em GPU. Essa aplicação funciona como coletor de dados de entrada em Tensorflow. O usuário pode variar o tipo de rede neural por outro exemplo de rede dentro da mesma biblioteca. A funcionalidade dessa biblioteca é a velocidade de processamento em matrizes predefinidas em *numpy*, quanto a definição do caminho a ser escolhido pela rede neural convulucional e redes recorrentes. Com esse otimizador interno de amostragem, o Keras determina seus parâmetros de saída em uma biblioteca própria em microssegundos, dependendo da matriz em exemplo.

Para gerar linearidade em sistema de controle, conforme dispõe Souza *et al.* (2014), ocorrem através de verificações da medida de saída do sistema. Essas medições fazem a troca de dados com a entrada e, desta forma, faz a atualização corrigindo o valor de atuação do sistema, tornando o processo um ciclo contínuo.

## 2.2 Método de controle de Ziegler Nichols

De acordo com Garcia (2018), o procedimento utilizado entre variados autores, e que serve de base para novos métodos de sintonia de P, PI e PID, é o método de Ziegler Nichols. Essa função matemática foi desenvolvida por JG Ziegler e NB Nichols em 1942, mas continua a ser um importante método de parametrização.

Segundo Bolton (1995), entre os variados tipos de sintonia que podem ser empregados para ajustar os ganhos do controlador, cada método utiliza-se de um modelo de parâmetros que são retirados do sistema. Com o método Ziegler Nichols se extrai as variáveis da Fig. 2 para sintonizar o controlador onde:

P = Sinal de teste % (degrau)

L = Tempo morto

T = Ponto de inflexão da curva

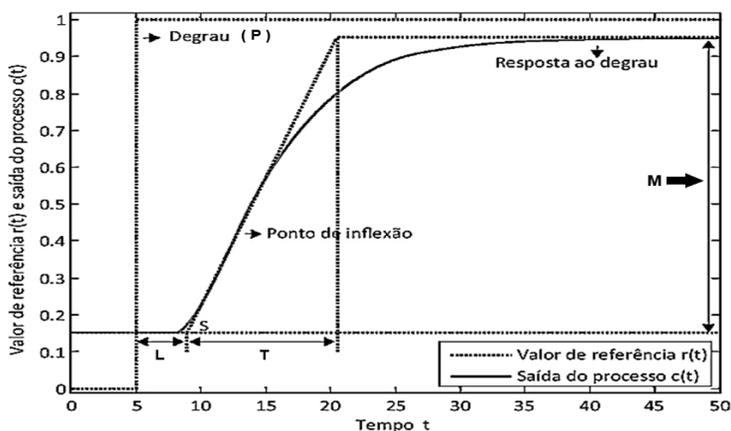


Figura 2 - Parâmetros de sintonia para o método da Curva de Reação do Processo.

Fonte: Adaptado de Garcia (2018, p.422).

Conforme Bolton (1995), utiliza - se a Eq. 1 onde intercepta o gradiente máximo, se retirar R e todas as variáveis se aplica a Tab.1 dependendo modelo de controlador P, PI e PID para realizar o ajuste fino do sistema.

$$R = \frac{M}{T} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

R = Gradiente máximo.

M = Sinal medido %

T = Tempo do gradiente máximo.

MODO DE CONTROLE	Kp	Ki	Kd
Proporcional	P/RL	0	0
Proporcional + Integrativo	0,9P/RL	1/3,33L	0
Proporcional + Integrativo + Derivativo	1,2P/RL	1/2L	0,5L

Tabela 1: Função de Ziegler Nichols, para controladores.

Fonte: Bolton (1995, p.360)

Onde:

Kp = Ganho proporcional

Ki = Ganho integral

Kp = Ganho derivativo

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para comprovação de um modelo de sintonizador que utiliza redes neurais, foi realizado um protótipo de secador apresentado na Fig. 3, para simular o evento do sistema de uma planta industrial.



Figura 3 - Protótipo de um secador.

Fonte: Do autor (2019)

Utilizou-se de um Raspberry Pi3 apresentado na Fig. 4, que desempenhou a função de controlador do sistema em questão. Outro componente utilizado foi o sensor de temperatura (DS18B20) que desempenhou a função de realimentação da planta. O atuador do processo que realizou o chaveamento de potência elétrica, foi um relé de estado sólido com *zero-cross*, variando a potência da resistência interna do secador.

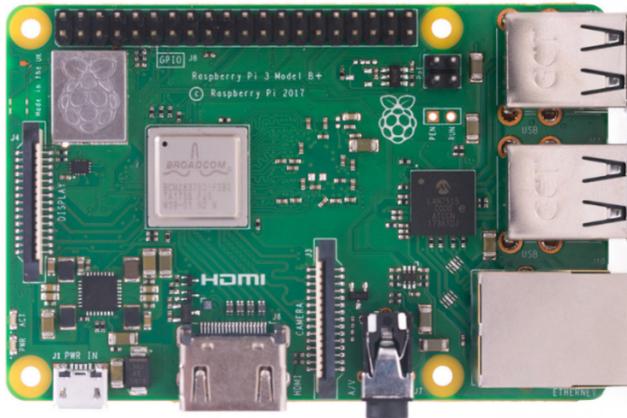


Figura 4: Raspberry Pi 3B+.

Fonte: Monk (2016).

### 3.1 Análise de controle

Com a análise e aplicação do método de Ziegler Nichols, foram retirados três modelos de gráficos, com variações de temperaturas externas entre 0 e 40°C. Para os primeiros testes realizados, foi condicionado dentro de uma câmara frigorífica com temperatura ajustada para 1 °C, por um controlador externo para que esse evento simulasse um dia de

temperatura baixa. Os demais testes realizados foram em seqüências, sendo: uma de 25 °C para temperaturas médias, e 40 °C para temperaturas altas. O teste realizado visa retirar os sobressinais e subssinais, que traga maior eficiência em um menor espaço de tempo.

### 3.1.1 Temperaturas baixas, médias e altas

Foram realizados dez testes para se obter a média da curva de temperatura do protótipo. A mesma quantidade foi aplicada para as três temperaturas.

O sinal de teste (degrau) foi de 60% da potência do sistema, com uma temperatura inicial de 1,56 °C. No decorrer do tempo de 1.200 segundos foi retirado o gráfico apresentado na Fig. 5, com uma temperatura final de 43,56 °C com o sistema já estabilizado. A frequência utilizada foi de 6,25Hz. O resultado foi de um período total de 160ms, onde 96ms foi atuado no sistema, e durante 64ms o mesmo permaneceu desligado. Durante o período em que o controlador ficou acionado, totalizou 6 ciclos completos da senoide.

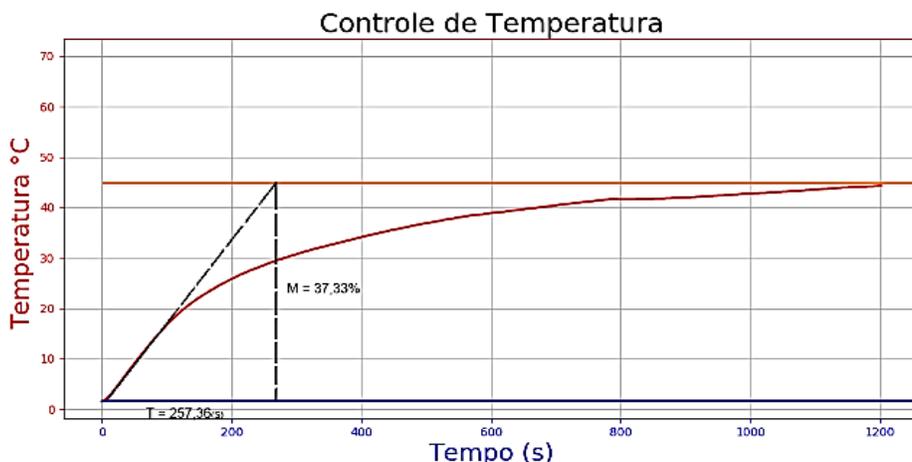


Figura 5 - Rampa de Aquecimento de 1,56 a 43,56 °C.

Fonte: Do autor (2019)

$$Kp = \frac{0,9 \cdot 60}{\frac{37,33}{257,36} \cdot 13} = 28,63 \qquad Ki = \frac{1}{3,33 \cdot 13} = 0,023 \qquad (1)$$

No teste para temperatura média de 25 °C, o sinal de teste (degrau) também foi de 60% da potência do sistema, com uma temperatura inicial de 25,86 °C. No decorrer do tempo de 1200 segundos, foi obtido o gráfico apresentado na Fig. 6 com uma temperatura final de 69,32 °C e com o sistema já estabilizado

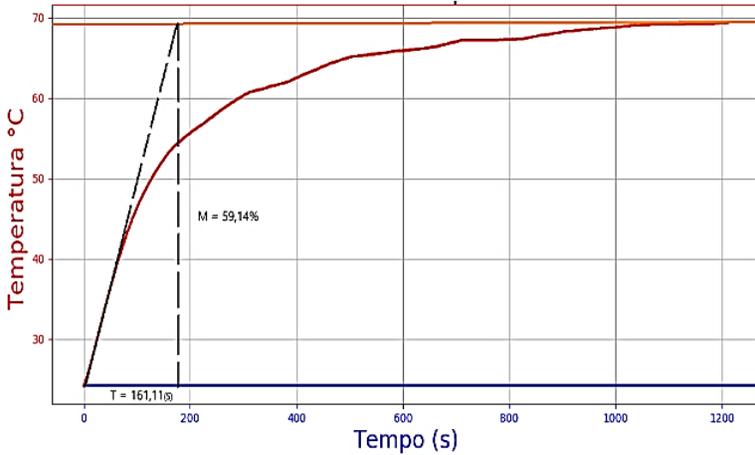


Figura 6 - Rampa de Aquecimento de 25,86 a 69,32 °C.

Fonte: Do autor (2019)

$$Kp = \frac{0,9 \cdot 60}{\frac{59,14}{161,11} \cdot 7} = 21,01 \quad Ki = \frac{1}{3,33 \cdot 7} = 0,043 \quad (2)$$

O teste realizado em temperaturas altas, de 40 °C, novamente foi feita a média dos teste realizados, no qual o sinal de teste (degrau) também foi de 60% da potência do sistema com uma temperatura inicial de 40,1 °C. No decorrer do tempo de 1200 segundos foi obtido o gráfico da Fig.7 com uma temperatura final de 74,27 °C e com o sistema já estabilizado, para poder aplicar o método em questão.

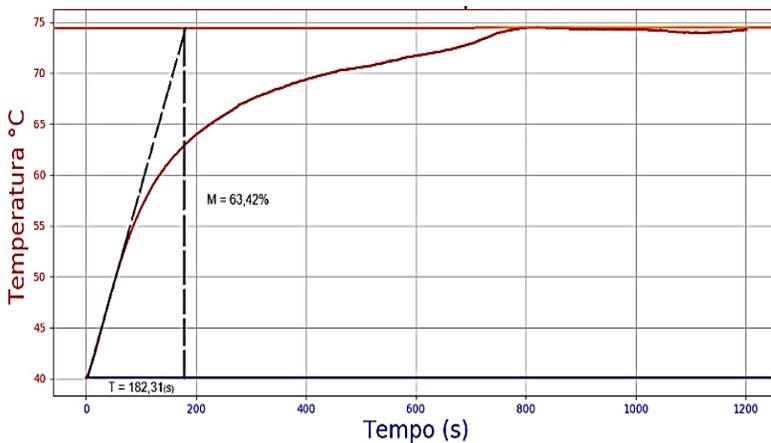


Figura 7 - Rampa de Aquecimento de 40,1 a 74,27 °C.

Fonte: Do autor (2019)

$$Kp = \frac{0,9 \cdot 60}{\frac{63,42}{182,31} \cdot 5} = 31,04$$

$$Ki = \frac{1}{3,33 \cdot 5} = 0,06 \quad (3)$$

### 3.2 Matrizes de aprendizado

Para o aprendizado da rede neural, foram desenvolvidas matrizes com os valores obtidos anteriormente modificando as variações dos ganhos de Kp e Ki. As matrizes da Fig.8 formam o modelo ideal da rede neural para variadas faixas de temperatura.

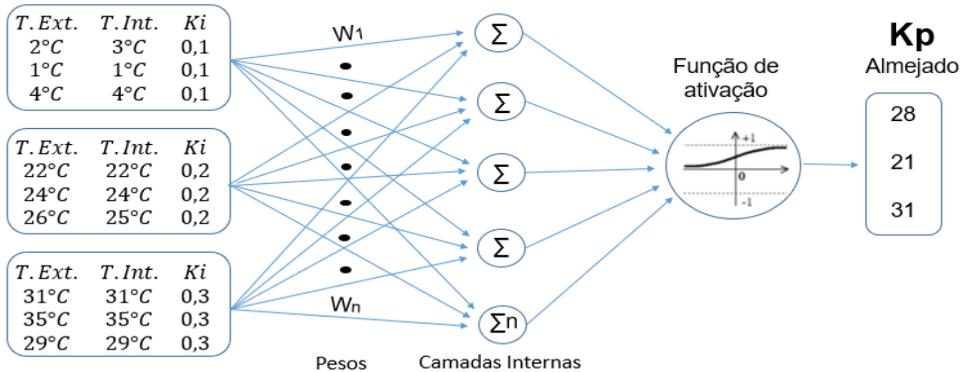


Figura 8 - Modelo de Rede neural.

Fonte: Do Autor (2019).

### 3.3 Fluxograma do controlador e programação

Para melhor entendimento do modelo de controlador com redes neurais, foi apresentado um fluxograma conforme Fig. 9. Na figura mostra cada parte do modelo ideal para execução do método, tanto quanto do controlador PI quanto da rede neural.

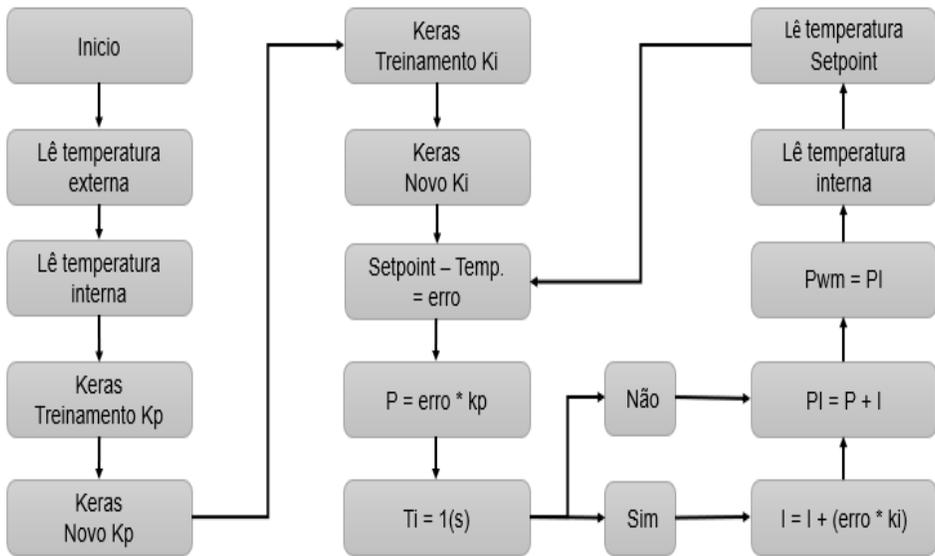


Figura 9: Fluxograma do controlador.

Fonte: Do Autor (2019).

Para retirada de dados do controlador é necessária a importação de algumas bibliotecas apresentado na Fig. 10. Essas bibliotecas são necessárias para a utilização em gráficos, Tensorflow, Keras, temporizadores, registradores do sensor, tela, entre outros, com finalidade de gerar a interface entre o usuário e o controlador.

```

#Tela
import tkinter as tk
import time
import RPi.GPIO as gpio
import threading
#Grafico
import matplotlib.pyplot as plt
#Sensor
import os
import glob
#Tensorflow/Keras
import tensorflow
import keras
import numpy as np
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout
from keras.callbacks import History
  
```

Figura 10: Importação de Bibliotecas.

Fonte: Do autor (2019)

### 3.3.1 Modelo de rede neural

A programação de uma rede neural necessita de várias linhas de código em linguagens de baixo nível (C, Java, C++, Assembly), porém em *python* em poucas linhas é possível produzir o modelo desejado, podendo treinar a rede com até quinhentas épocas em trinta segundos ou menos, a depender do dado de entrada.

A linha de programação utilizada é um dos modelos mais otimizados para obter velocidade de processamento. Na matriz de entrada são inseridos os dados como temperatura externa, temperatura interna e o ganho integral. Na matriz resultante são inseridos os possíveis resultados para o ganho proporcional, sendo que quanto maior for o conjunto de matrizes maior será a precisão do aprendizado da rede neural. A Fig. 11 mostra as entradas e saídas da rede neural.

```
x = np.array([[KI1,EXT1,INT1],[KI2,EXT2, INT2],[KI3, EXT3, INT3],#MATRIZ DE ENTRADA
              [KI4, EXT4, INT4], [KI5, EXT5, INT5]])
y = np.array([[KP1], [KP2], [KP3], [KP4], [KP5]])#MATRIZ RESULTANTE
```

Figura 11 - Rede Neural.

Fonte: Do autor (2019).

### 3.3.2 Dados da rede

Importando um modelo de biblioteca sequencial do keras, representado na Fig. 20, deve-se sobrepor as camadas da rede densamente conectadas com as camadas internas conforme a Fig. 12. Nessa rede foi utilizada três entradas com nove neurônios internos e apenas uma saída criando características de um neurônio *perceptron*. Através da função de compilação é dado alguns parâmetros como otimizadores “*sdg*”, *Stochastic gradient descent*, para reajuste dos pesos sinápticos. É necessário também uma função para calcular o erro da rede neural que é denominada “*mse*”, *mean squared error*, o quanto a rede se perdeu em relação a época anterior. E o método “*acc*”, *accuracy*, necessário para calcular a precisão da rede neural.

```
model = Sequential()
model.add(Dense(9, input_dim=3))
model.add(Dense(1))
model.compile(optimizer='sgd', loss='mse', metrics=['acc'])
```

Figura 12 - Criação da rede.

Fonte: Do autor (2019).

### 3.3.3 Treinamento da rede

Para treinar a rede conforme a Fig. 13 é passada as matrizes através de um número de épocas predefinidas nesse trabalho foi utilizado quinhentas épocas, com a rede neural já treinada deve ser inseridos os dados de temperatura do ambiente externo, temperatura interna e o ganho integral. Esses valores são transformados em uma matriz e essa matriz resultante é inserida no modelo de rede que já foi treinado, logo resultando em um novo valor para  $K_p$ . Após todo esse processo que levou aproximadamente trinta segundos. Em seguida a essa etapa é gerado uma nova rede para retirar o valor de  $K_i$ .

```
model.fit(x, y, callbacks=[history], epochs=epoca)
w =(sensor_interno/100)
v =(sensor_externo/100)
z =ki
lista = float(w), float(v), float(z)
th = np.asmatrix(lista)
result = model.predict(th)
losss = history.history ['loss']
kp = result*100
kp= kp[0][0]
```

Figura 13 - Treinamento da rede.

Fonte: Do autor (2019).

## 3.4 Análise dos valores para PID que foram realizados nas temperaturas baixas, médias e altas

Foram realizados os testes no controlador, e quanto ao resultado em faixas de temperaturas baixas conforme apresentado na Fig. 14, com a temperatura inicial de 2,25 °C, a rede neural conseguiu gerar uma resposta para  $K_p$  e  $K_i$ . Tornando o sistema estável e sua curva característica sem sobressinal ou subssinal, mostrando o comportamento ideal para esse tipo de temperatura. Em 1400 s, o controlador utilizou 100% do atuador para alcançar o setpoint.

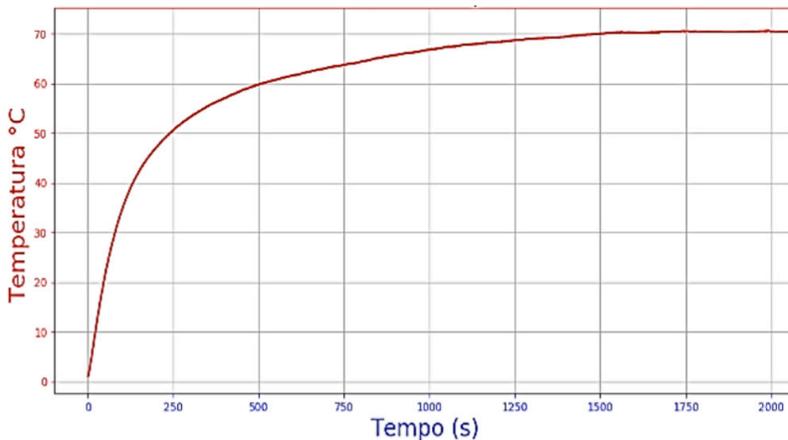


Figura 14 - Resposta do processo com Keras.

Fonte: Do autor (2019)

Quanto ao resultado em faixas de temperaturas médias, conforme analisado na Fig.15, a rede neural teve um erro de 0,0051% na temperatura externa de 26,44 °C. O modelo soube identificar a diferença de temperatura para fazer o reajuste do valor de  $K_p = 21,63$ .

```

Epoch 499/500
J9/9 [=====] - 0s 756us/step - loss: 0.0051
Epoch 500/500
J9/9 [=====] - 0s 574us/step - loss: 0.0051

Using TensorFlow backend.
TEMPERATURA DA FABRICA: 26.44 °C
IA-KP 21.63
  
```

Figura 15 - Rede neural gerando  $K_p$

Fonte: Do autor (2019)

Concluído o processo de aprendizado da rede  $K_p$  é novamente gerado outro modelo de rede neural conforme a Fig. 16, com novas matrizes para poder gerar um novo valor para  $K_i$  conforme os dados armazenados, onde o erro dessa rede foi de 0,00087%, sendo que o valor que a rede neural gerou de  $K_i = 0,21$ .

```
9/9 [=====] - 0s 703us/step - loss: 8.7380e-04  
0.21288517  
IA-KI 0.21
```

Figura 16 - Rede treinada gerando Ki

Fonte: Do autor (2019)

Conforme a Fig. 17, o processo para uma temperatura ambiente de 26,44 °C, se tornou estável com os valores gerados pela rede neural, sem sobressinal ou sub sinal, alcançando o Setpoint em 240 s, e depois se manteve estável. Nesse tempo, o controlador utilizou 62% do atuador.

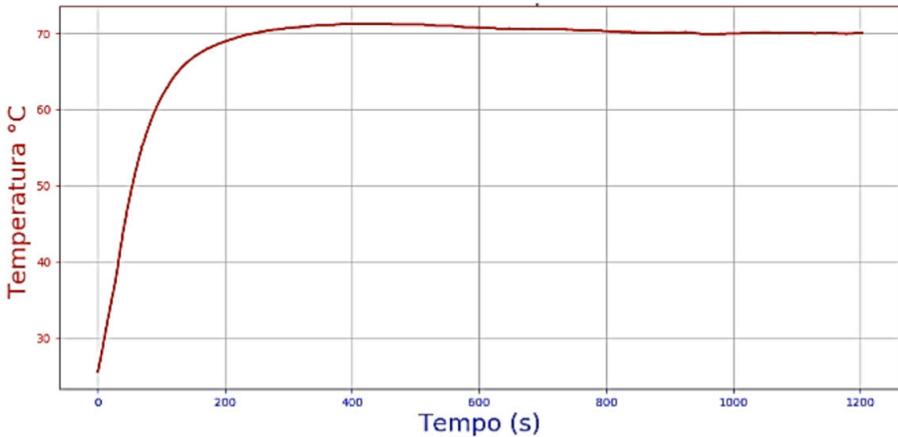


Figura 17 - Resposta do processo com temperatura de 26 °C

Fonte: Do autor (2019)

Referente ao resultado em faixas de temperaturas altas, de 39 °C, foram realizados novos valores para Kp e Ki. Nessas condições o controlador alcançou a faixa necessária para deixar o processo estável conforme a Fig. 18, idealizando que, independentemente da faixa de temperatura, os valores dos ganhos Kp e Ki foram trocados no controlador, mantendo o processo estável. Em 230 s, o controlador utilizou 53% do atuador para alcançar a temperatura almejada.

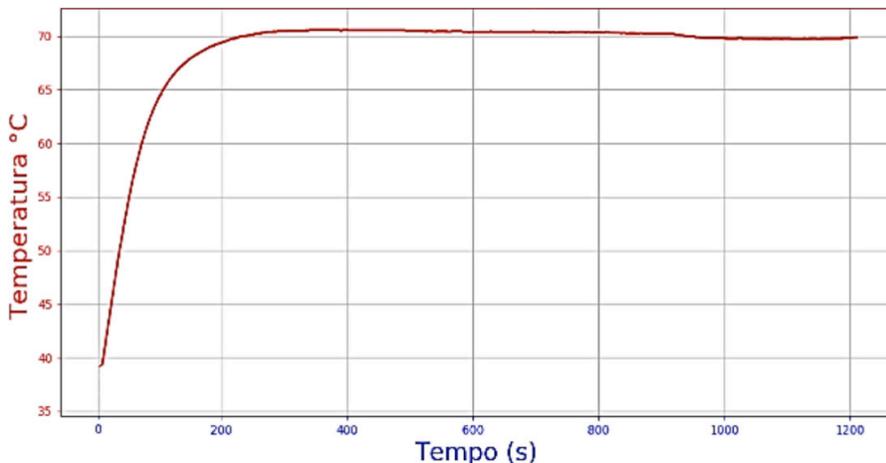


Figura 18 - Resposta do processo com temperatura de 39 °C

Fonte: Do autor (2019)

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi apresentado um método de sintonia de controladores de temperaturas através de redes neurais, para controle conforme as mudanças climáticas de cada região. Utilizou-se o método de Ziegler Nichols como princípio teórico.

Foram realizados testes para uma temperatura ambiente de 0°C no qual o processo se manteve estável, precisando de toda potência da resistência elétrica por mais de mil e quatrocentos segundos devido a carga térmica externa do secador, e em temperaturas médias de 24°C o controlador manteve uma potência de 60%. Também foram realizados com temperatura alta de 40°C, no qual o processo necessitou apenas de 50% de sua potência e seu tempo morto diminuiu mostrando que para cada temperatura externa existem ajustes específicos de parâmetros do controlador.

A principal vantagem desse modelo de controlador de temperatura, é de não precisar reprogramar o sistema quando é enviado para uma outra região com um clima diferente, ou até mesmo evitar um distúrbio no processo. Os avanços tecnológicos trazem um modelo único, no qual o usuário apenas adicionará a temperatura desejada e o controle fará todo o resto, não se preocupando com o clima ou perda de rendimento.

Dessa maneira foi apresentado uma rede neural de fácil aplicação e de processamento a uma velocidade de microssegundos, trazendo respostas rápidas para um controlador. Os avanços tecnológicos vêm trazendo a teoria de controle para uma modelo único. Onde o usuário apenas adicionará a temperatura desejada e o controle fará todo o resto não se preocupando com o clima ou perda de rendimento.

Para dar continuidade ao projeto propõe-se a implementação de uma realimentação da rede em outros secadores, resfriadores, aquecedores e fornos industriais para o aperfeiçoamento da inteligência artificial, onde o compartilhamento de informação traga novas ideias para o controle de processos ajudando a economia energética para um mundo sustentável.

Foi disponibilizado ainda o Código aberto para que outras pessoas possam utilizar e melhorar o controlador no site: <https://github.com/tiagoguarapari/Controlador-de-temperatura>.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Fernando Mendes de.; BRASIL, Lourdes Mattos.; OLIVEIRA, Roberto Célio Limão de. **Redes neurais com aplicações em controle e em sistemas especialistas**. Florianópolis: Visual Books, 2000. 401p. ISBN 8575020056

BOLTON, Willian. **Engenharia de controle**. London: Makron Books do Brasil, 1995. 497 p. Tradução de: Valceres Vieira Rocha e Silva.

GARCIA, Cláudio. **Controle de processos industriais: estratégias convencionais**. São Paulo: Blucher, 2018. 600 p.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e Práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 900 p. Tradução de: Paulo Martins Engel.

LJUNG, L. "Black-box models from input-output measurements", **Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conf.**, Budapest, pp. 138- 146.2) 2001.

MONK, Simon. **Raspberry Pi cookbook**. 2. ed. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2016. xiv, 493 p. ISBN 9781491939109.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 809 p. Tradução Heloisa Coimbra de Souza. Disponível em: <https://bv4.digitalpages.com.br/?from=listas-de-leitura#/legacy/2376> . Acesso em: 17 mar. 2019.

RIBEIRO, Maxwell ; GUIMARÃES, Samuel. 2016. **Redes Neurais utilizando tensorflow e keras**. disponível em: <http://revistas.unifenas.br/index.php/RE3C/article/view/231/163>.

SOUZA, Antônio Carlos Zambroni de et al. **Projetos, simulações e experiências em laboratório em sistemas de controle**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 254 p.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

AA8011 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 108  
Aço Inoxidável 49, 50, 53, 54, 58, 59  
Aeração 184, 185, 186, 187, 190, 192  
Alimentação 115, 120, 122, 249, 251, 300, 301, 302, 303  
Análise de Investimento 255  
Animais 300, 301, 306  
Ar Condicionado 175, 178, 181, 202, 203, 204, 238  
Automação e Controle 234  
Automação Industrial 234, 243, 268  
Automação Residencial 238, 241, 243, 300, 306

### B

Bananeira 1, 2, 3, 15, 16  
Bioenergia 19  
Biomassa 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 238  
Briquetes 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

### C

Carga Térmica 54, 175, 177, 178, 193, 195, 197, 199, 200, 201, 202, 203, 282  
Catia V5 211, 212, 220, 222, 224  
Climatização 187, 193, 194, 238, 239, 242, 244  
Compósito 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 249  
Conforto 209, 300  
Conforto Térmico 193, 194, 195, 199, 201, 202, 204, 205, 206, 209, 210  
Controle 6, 13, 112, 128, 166, 171, 173, 188, 207, 210, 234, 236, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 244, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 282, 283, 302, 303  
Corrosão Intergranular 49, 50, 51, 54, 55, 58, 59  
Custos 2, 18, 20, 61, 97, 111, 112, 113, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 151, 176, 234, 255, 256, 257, 262, 263

### E

Educação 1, 18, 30, 165, 166, 173, 174, 204, 245, 247, 253, 255, 300  
Eficiência 114, 116, 178, 180, 181, 190, 196, 234, 235, 236, 237, 238, 242, 243, 244

Eficiência Energética 18, 175, 177, 178, 181, 182, 183, 184, 196, 204, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Elementos Finitos 142, 143, 144, 148, 149

Energia 61, 76, 94, 98, 100, 120, 155, 178, 183, 189, 235, 236, 243, 245, 254, 257, 266, 267, 306

Energia Solar Fotovoltaica 245, 246, 254

Engenharia Mecânica 17, 49, 77, 95, 96, 111, 148, 150, 165, 166, 174, 182, 184, 192, 307

Ergonomia 193, 204, 211, 212, 213, 215, 220, 232

Extrusão 96, 97, 98, 100, 105, 107, 108, 109

## **F**

Fase Sigma 49, 50, 51, 53, 56

Fibra Natural 1

Fibra Vegetal 1, 2

## **I**

Índice de Calor 205, 206, 207, 208

Inteligência Artificial 150, 152, 154, 159, 237, 268, 283

## **L**

Laser 60, 61, 78, 79, 96, 97, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Liga AA7009 78

Liga AA7013 60

## **M**

Metalurgia do Pó 60, 61, 62, 71, 76, 77, 78, 79, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 103

Metrologia 165, 166, 169, 170, 173, 174, 177, 183

Moagem de Alta Energia 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 83, 84, 86, 89, 91, 92, 94, 96, 98, 100

## **O**

Ônibus 205, 206

## **P**

Piaçava 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

Propulsão de Embarcações 245, 246

## **R**

Redes Neurais 150, 152, 237, 240, 243, 244, 268, 269, 272, 276, 282, 283

Refrigerador de Grãos 184, 186

Resíduo 19, 30, 54

## **S**

Sistemas Fotovoltaicos 255, 265, 266, 267

Soldagem 61, 62, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 307

Sustentabilidade 175, 234, 245, 253

## **T**

Temperatura de Corte 142, 148, 152

Temperatura do Ar 184, 189, 199, 200, 205, 206, 207, 208

Texturização 126, 128, 129, 130, 139

Torneamento 126, 130, 133, 135, 136, 139, 148, 150, 152, 156, 161

Tubos Canadianos 184, 186, 192

Tubulações Industriais 111, 112, 119

## **U**

Umidade Relativa do Ar 6, 195, 205, 206, 207, 208

Usinagem 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 154, 156, 161

# Engenharia mecânica:

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

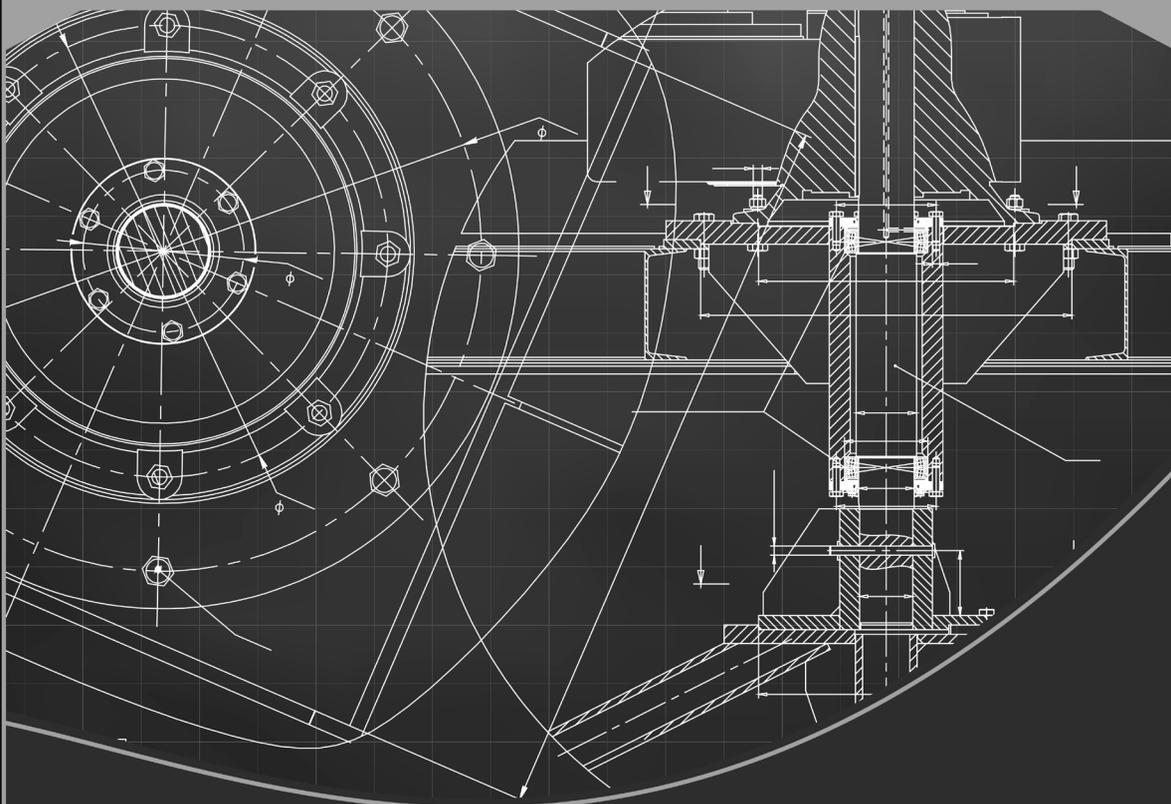
2

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

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

📷 @atenaeditora

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



**Atena**  
Editora

Ano 2021

# Engenharia mecânica:

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

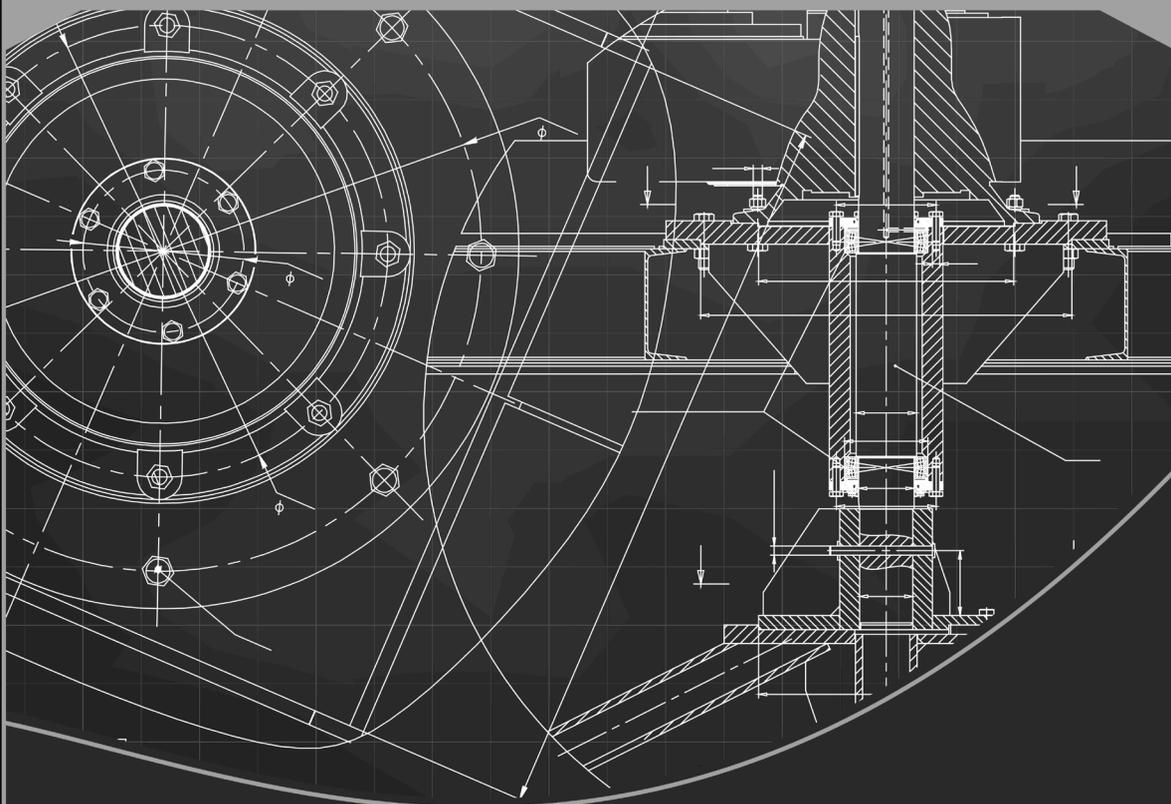
# 2

🌐 [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)



**Atena**  
Editora

Ano 2021