

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
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. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
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. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
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 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
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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
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 Gonçalo 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 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia de produção

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de produção / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-229-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.293212207>

1. Engenharia de produção. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.

CDD 670

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

Neste livro uma abordagem multidisciplinar de engenharia, com foco em aplicações de engenharia de produção e gestão estratégica.

O objetivo comum a quase todas as organizações é a melhoria da eficiência, aumento da eficácia na fabricação, o controle de qualidade e reduzir custos, ao mesmo tempo que torna seus produtos mais atraentes ao mercado.

Neste livro são apresentados trabalhos científicos relacionados a análise e melhoria de condições de produção e melhoria da competitividade.

Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE À INDÚSTRIA 4.0 E MATRIZ CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNICESUMAR, CAMPUS PONTA GROSSA

Fernanda Aparecida de Moraes

Adryan Oivlis Becher

Moisés Barbosa Júnior

Janaina Semanech Borcezi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122071>

CAPÍTULO 2..... 13

O IMPACTO DA INTERNET DAS COISAS NA INDÚSTRIA 4.0

João Victor Millano Batista

Thiago Pignatti de Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122072>

CAPÍTULO 3..... 27

ANÁLISE ERGONÔMICA DE UM POSTO DE TRABALHO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE DO RAMO ALIMENTÍCIO

Pedro Picolo Malandrino

Tiago Bernardino Vargas

Bruno Samways dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122073>

CAPÍTULO 4..... 36

MATRIZ SWOT: DIAGNOSTICO DE VINÍCOLA COM CENÁRIO DA SECA NO SERTÃO DE PERNAMBUCO

Fernando de Sousa Medeiros

André William David de Sena

Francyelly Julyanny Barbosa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122074>

CAPÍTULO 5..... 47

ANÁLISE ENTRE MÉTODOS DE BENCHMARKING APLICADOS A PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Viviane Vaz Monteiro

Anselmo Claudino de Sousa

Lorran Kennedy Rabelo Silva Romano

Caio Ramos Barbosa

Solange da Silva

Felipe Corrêa Veloso dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122075>

CAPÍTULO 6..... 60

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS E DO POTENCIAL DE CRESCIMENTO DOS BANCOS DIGITAIS POR MEIO DE FERRAMENTAS DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

Luis Henrique de Oliveira Ribeiro
Marina Fernandes Sodré
Carlos Roberto Falcão de Albuquerque Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122076>

CAPÍTULO 7..... 72

ANÁLISE DA GESTÃO PARA SOLUÇÕES DE SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

Viviane Vaz Monteiro
Rogério Martins Ferreira
Anselmo Claudino de Sousa
Solange da Silva
Felipe Corrêa Veloso dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122077>

CAPÍTULO 8..... 84

RELAÇÃO DOS PROGRAMAS DE ASSISTÊNCIA SOCIAL DO BRASIL COM AS VARIÁVEIS MACROECONÔMICAS PELA ANÁLISE FATORIAL

Viviane de Senna
Adriano Mendonça Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122078>

CAPÍTULO 9..... 104

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA SOLUÇÃO SIMULTÂNEA DA CALIBRAÇÃO DE CÂMERA E DA CINEMÁTICA INVERSA APLICADAS EM UM BRAÇO MANIPULADOR ROBÓTICO DIDÁTICO

Márcio Mendonça
Marina Sandrini
Marina Souza Gazotto
Beatriz Sandrini
Marta Rubia Pereira dos Santos
Rodrigo Henrique Cunha Palácios
Ivan Rossato Chrun

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2932122079>

CAPÍTULO 10..... 122

PREVISÃO DE DEMANDA DE CARROS NO BRASIL: COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS CONVENCIONAIS E A REDE NEURAL RECORRENTE BIDIRECIONAL LSTM

Everton Vaz de Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.29321220710>

CAPÍTULO 11	139
GERENCIAMENTO COLABORATIVO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	
Bruna Christina Battissacco	
Walther Azzolini Júnior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.29321220711	
CAPÍTULO 12	152
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO LUCRATIVA ANÁLISE CRÍTICA DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	
Márcia Regina Marques Amado da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.29321220712	
CAPÍTULO 13	169
ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO MASP NAS TRATATIVAS DE NÃO CONFORMIDADES EM UMA TRANSPORTADORA: UM ESTUDO DE CASO	
Katieli Schneider	
Berenice de Oliveira Bona	
Anderson Luiz Dornelles	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.29321220713	
CAPÍTULO 14	183
AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO PARA IDENTIFICAR FALHAS NOS PROCESSOS PRODUTIVOS QUE GERA PERDAS E CUSTOS NA PRODUÇÃO	
Espedito Alves Bezerra	
Tamires Sousa Araujo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.29321220714	
CAPÍTULO 15	192
TECNOLOGÍA DE JAULAS MARINAS PARA CULTIVO DE PECES EN EL LITORAL DE ILO, PERÚ – 2020	
Walter Merma Cruz	
Alfredo Maquera Maquera	
Dionicio Clímaco Hualpa Bellido	
Patricia Matilde Huallpa Quispe	
Nelly Azucena Sotelo Medina	
Lucy Goretti Huallpa Quispe	
Brígida Dionicia Huallpa Quispe	
Edward Paul Sueros Ticona	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.29321220715	
SOBRE OS ORGANIZADORES	204
ÍNDICE REMISSIVO	205

CAPÍTULO 9

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA SOLUÇÃO SIMULTÂNEA DA CALIBRAÇÃO DE CÂMERA E DA CINEMÁTICA INVERSA APLICADAS EM UM BRAÇO MANIPULADOR ROBÓTICO DIDÁTICO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 04/05/2021

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Marina Sandrini

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9713381415675435>

Marina Souza Gazotto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0919399626765318>

Beatriz Sandrini

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9987980907193377>

Marta Rubia Pereira dos Santos

ETEC- Jacinto Ferreira de Sá
Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0838678901162377>

Ivan Rossato Chrun

Faculdade de Engenharia e Arquitetura
(FEITEP)
Departamento de Engenharia Elétrica
Maringá – PR
<http://lattes.cnpq.br/0858072527100289>

RESUMO: Robótica de manipulação vem ganhando espaço nas indústrias, devido ao avanço tecnológico e por ser um dos pilares da Indústria 4.0, quando a mesma é utilizada de forma autônoma e não programada, como atualmente ainda é utilizada na maioria das aplicações, em especial montadoras de veículos. Posto isso, a pretende-se contribuir com esse trabalho a inclusão de uma técnica inteligente para solução de dois problemas clássicos e inerentes a robótica de manipulação, e conseqüentemente uma das etapas para o desenvolvimento de um manipulador autônomo. De um modo geral, braços manipuladores robóticos tem uma abrangente possibilidade de aplicações tais quais em indústrias, viagens espaciais e até mesmo cirurgias á distância. Seu emprego para deslocamento de objetos de um ponto ao outro é simples, mas quando se deseja manipular objetos específicos de um determinado conjunto, a tarefa se torna muito complexa. Buscando a solução para este problema, a visão computacional serve

na identificação de um objeto cuja sua coordenada é traduzida pelo braço como uma solução de sua cinemática inversa. Este trabalho propõe o desenvolvimento de Redes Neurais Artificiais para exercer as duas tarefas essenciais simultâneas de calibração de câmera e solução da cinemática inversa. Foram estudadas topologias de três configurações de Redes Neurais Artificiais com 1, 2 e 3 camadas com o objetivo de encontrar um número de neurônios por camada com menor erro. Os resultados mostraram que o Redes Neurais Artificiais de 3 camadas apresentou menor erro com a quantidade de neurônios validada. Trabalhos futuros abordarão esta configuração para casos tridimensionais, planejamento de trajetória e robótica colaborativa.

PALAVRAS - CHAVE: Redes Neurais Artificiais, Cinemática Inversa, Visão Computacional.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THE SIMULTANEOUS SOLUTION OF CAMERA CALIBRATION AND REVERSE KINEMATICS APPLIED IN A DIDACTIC ROBOTIC MANIPULATOR ARM

ABSTRACT: Manipulation robotics has been gaining ground in industries, due to technological advances and for being one of the pillars of Industry 4.0, when it is used autonomously and not programmed, as it is currently still used in most applications, especially vehicle assemblers. That is intended to contribute to this work the inclusion of an intelligent technique for solving two classic problems inherent to manipulation robotics, and consequently one of the steps for the development of an autonomous manipulator. Generally, robotic arm manipulators have many applications such as in industries, space missions and even remote surgeries. It has a simple use for moving objects from one point to another, but the task becomes overly complex when the specific object belongs to a particular set. The computer vision serves as a solution for this problem and identifies an object whose coordinate is translated by the manipulator as a solution of its inverse kinematics. This work proposes the development of an Artificial Neural Networks to perform two simultaneous tasks as camera calibration and Inverse kinematics solution. Topologies of three configurations of Artificial Neural Networks with 1, 2 and 3 layers were studied to find a number of neurons per layer with less error. The results showed that the Artificial Neural Networks of 3 layers presented less error with the number of neurons validated. Future work will address this configuration for three-dimensional cases, trajectory planning and collaborative robotics.

KEYWORDS: Artificial Neural Networks, Inverse Kinematics, Computer Vision.

1 | INTRODUÇÃO

Os primeiros robôs tinham a função de substituir trabalhadores na indústria responsáveis por tarefas simples e repetitivas. Linhas de produção em série foram criadas sem a presença de humanos, possibilitando que os robôs atuassem em ordens específicas de o processo industrial de maneira simples como carregar um objeto de um ponto a outro.

Atualmente, os manipuladores precisam de mais flexibilidade quanto á manipulação de um objeto em diferentes coordenadas ou até reconhecer objetos específicos para agrupar em uma ordem correta (BEM-ARI; MONDADA, 2018). A visão computacional tem sido uma ferramenta útil para esse fim, possibilitando o controle da posse do braço robótico

em relação a um alvo através de captura de imagem (CORKE, 2011). Câmeras digitais são empregadas na robótica pelo fato de proverem mais informações que simplesmente distância ou arco de trajetória em direção a um objeto (BEM-ARI; MONDADA, 2018).

Alguns trabalhos abordam de formas diferentes a mesma situação da visão computacional com a cinemática inversa. Os autores Mishra e Meruvia (2014) propõem definir o movimento do braço robótico através de uma câmera de profundidade apta para capturar o *input* do usuário e a cinemática inversa do manipulador. Se comparada a outros métodos, essa técnica é mais simples e eficiente no processo de aprendizagem, tornando assim o processo mais intuitivo.

Já Mussabayev (2015) utiliza um algoritmo que identifica um objeto em um plano 2D e resolve o problema da cinemática inversa por meio do método iterativo de jacobiana inversa. O resultado foi, então, enviado a um Arduino microcontrolador que foi responsável por rotacionar servo motores dos cotovelos do braço robótico.

Uma aproximação da cinemática inversa é abordada por Zou et. al (2006) com a aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA) *Feedforward*. A velocidade de cada servo motor e o tempo de trajetória de um ponto inicial até um ponto final são estimadas pela câmera infravermelha do console Nintendo Wii. Os experimentos mostraram sucesso ao fazer o braço robótico viajar por uma trajetória estabelecida.

Uma abordagem da visão computacional combinada com o problema de múltiplas soluções não foi encontrada com aplicação em RNAs. Por isso o objetivo desse artigo consiste em desenvolver um método para solucionar o problema da cinemática inversa e a calibração de câmera através de uma única RNA. A simplificação de ambas as tarefas possibilita o cálculo de posição do manipulador no espaço e economia de cálculo computacional. Essa aplicação foi proposta por um trabalho anterior de Barros et al. (2017).

Esse trabalho está dividido da seguinte forma, na sessão 2 modelo cinemático, a 3 visão computacional, a 4 redes neurais artificiais e a 5 treinamento das redes neurais artificiais. Já a sessão 6 apresenta simulação e os resultados dessa investigação científica. A sessão 7 apresenta escolha das melhores topologias, a 8 validação e comparação dos melhores resultados. E, finalmente a sessão 9 apresentado conclusão e endereça futuras investigações.

2 | MODELO CINEMÁTICO

Segundo Craig (2005) a cinemática é a ciência do movimento que estuda as derivadas de alta ordem da posição, como velocidade e aceleração, sem considerar as forças que a causam. No âmbito da robótica de manipulador, refere-se a todas as propriedades geométricas e as propriedades em relação ao tempo de movimento. A cinemática direta propõe o estudo analítico do movimento de um braço robótico em relação a um sistema cartesiano e sua solução encontra a posição final partindo dos ângulos das juntas.

Um manipulador é um braço composto por um conjunto de seções e juntas podendo ser prismáticas, de revolução, de rosca ou esféricas. As equações cinemáticas utilizam parâmetros das juntas para determinar a posição do efetuador. A Figura 1 mostra um modelo de 2 graus de liberdade (GDL) onde L_1 e L_2 sendo a dimensão das seções 1 e 2 do braço, θ_1 e θ_2 os ângulos das juntas 1 e 2 e (x,y) o ponto desejado no final da garra do manipulador.

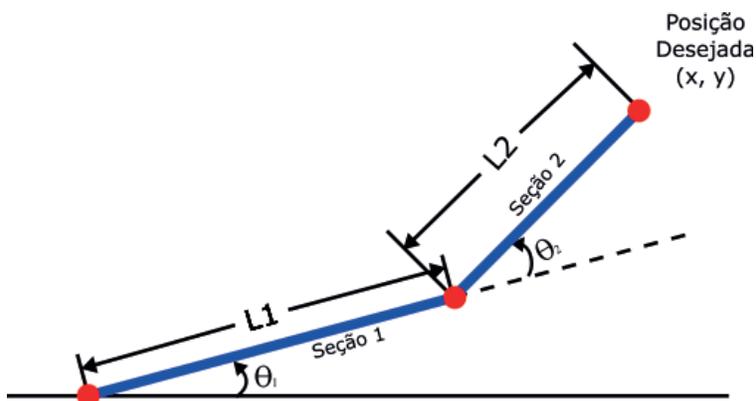


Figura 1: Modelo cinemático de um braço robótico de 2GDL em 2D.

Fonte: Autoria Própria.

Ao contrário da cinemática direta, a cinemática inversa do manipulador busca as coordenadas em graus para uma posição cartesiana final do braço. Todavia, esse processo não possui uma solução única e precisa ser calculado numericamente (CORKE, 2011). A solução pode partir de uma RNA treinada através de uma nuvem de pontos determinados pelos parâmetros de *Denavit-Hartenberg* (DH). Esses parâmetros possibilitam expressar a cinemática do manipulador para cada junta considerando um eixo de coordenadas em cada seção do braço. Na Figura 2 apresenta os seus parâmetros α_i , a_i , d_i and por junta i (CRAIG, 2005).

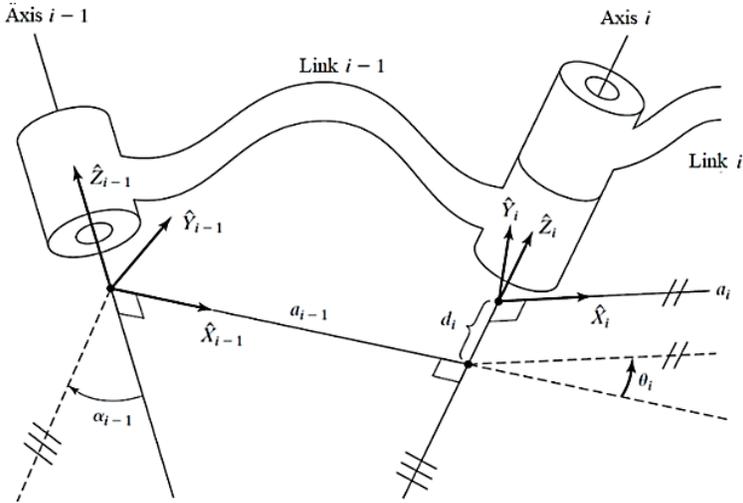


Figura 2: Seções e juntas do modelo DH.

Fonte: Autoria Própria.

Uma descrição dos parâmetros abaixo:

- a_i é a distância do eixo \hat{Z}_i ao \hat{Z}_{i+1} medida em \hat{X}_i ;
- α_i é o ângulo entre os eixos \hat{Z}_i e \hat{Z}_{i+1} medida em \hat{X}_i ;
- d_i é a distância do eixo \hat{X}_{i-1} ao \hat{X}_i medido em \hat{Z}_i ;
- θ_i é o ângulo entre os eixos \hat{X}_{i-1} to \hat{X}_i medido em \hat{Z}_i .

Cada junta é definida pela matriz da Equação (1) (CRAIG, 2005).

$$T_i^{i-1}(\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i) = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i C\alpha_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i S\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Se tratando de 2 GDL, o DH matricial será:

$$T_2^0 = T_1^0 \times T_2^1 \quad (2)$$

O modelo DH usado neste trabalho é mostrado na Tabela 1 e é definido pelo robô da Figura 3.

Seção	α (°)	D (mm)	A (mm)	Θ (°)
1	90	70	0	θ_1
2	0	0	142	θ_2
3	-90	0	145	θ_3

Tabela 1: Parâmetros do Modelo DH.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 3: Robô AR7 base para os parâmetros DH da simulação.

Fonte: Autoria Própria.

3 | VISÃO COMPUTACIONAL

A visão computacional se relaciona com as formas que um computador ou máquina vê o ambiente ao redor (GONZALEZ; WOODS, 2002). A captação de imagens é fundamental para manipuladores assim como é para humanos. Da mesma forma que o cérebro identifica objetos e características do ambiente, o robô precisa igualmente processar a imagem capturada pela câmera (BEM-ARI; MONDADA, 2018). O primeiro passo é a calibração de câmera, pois ela permite uma correlação entre as coordenadas da imagem e as coordenadas do mundo real, incluindo parâmetros com a posição, orientação e centro focal (WOO; PARK, 2009).

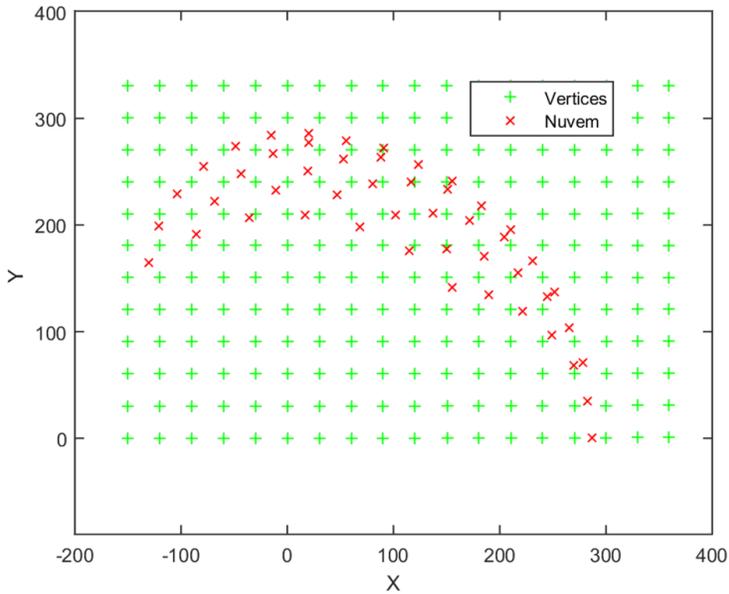


Figura 4: Nuvem de pontos sobre o tabuleiro de calibração 2D.

Fonte: Autoria Própria.

No procedimento de calibração, a simulação considera uma câmera posicionada de modo a captar todo o campo de visão dentro do alcance do braço no plano 2D desejado. A calibração de câmera é feita pelo algoritmo de *Harris* (*Harris Corner Extraction Algorithm*) no MATLAB, que extrai os vértices da imagem 2D, vista na Figura 4, e cria uma relação da distância entre vértices na imagem e a distância verdadeira de 20 mm no mundo real (JIN; RUI, 2011) (GUO; HE; GUAN, 2017) (SUN et al., 2016) (YUAN et al, 2013).

A Figura 4 representa um gráfico de erros, sendo os vértices do tabuleiro representados por “+” verdes, e a nuvem de pontos do DH, em “x” vermelhos. Os pontos verdes são os resultados desejados e a nuvem mostra os resultados alcançados. Sendo assim, é possível ver a calibração de câmera, com a correlação entre as coordenadas da imagem e as coordenadas do mundo real.

4 | REDES NEURAIS ARTIFÍCIAIS

Redes Neurais Artificiais são métodos computacionais inspirados no sistema nervoso humano. Possuem capacidade de aquisição e manutenção de conhecimento e podem ser definidas como conjuntos de unidades de processamento. Cada uma delas é caracterizada por neurônios artificiais e são interligados por muitas interconexões ou sinapses artificiais representadas por vetores e matrizes de pesos sinápticos (DA SILVA et al., 2017). Generalizando, RNAs são máquinas que modelam uma solução para uma tarefa

específica ou problema em particular. Sua implementação é realizada em simulação de software computacional ou por componentes eletrônicos (HAYKIN, 2009).

O uso desse método apresenta benefícios quanto ao custo computacional. O seu algoritmo tem a habilidade de chegar a soluções aproximadas de problemas complexos pela sua estrutura de distribuição paralela maciça e capacidade de treinamento (aprendizado). Na prática, RNAs precisam ser integradas a sistemas com aplicação em engenharia (HAYKIN, 2009). Neste contexto estão diversos problemas como aproximar funções, controle de processos, reconhecimento de padrões, sistemas de previsão entre outros. O Comportamento dos neurônios está diretamente ligado ao algoritmo de aprendizado escolhido para o treinamento e pode ser classificado em três classes fundamentais: camada única, multicamada e *recurrent network* (HAYKIN, 2009).

5 | TREINAMENTO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

A fase de treinamento visou desenvolver RNAs para exercer duas tarefas simultaneamente: a calibração da câmera e a solução da cinemática inversa. Os dados de treinamento consistem em escolher os vértices do tabuleiro dentro do alcance do robô. Esses pontos de coordenada cartesiana (x, y) possuem uma coordenada (θ_1, θ_2) correspondente das juntas do braço. O levantamento de dados foi feito utilizando o solver do MATLAB para simular uma medição manual do operador. Cada solução encontrada obedecia a um padrão para que se evitasse erro no treinamento.

6 | SIMULAÇÃO E RESULTADOS

A proposta desta análise topológica é investigar a quantidade ideal de neurônios por camada com o menor erro. O estudo se divide em três topologias diferentes no número de camadas e iguais no total de neurônios. A Figura 5 mostra o passo a passo da simulação dividindo as topologias em três colunas: sendo a primeira coluna correspondendo a um RNA de 1 camada e as demais colunas referentes às RNAs de 2 e 3 camadas. Os critérios de comparação utilizados foram às médias do erro relativo e do desvio para os eixos X e Y no plano cartesiano.

O algoritmo de treinamento foi o *Levenberg-Marquadt* (L-M) com função de ativação tangente hiperbólico (*tansig*) nas camadas intermediárias e a função rampa simétrica (*ramp*) na camada de saída. O método de validação cruzada foi utilizado na busca de um mínimo local do erro (Haykin, 2009) e buscou-se empiricamente um erro de performance de no mínimo $1,0 \times 10^{-8}$.

A Figura 6 mostra os erros relativos de X e Y e média de erros relativos presente na Topologia de uma camada de neurônios. O resultado da simulação em MATLAB para uma camada de neurônios. As fases de treinamento e teste foram executadas num total de 10 vezes. Inicialmente, 6 neurônios foram introduzidos no treinamento do RNA e a cada novo

treinamento, 6 neurônios eram incrementados.

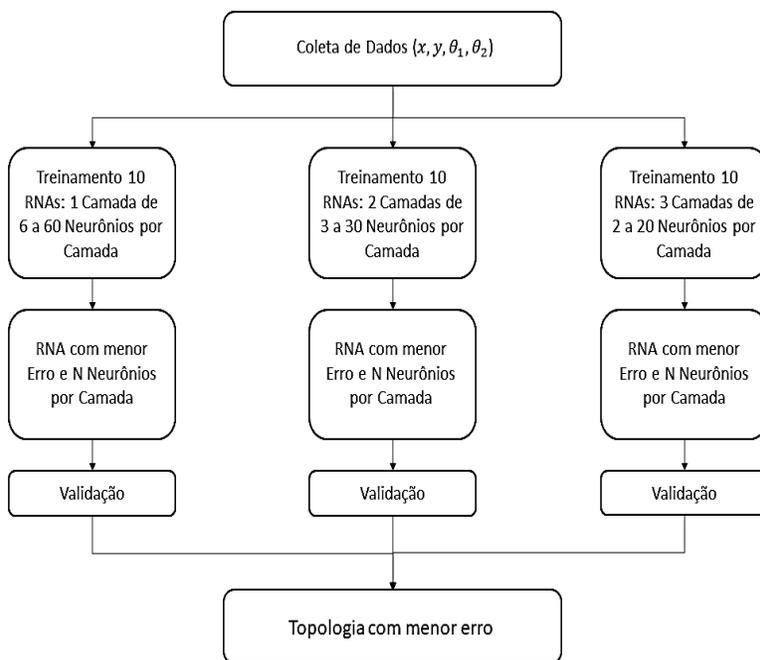


Figura 5: Passo a passo da simulação.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 6 apresenta os resultados do experimento, e mostra que os erros das posições em X são menores que as posições em Y. Em relação a X, o resultado mais preciso está nas primeiras camadas, e o resultado com maior desvio está na última camada. Já em relação a Y, os maiores desvios estão presentes nas três últimas camadas.

A Figura 7 apresenta os erros relativos de X e Y e média de erros relativos presente na Topologia de duas camadas de neurônios. Os resultados são explanados, porém se diferem da primeira situação, por causa distribuição proporcional de neurônios em suas duas camadas. A determinação do número de neurônios em cada camada foi incremental de 3 em 3 até 30.

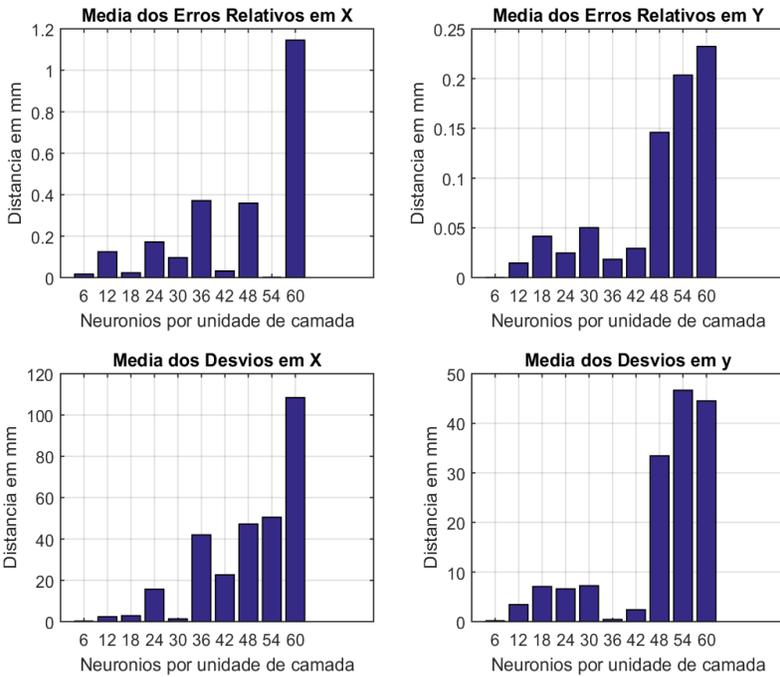


Figura 6: Erros relativos de X e Y, incremento de 6 em 6 neurônios.

Fonte: Autoria Própria.

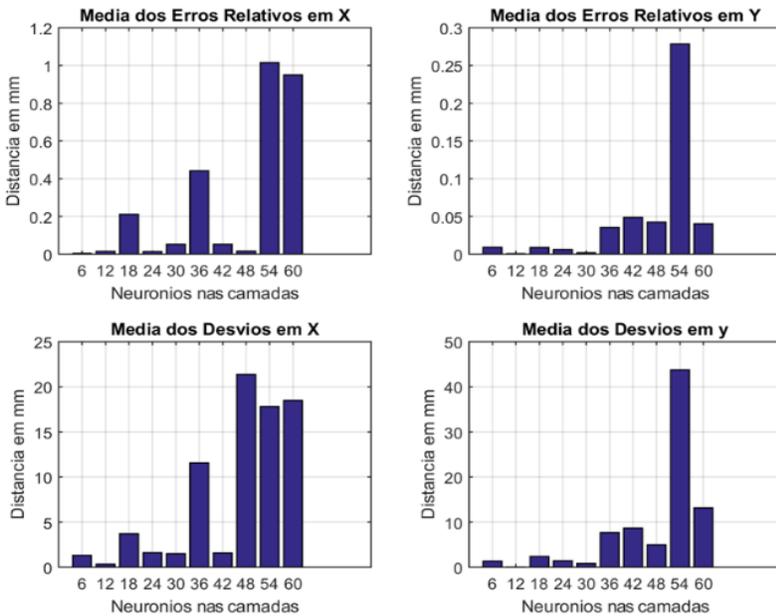


Figura 7: Erros relativos de X e Y, incremento de 3 em 3 neurônios.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 7 apresenta os resultados do experimento, e mostra que os erros das posições em X são maiores que das posições em Y. Em relação a X, tem um desvio maior na maior parte das camadas. Sendo Y mais preciso, pois apresenta um maior desvio em apenas uma camada.

Já na última topologia de três camadas representada na Figura 8 possui distribuição análoga as anteriores, assim como a sua determinação do número de neurônios de 2 em 2 até 20. A Figura 8 apresenta os erros relativos de X e Y e média de erros relativos presente na Topologia de três camadas de neurônios

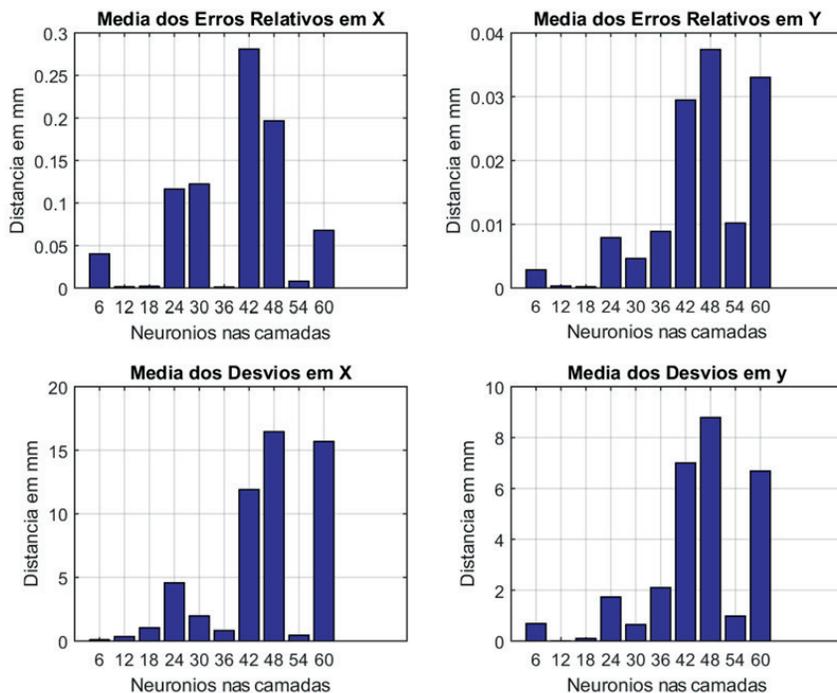


Figura 8: Erros relativos de X e Y, incremento de 2 em 2 neurônios.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 8 apresenta os resultados do experimento, e mostra que os erros das posições em X são semelhantes que as posições em Y. Em relação a X e Y, os resultados são mais precisos nas primeiras camadas.

7 | ESCOLHA DAS MELHORES TOPOLOGIAS

A melhor configuração para cada topologia significa a menor ocorrência de erro se comparadas nos três casos. Os pontos testados em todos os casos foram os mesmos e por isso a comparação entre os resultados desta fase pode ser realizada.

Vale notar que, como o sistema de treinamento escolhido, o número de épocas das topologias não foi considerado relevante e servia como critério de parada. Todavia, treinamentos foram excluídos ao atingirem o número máximo de épocas sem alcançar o mínimo coeficiente de performance.

Analisando a média de erros relativos e de desvios em ambos os eixos, percebe-se que, no geral, os testes apresentaram melhores resultados quando as RNAs foram treinadas com 12 neurônios distribuídos entre as camadas de cada caso. Todavia, se analisados separadamente, a topologia com 6 neurônios teve o menor erro para uma camada. Este resultado é desconsiderado devido à validação cruzada, pois, como visto na Tabela 2, o coeficiente de performance não atingiu o critério de parada desejado de $1,0 \times 10^{-8}$ e parou antes ao atingir o número limite de 5.000 épocas de treinamento.

Neurônios	Performance do caso 01	Épocas do caso 01	Performance do caso 02	Épocas do caso 02	Performance do caso 03	Épocas do caso 03
6	$6,7761 \times 10^{-05}$	5000	$1,2613 \times 10^{-04}$	5000	$2,9433 \times 10^{-04}$	5000
12	$9,9798 \times 10^{-09}$	2583	$9,9967 \times 10^{-09}$	1096	$9,9923 \times 10^{-09}$	2408
18	$9,9137 \times 10^{-09}$	184	$7,4371 \times 10^{-09}$	99	$9,6415 \times 10^{-09}$	268
24	$4,5780 \times 10^{-10}$	69	$6,2473 \times 10^{-11}$	9	$6,1545 \times 10^{-10}$	9
30	$8,8001 \times 10^{-09}$	13	$3,8868 \times 10^{-10}$	6	$8,4195 \times 10^{-11}$	28
36	$1,8970 \times 10^{-12}$	5	$9,0038 \times 10^{-09}$	6	$1,9863 \times 10^{-13}$	11
42	$9,5512 \times 10^{-12}$	5	$5,4463 \times 10^{-16}$	5	$7,0409 \times 10^{-15}$	9
48	$3,7422 \times 10^{-09}$	4	$6,2169 \times 10^{-09}$	4	$4,8235 \times 10^{-10}$	6
54	$7,4396 \times 10^{-14}$	4	$3,3486 \times 10^{-11}$	4	$1,3676 \times 10^{-09}$	5
60	$3,0722 \times 10^{-13}$	4	$1,1007 \times 10^{-09}$	4	$1,2183 \times 10^{-15}$	5

Tabela 2: Coeficiente de Performance e Épocas das Topologias.

Fonte: Autoria Própria.

O coeficiente de performance (*training performance*) é uma função presente no *Software* MATLAB para avaliar o desempenho da rede neural artificial. Essa ferramenta calcula do erro quadrático médio (MSE) na comparação entre o resultado desejado pelo treinamento e o resultado atingido a cada época de treinamento (MATHWORKS, 2006).

8 | VALIDAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Etapa de validação permite constatar qual o número de camadas se adequa a quantidade de neurônios escolhida na seção anterior. Como na seção de topologias, o processo é dividido em três casos distribuindo proporcionalmente os 12 neurônios entre as camadas, mantendo as configurações dos RNAs anteriores.

O primeiro caso possui uma única camada com 12 neurônios, as Figuras a seguir apresentam a validação dos pontos, onde círculos são os pontos desejados e os asteriscos

são os pontos calculados pela RNA e um histograma dos desvios dos pontos em milímetros. A Figura 9 é dividida em duas partes para um melhor entendimento dos resultados obtidos após a validação. Essa compara a posição dos pontos de validação, os círculos em vermelho e os pontos calculados pela RNA, os asteriscos em azul.

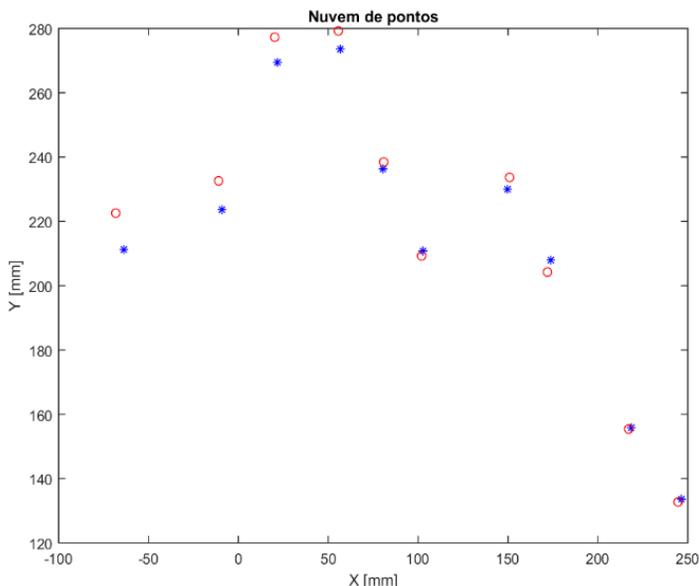


Figura 9: Pontos alcançados no espaço 2-D, no 1º caso.

Fonte: Autoria Própria.

Já na Figura 10, apresenta um histograma da distribuição dos pontos entre intervalos de desvio em ambos os eixos X e Y em milímetros. Nota-se que alguns pontos apresentaram desvio maior que 4 mm no eixo Y.

O segundo caso possui 12 neurônios distribuídos igualmente por duas camadas, mantendo as configurações de validação anteriores. A Figura 11 mostra uma maior aproximação entre os círculos vermelhos, os pontos de validação e os asteriscos azuis, os pontos calculados pela RNA treinada com duas camadas.

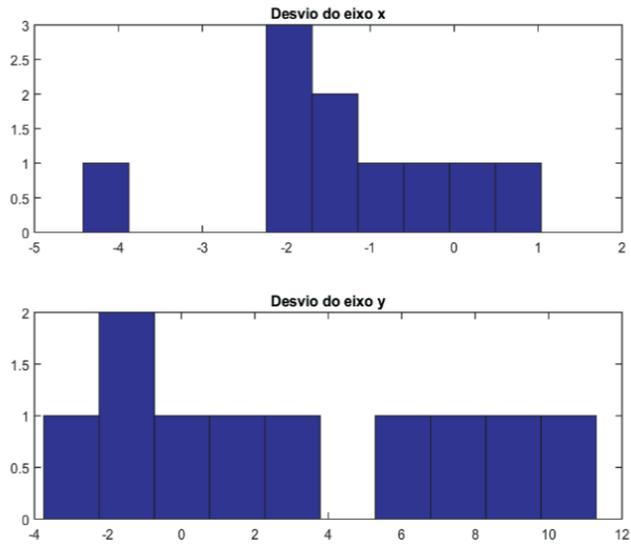


Figura 10: Histograma do 1º caso.

Fonte: Autoria Própria.

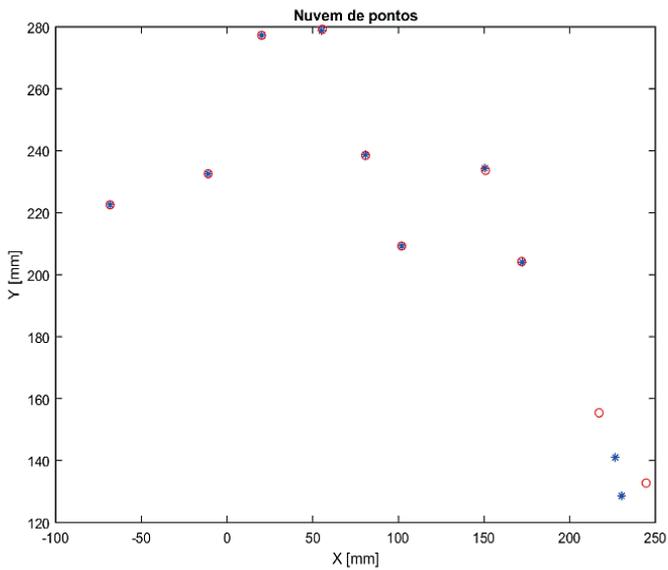


Figura 11: Pontos alcançados no espaço 2-D, no 2º caso.

Fonte: Autoria Própria.

Logo, na Figura 12, os histogramas mostram uma maior concentração de pontos com desvios em X e Y próximos de zero, embora dois pontos apresentem desvios muito altos.

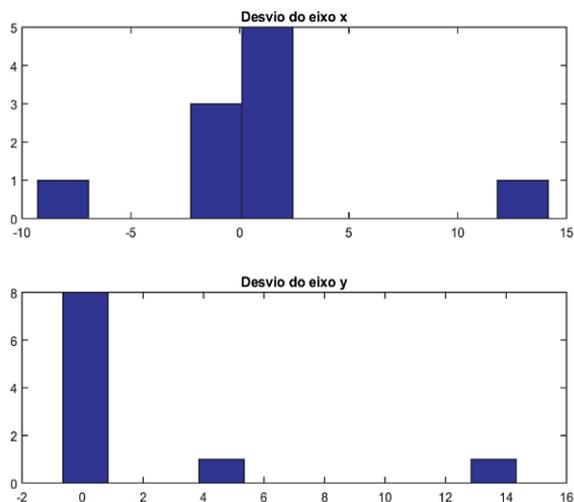


Figura 12: Histograma do 2º caso.

Fonte: Autoria Própria.

No último caso distribuiu os 12 neurônios entre 3 camadas para o treinamento. Os resultados apresentaram melhor precisão, na Figura 13 devido a uma maior aproximação entre os pontos de validação e os pontos calculados pela rede, se comparado com os casos anteriores.

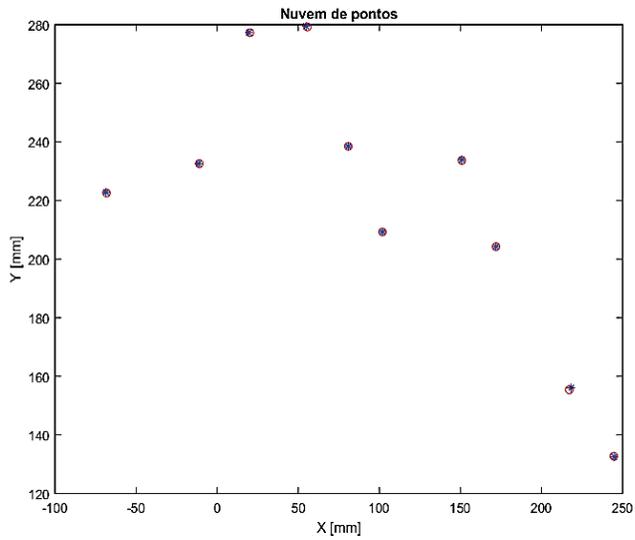


Figura 13: Pontos alcançados no espaço 2-D, no 3º caso.

Fonte: Autoria Própria.

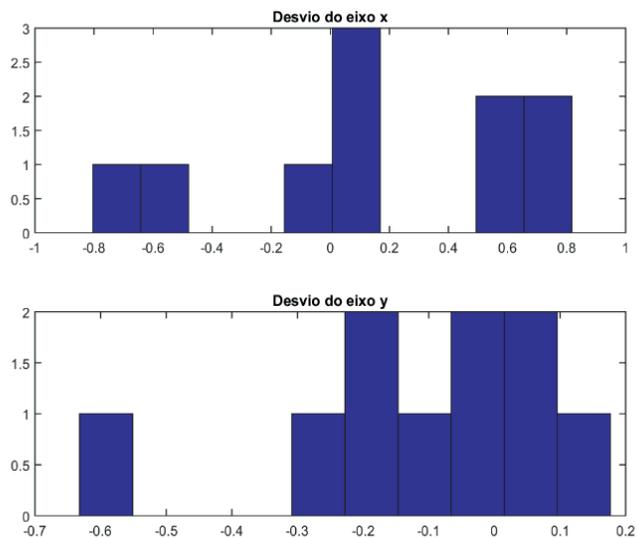


Figura 14: Histograma do 3º caso.

Fonte: Autoria Própria.

Analisando os histogramas na Figura 14 percebe-se uma maior quantidade de pontos com desvio próximo a zero. O terceiro caso apresentou um desvio em ambos os

eixos dentro de um intervalo entre -1 mm e 1 mm, 15 vezes menor em comparação com os outros dois casos.

9 | CONCLUSÃO

A proposta de unir a calibração de câmera à solução da cinemática inversa no treinamento da mesma RNA mostrou-se mais precisa para 4 neurônios em 3 camadas (total de 12) se comparado aos outros casos de 1 e 2 camadas. A precisão apresentada mostrou uma aproximação menor que 1 mm entre os pontos calculados pela RNA e os pontos de validação. Desvios menores que 0,2 mm em módulo foram observados no eixo X, por 4 pontos, e no eixo Y, por 8 pontos, enquanto os outros casos mostraram desvios maiores que 1 mm em muitos pontos – alguns com até 14 mm. Esse método se mostra eficiente na economia computacional ao exercer a função de duas RNAs em apenas uma, economizando também tempo na coleta de dados para treinamento e solução do problema.

Futuros trabalhos endereçam inserir planejamento de trajetória aplicando esse método proposto em um manipulador robótico por meio de visão computacional utilizando duas câmeras em 3 dimensões e aplicações empregando conceitos de robótica colaborativa.

REFERÊNCIAS

BARROS, R. V. P. D. ET AL. **Visão Computacional e Redes Neurais Artificiais aplicadas à solução da cinemática inversa de um manipulador robótico**. VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR, BR: APREPRO, 2017

BEN-ARI, M.; MONDADA, F. **Elements of Robotics**. Springer International Publishing, 2018.

CORKE, P. **Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in MATLAB**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

CRAIG, J. J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 3 ed. Upper Saddle River, USA: Pearson Prentice Hall, 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS., R. E. **Digital Image Processing**. 6 ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2002.

GUO, F., HE, Y.; GUAN, L. RGB-D. **Camera Pose Estimation Using Deep Neural Network**. IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), p. 408–412, 2017.

HAYKIN, S. **Neural Networks and Learning Machines**. 3 ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2009.

JIN, L. G.; RUI, L. G. **Camera Calibration for Monocular Vision System Based on Harris Corner Extraction and Neural Network**. International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), p. 1–4, 2011.

MATHWORKS. **Mean Squared Normalized Error Performance Function (MSE)**. Available in: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/mse.html?searchHighlight=mse&s_tid=doc_srchtile>. Accessed: 06 nov. 2018.

MISHRA, A. K.; MERUVIA-PASTOR, O. **Robot Arm Manipulation Using Depth-Sensing Cameras and Inverse Kinematics**. Oceans - St. John's, p. 1–6, 2014.

MUSSABAYEV, R. R. **Colour-Based Object Detection, Inverse Kinematics Algorithms and Pinhole Camera Model for Controlling Robotic Arm Movement System**. Twelve International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), p. 1–9, 2015.

DA SILVA, I. N. ET AL. **Artificial Neural Networks: A Practical Course**. 1 ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

SUN, J. ET AL. **Camera Calibration and Its Application of Binocular Stereo Vision Based on Artificial Neural Network**. 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), p. 761–765, 2016.

WOO, D.; PARK, D. **Implicit Camera Calibration Using MultiLayer Perceptron Type Neural Network**. First Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, p. 313–317, 2009.

YUAN, M. ET AL. **A New Camera Calibration Based on Neural Network with Tunable Activation Function in Intelligent Space**. Sixth International Symposium on Computational Intelligence and Design, p. 371–374, 2013.

ZOU, A. ET AL. **Neural Networks for Mobile Robot Navigation: A Survey**. *Advances in Neural Networks* - ISSN 2006, n. 2, p. 1218–1226, 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AET 27, 28

Análise Fatorial 11, 84, 86, 88, 90, 91, 92, 100, 103

Análise SWOT 36, 41, 60, 64, 66

Aprendizagem 106, 122, 129, 135, 136, 145, 172

Assistência Social 11, 84, 85, 90, 92, 99, 100, 101, 102, 103

Aumento da lucratividade 183

Automação 3, 4, 6, 7, 8, 14, 23, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 185

B

Banco digital 60

BENCHMARKING 10, 47

C

Cadeia de Suprimentos 12, 20, 21, 24, 136, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 150

Competências 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 19, 20, 24, 165, 167

Competitividade 9, 2, 3, 40, 41, 44, 49, 58, 122, 153, 159, 160, 161, 169, 170, 191

Configuração de Rede 139

Controle de nível 72, 73, 76, 77, 80, 81

Crise Hídrica 36, 39, 40, 44

Cultivo 12, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 199, 200, 203

D

Desempenho 8, 15, 16, 20, 41, 47, 48, 49, 50, 55, 56, 57, 58, 76, 115, 126, 127, 142, 143, 148, 149, 151, 157, 165, 180

E

Eficácia 9, 16, 28, 40, 50, 74, 143, 148, 169, 170, 171, 173, 176

Engenharia 2, 9, 10, 12, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 24, 45, 58, 82, 83, 103, 104, 111, 120, 122, 137, 139, 152, 153, 163, 166, 182, 183, 191, 204

Ergonomia 6, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34

Estatística Multivariada 84, 102

F

Ferramenta da qualidade 44, 183, 189, 190

Forças de Porter 60, 63, 67, 69

G

Gestão Colaborativa 139, 141, 148

I

Impactos 13, 14, 20, 21, 23, 24, 36, 50, 61, 84, 100, 139, 140, 141, 146, 148, 150

Indústria 4.0 10, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 69, 104, 145

Indústria Alimentícia 27, 184, 186, 187

Indústria Automotiva 12, 139, 140, 145, 149

Integração 8, 14, 17, 18, 19, 21, 74, 75, 76, 85, 96, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 149, 150, 165

Internet das Coisas 10, 3, 8, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

J

Jaula Flotante 193, 201, 203

L

Lucro 152, 153, 156, 158, 163, 165, 166, 186

M

MASP 12, 169, 170, 172, 181, 182

Matriz curricular 10, 1, 2, 3, 5, 8, 9, 11

Modelo de Negócio CANVAS 60, 69

P

Peces Marinos 192, 193, 194, 195, 196

Previsão de demanda 122, 123, 137, 164

Produção 2, 9, 10, 12, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 42, 43, 44, 45, 51, 74, 75, 82, 83, 103, 105, 120, 122, 123, 137, 139, 140, 142, 143, 145, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 183, 184, 185, 186, 187, 191, 204

Q

Qualidade 9, 1, 6, 7, 16, 17, 27, 28, 29, 36, 40, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 52, 57, 58, 61, 62, 65, 66, 67, 72, 74, 75, 82, 85, 99, 153, 156, 157, 159, 160, 161, 164, 165, 166, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 176, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 190

Quarta Revolução Industrial 1, 2, 3, 8, 12, 13, 14, 145, 149

R

Rede Neural 11, 115, 122, 123, 127, 129, 134, 135, 136

Redução de custos 3, 72, 73, 75, 157, 160, 161, 162, 163, 183

Resultado 3, 19, 24, 33, 34, 49, 55, 69, 73, 78, 89, 93, 106, 111, 112, 115, 130, 131, 134, 160, 169, 172, 175, 181

Rula 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35

S

Saneamento Básico 10, 47, 50, 57, 74, 82

Sistema Convencional 72, 73, 80, 81

Sustentabilidade 72, 190

T

Toyotismo 152, 153, 154, 156, 157, 159, 160, 166

V

Vitivinícola 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 46

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021