



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
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
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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
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
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P964 A produção do conhecimento na engenharia elétrica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-65-2
 DOI 10.22533/at.ed.652202303

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Granza, Marcelo Henrique.
 CDD 623.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na engenharia elétrica que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros de produto.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE TURBINAS EÓLICAS EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO MATLAB/SIMULINK NA APRENDIZAGEM DE SISTEMAS DE CONTROLE	
Marcos José dos Santos Junior Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza João Luiz Dallamuta	
DOI 10.22533/at.ed.6522023031	
CAPÍTULO 2	11
RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MEDIDORES DE ENERGIA NO CONTEXTO DE UM APLICATIVO DE AUTOLEITURA	
Arthur Costa Serra João Vitor Ferreira França Ricardo Costa da Silva Marques Wesley Kelson Ribeiro Figueredo Artur Bernardo Silva Reis Italo Francyles Santos da Silva Simara Vieira da Rocha Aristófanos Correa Silva Eliana Márcia Garros Monteiro Italo Fernandes Serra da Silva Marcia Izabel Alves da Silva José Messias dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6522023032	
CAPÍTULO 3	23
O CONCEITO DE CASA INTELIGENTE APLICADO A PAÍSES DESENVOLVIDOS E EMERGENTES: BENEFÍCIOS, BARREIRAS E GRAU DE ADESÃO	
Florença Moraes da Silva Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.6522023033	
CAPÍTULO 4	36
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
DOI 10.22533/at.ed.6522023034	
CAPÍTULO 5	49
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
DOI 10.22533/at.ed.6522023035	

CAPÍTULO 6	58
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
DOI 10.22533/at.ed.6522023036	
CAPÍTULO 7	72
SIMULAÇÃO DE SINTONIZAÇÃO DE AUTOMÁTICA PARA UM CONTROLADOR PID EM UMA PLANTA NÃO-LINEAR USANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Diogo Aparecido Cavalcante de Lima Hiago Araújo Silva Alexandre Carvalho Silva Maurício José Aureliano Júnior Alexandre Cardoso Edgard Afonso Lamounier Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.6522023037	
CAPÍTULO 8	82
CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE POSIÇÃO PARA UM ROBÔ PARALELO COM APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CONFECCIONISTA	
Asafe dos Santos Silva Acarcio Gomes de Almeida Júnior Alexander Patrick Chaves de Sena João Manoel Freitas Souza José Lucas Moreira Cavalcanti de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.6522023038	
CAPÍTULO 9	95
DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTROLE HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO	
Murilo Ferreria Vitor Alexsandro dos Santos Silveira Guilherme Matias Rodolfo César Costa Flesch	
DOI 10.22533/at.ed.6522023039	
CAPÍTULO 10	110
UMA NOVA ABORDAGEM DE UM SIMULADOR VIRTUAL DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADO NA METODOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES INSERIDO NO CONTEXTO DE REDES NEURAIS	
Matheus Silva Pestana Orlando Donato Rocha Filho Danúbia Soares Pires	
DOI 10.22533/at.ed.65220230310	
CAPÍTULO 11	124
INFLUÊNCIA DO ERRO DE QUANTIZAÇÃO APLICADO NO CONTROLE DIGITAL DE VELOCIDADE DE UM MÓDULO SERVOMECANISMO DIDÁTICO	
Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza	

João Luiz Dallamuta

DOI 10.22533/at.ed.65220230311

CAPÍTULO 12 135

CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

Edilberto Pereira Teixeira

Luciano Rangel Pinheiro Neto

DOI 10.22533/at.ed.65220230312

CAPÍTULO 13 147

ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Pablo Rodrigues Lopes

Rui Bertho Junior

DOI 10.22533/at.ed.65220230313

CAPÍTULO 14 159

MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO

Kayon Vinicius Lima Lopes

Danúbia Soares Pires

Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.65220230314

CAPÍTULO 15 172

MODELO DE NEURÔNIO MEMRISTIVO DE DIÓXIDO DE VANÁDIO COM CODIFICAÇÃO DE IMPULSOS PRBS-PWM

Rennan Santos de Araujo

Luiz Alberto Luz de Almeida

Felipe Sadami Oiwa da Costa

DOI 10.22533/at.ed.65220230315

CAPÍTULO 16 187

MODELO MISO NEBULOSO COM ESTRUTURA MAMDANI APLICADO À ANÁLISE E CONTROLE DE VAZÃO HÍDRICA

Lorena Maria Figueiredo Albuquerque

Kayon Vinicius Lima Lopes

Orlando Donato Rocha Filho

Danúbia Soares Pires

DOI 10.22533/at.ed.65220230316

CAPÍTULO 17 199

SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAÇÃO DE ENGENHARIA COGNITIVA EM *SERIOUS GAMES*

Mateus Gomes Binatti

Marcos Venícios Conceição de Araújo

Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo

DOI 10.22533/at.ed.65220230317

CAPÍTULO 18	209
FILTRO DE KALMAN BASEADO EM MODELO FUZZY TAKAGI – SUGENO VIA ANÁLISE ESPECTRAL DE DADOS EXPERIMENTAIS	
Daiana Caroline dos Santos Gomes Ginalber Luiz de Oliveira Serra	
DOI 10.22533/at.ed.65220230318	
CAPÍTULO 19	224
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.65220230319	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240
ÍNDICE REMISSIVO	241

SIMULAÇÃO DE SINTONIZAÇÃO DE AUTOMÁTICA PARA UM CONTROLADOR PID EM UMA PLANTA NÃO-LINEAR USANDO ALGORITMO GENÉTICO

Data de aceite: 17/03/2020

Data de submissão: 07/12/2019

de Engenharia Elétrica

Uberlândia – MG

<http://lattes.cnpq.br/0239619592699303>

Diogo Aparecido Cavalcante de Lima

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Elétrica

Uberlândia – MG

<http://lattes.cnpq.br/2013978292322934>

Hiago Araújo Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Elétrica

Uberlândia – MG

<http://lattes.cnpq.br/6602695000385581>

Alexandre Carvalho Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Elétrica

Uberlândia – MG

<http://lattes.cnpq.br/7471848591836966>

Maurício José Aureliano Júnior

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Elétrica

Uberlândia – MG

<http://lattes.cnpq.br/5323209083313394>

Alexandre Cardoso

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Elétrica

Uberlândia – MG

<http://lattes.cnpq.br/3767009717402045>

Edgard Afonso Lamounier Júnior

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade

RESUMO: O controlador PID (proporcional, integral, derivativo) é um dos algoritmos de controle mais difundido no ambiente industrial. Ele é um algoritmo robusto, de fácil entendimento e capaz de obter resultado satisfatório para uma grande gama de processos industriais. Todavia, 96% de todos os controladores na indústria são PID, por isso ter controladores bem sintonizados e ferramentas que possam acompanhá-los ao longo do tempo e auto sintonizá-los quando necessário é um fator diferencial, pois diminui-se o custo e aumenta-se a produtividade. Entretanto apesar de difundido seu desempenho muitas vezes está abaixo do esperado. Nos últimos anos diversos trabalhos acadêmicos, propõem combinação de diversos métodos e tecnologias para maximizar o desempenho dos controladores PID, e este trabalho propõem a utilização de algoritmos genéticos para encontrar os valores de sintonização proporcional, integral, derivativo um controlador PID utilizando o ambiente de programação Matlab juntamente como sua ferramenta de simulação Simulink.

PALAVRAS-CHAVE: controlador PID; ajuste automático; algoritmo genético.

AUTOMATIC TUNING SIMULATION FOR A PID CONTROLLER ON A NONLINEAR PLANT USING GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT: The PID controller (proportional, integral, derivative) is one of the best-known control algorithms in the industrial environment. It is a robust algorithm, easy to understand and able to obtain satisfactory results for a wide range of industrial processes. However, 96% of all controllers in the industry are PIDs, so having well-tuned controllers and tools that can accompany them over time and auto tune them when needed is a differential factor as it decreases the cost and increases productivity. However, although widespread, its performance is often below expectations. In recent years several academic papers have proposed combining several methods and technologies to maximize the performance of PID controllers, and this work propose the use of genetic algorithms to find the values of proportional, integral, derivative tuning a PID controller using the programming environment Matlab along with its Simulink simulation tool.

KEYWORDS: PID controller; automatic adjustment; Genetic Algorithm.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, os sistemas de controle automáticos são utilizados em diversos setores da indústria tais como: controle de qualidade, linha de montagem, sistema de transportes, sistemas de potência, tecnologia espacial, robótica dentre várias outras (FACCIN, 2004). Basicamente a ideia de um sistema de controle é controlar de alguma maneira as saídas de algum sistema através de suas entradas. Em um sistema automático essa realimentação se torna de difícil controle, pois cada ação retorna uma reação diferente. Todavia essa retroalimentação torna o controle mais rápido, precisa menos sensível a erros.

Porém, a cada realimentação, as entradas podem ser totalmente diferentes da anterior, deixando a velocidade de resposta abaixo do esperado (VISHAL, 2014). Assim sendo, métodos de otimização são bem-vindo, para atuar no processo de retroalimentação de controladores PID.

Dentre os vários métodos de otimização existentes, os algoritmos genéticos destacam-se por conseguir fazer buscas em extremamente eficientes em um grande espaço de soluções possíveis (LINDEN, 2012). No campo da inteligência computacional os algoritmos genéticos simulam a mesma técnica de evolução feita pelos seres vivos ao longo de milhares de anos.

Este trabalho, tem como objetivo geral utilizar técnicas de algoritmo genético para encontrar respostas automáticas para os valores de entrada de um controlador PID não linear. Ele tem como objetivos específicos: revisão bibliográfica de Controladores PID e de Algoritmo Genético; desenvolver um protótipo utilizando o ambiente de programação Matlab e o ambiente de simulação Simulink.

2 | CONTROLADORES PID

Existem três controladores básicos que são: proporcional, integral e derivativo. A união destes três controladores fez surgir o controlador PID, que produz um dos mais eficientes algoritmos de controle já desenvolvido (FACCIN, 2004). O controlador proporcional, integral, derivativo ou simplesmente controlador PID, é uma técnica de controle de processos que une as ações derivativas, integrais e proporcionais, “onde o modo integral é usado para eliminar o erro estacionário causado por grandes variações de carga. O modo derivativo, com o seu efeito estabilizador, permite um aumento do ganho e reduz a tendência para as oscilações” (LOURENÇO, 1997). A validação do algoritmo do controlador PID é dada pela seguinte equação:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

“Onde, $u(t)$ é saída do controlador, $e(t)$ é erro, K_p é ganho proporcional, K_i é ganho integral e K_d é ganho derivativo” (VISHAL, 2014).

Porém a teoria de controle clássica, é adequada para resolução de problemas de processos lineares e, geralmente, falha no tratamento de alguns processos complexos devido as não-linearidades e comportamentos variantes no tempo” (VISHAL, 2014). Os controles avançados normalmente são usados para superar limitações das técnicas convencionais.

O diagrama de blocos da Figura 1 ilustra um sistema de controle PID de um processo. Normalmente, deseja-se que a saída global acompanhe as alterações do sinal de referência (set-point) de entrada.

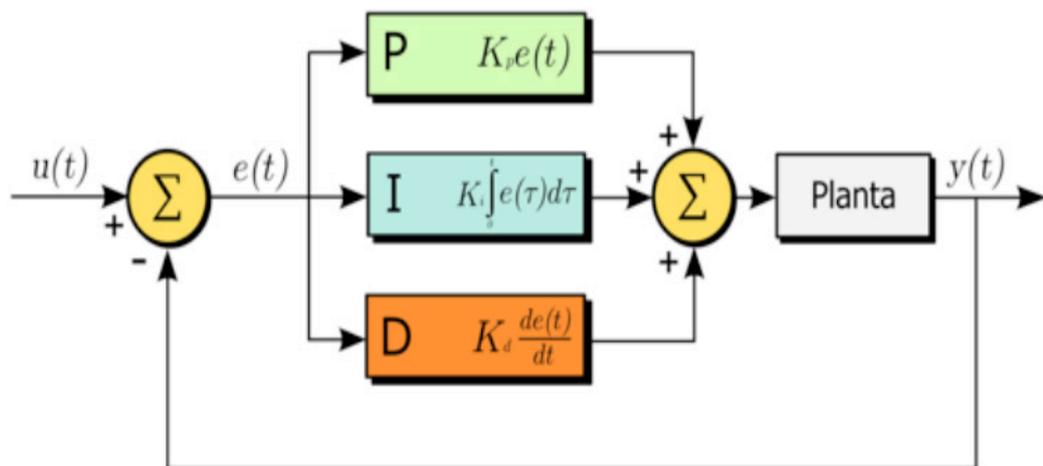


Figura 1 - Controlador PID para sistemas não-lineares.

O procedimento de seleção dos parâmetros, K_p , K_i e K_d , do controlador PID de modo a serem atendidas as especificações de desempenho, é conhecido como sintonia do controlador. A escolha adequada destes parâmetros torna possível o

ajuste suave e preciso dos controladores.

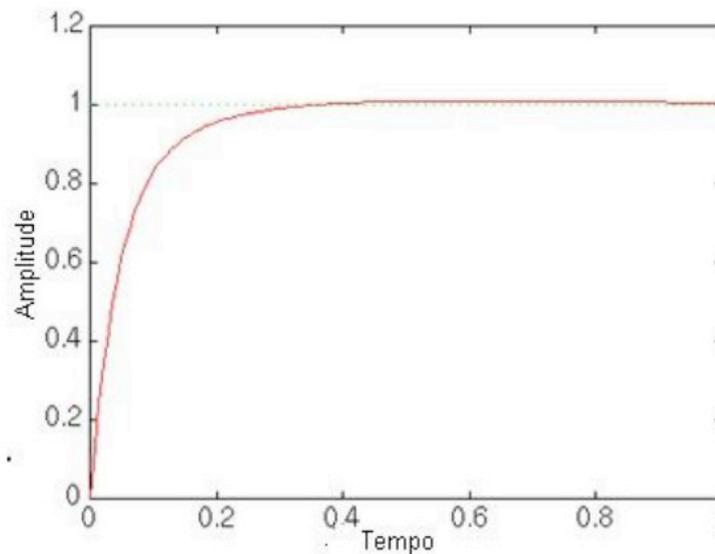


Figura 2 - Controlador PID para sistemas não-lineares.

O método Ziegler e Nichols propunha regras para a sintonia de controladores PID baseadas na resposta experimental a uma excitação em degrau, ou no valor de K_p que resulta em estabilidade marginal para o controle proporcional apenas. A ideia básica é obter valores para os ganhos a partir de experimentos sobre o processo. As regras são muito utilizadas, sempre que o processo a ser controlado permite, por fornecerem um ponto de partida para um ajuste mais fino.

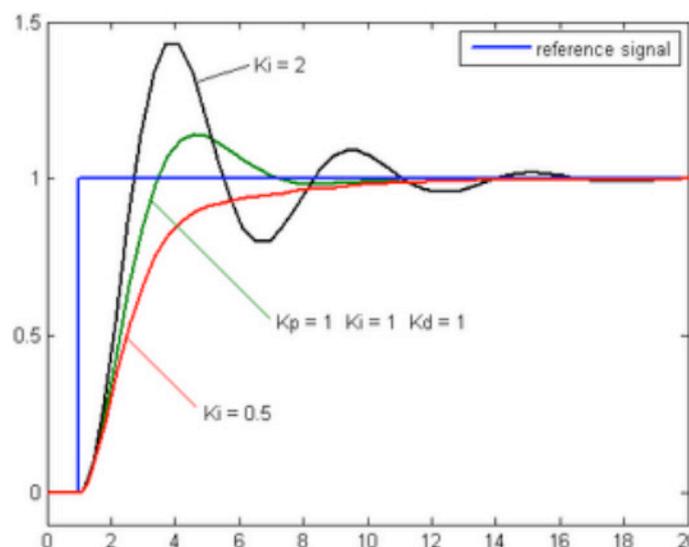


Figura 3 - Degrau de um controlador PID.

3 | ALGORITMO GENÉTICO

Os Algoritmos genéticos baseiam-se na teoria evolucionar proposta por Charles Darwin que propõe que o indivíduo evolui de acordo com as possibilidades que seu ambiente lhe proporciona. Sendo assim, o indivíduo se adapta naturalmente ao

ambiente em que vive e essas características são passadas naturalmente de geração para geração por meio da transmissão de informações genéticas. Os indivíduos fortes têm maiores probabilidades de se reproduzirem que os indivíduos fracos. Toda reprodução gera um novo indivíduo único e com características próprias. Este indivíduo pode ser mais forte ou mais fraco que os seus ascendentes (LINDEN, 2012).

Os AGs (Algoritmos Genéticos) aplicam a teoria da evolução de Charles Darwin nos algoritmos da computação. Eles funcionam mantendo uma população formada por n indivíduos/cromossomos que possuem genes que podem ser cruzados com outros indivíduos gerando assim novos indivíduos.

Esta evolução se dá por meio de três operadores genéticos que são: seleção, cruzamento e mutação que está exemplificado na figura a seguir.

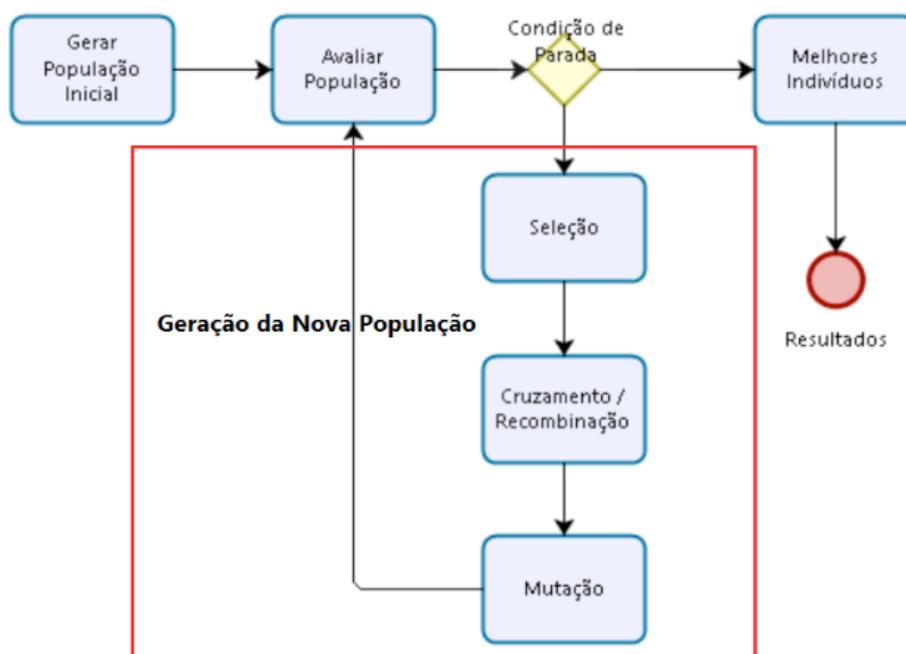


Figura 4 - Fluxo de funcionamento do Algoritmo Genético.

Antes de aplicar os três operadores genéticos, o algoritmo genético começa na geração de uma população inicial que posteriormente será evoluída. Esta população geralmente é aleatória e pode ou não ter alguma restrição como por exemplo, conter números dentre a faixa de -5.00 e 5.00.

Em seguida a geração da população inicial começa o trabalho do operador de seleção que é responsável pela escolha de quais indivíduos participaram do processo de cruzamento. Existem várias técnicas utilizadas pelos operadores de seleção, porém este artigo explica somente a técnica de seleção por torneio que foi utilizado na implementação.

“O método de seleção por torneio consiste em selecionar uma série de indivíduos da população e fazer com que eles entrem em competição direta pelo direito de

ser pai, usando com arma sua aptidão” (LINDEN, 2012). Para cada cruzamento deveram ser realizados pelo menos dois torneios que resultaram em pelo menos dois elementos (pai 01 e pai 02). Este método assim como os outros usa como critério de avaliação a função de aptidão onde os indivíduos serão avaliados.

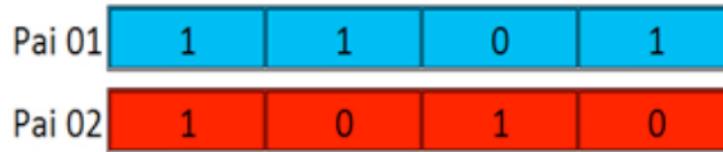


Figura 5 - Dois indivíduo que ganharam o sorteio.

Após a escolha dos pais começa a etapa de cruzamento/recombinação onde operador de cruzamento que cruza dos valores genéticos dos pais, gerando novos filhos que possuem partes de ambos os pais. Para isso, é necessário escolher um ponto de corte de forma aleatória no cromossomo de um indivíduo. Depois obter o ponto de corte, os dados genéticos são trocados. Porém estabelece que a probabilidade que o cruzamento aconteça, normalmente está probabilidade é de 80%.

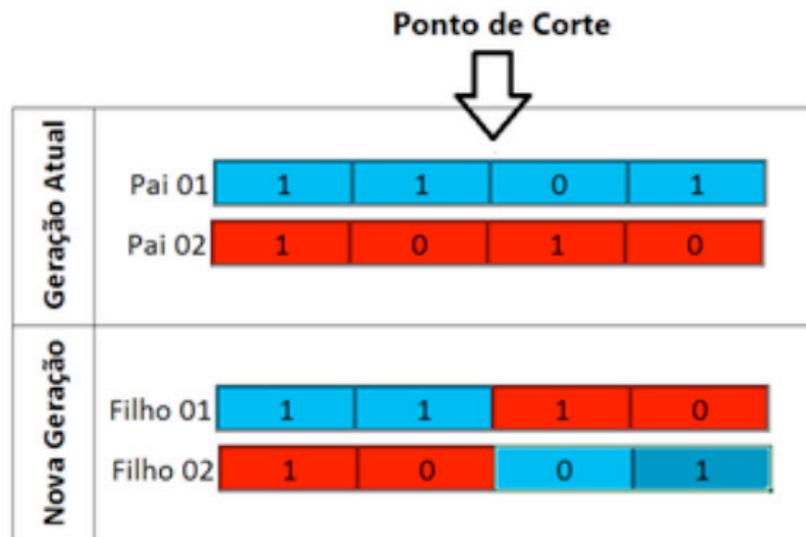


Figura 6 - Exemplo de cruzamento com 1 ponto de corte.

Terminada a etapa de cruzamento começa a etapa de mutação que também simula a teoria de Charles Darwin. Esta etapa tenta simular a interferência do ambiente exterior que em algumas vezes pode ocasionar mutação no indivíduo, porém esta mutação fica condicionada normalmente a apenas 1% de probabilidade de acontecer. Se ela acontecer escolhe uma posição aleatória do cromossomo e muta o cromossomo do indivíduo.



Figura 7 - Exemplo de mutação simples de 1 ponto.

Depois da aplicação dos três operadores genéticos chega-se a uma nova população que será submetida a todas as etapas novamente até que a condição solicitada seja atendida. Veja o pseudocódigo da estrutura de funcionamento do algoritmo genético a seguir:

Algoritmo Genético - Pseudocódigo

- 1  Inicializa a população de indivíduos

Enquanto não termina faça

- 2  Avalie a População
- 3  Selecione os Pais
- 4  Cruzamento/Recombinação
- 5  Mutação
- 6  Nova População

Fim Enquanto

- Valores Desejados

Existem n técnicas que melhoram os operadores de cruzamento, porém neste trabalho foi utilizado apenas a técnica de elitismo que garante que o melhor indivíduo desta geração sempre estará presente na geração na posterior.

4 | PROBLEMA PROPOSTO

O problema de controle PID  timo consiste em obter-se os valores de K_p , K_i e K_d de forma que o desempenho do sistema seja o melhor possível. Ou seja, um controlador ótimo é um controlador que faz com que o desempenho do sistema seja, no mínimo, tão bom quanto o possível de ser obtido com qualquer outro controlador (ALMEIDA, COELHO, 2001).

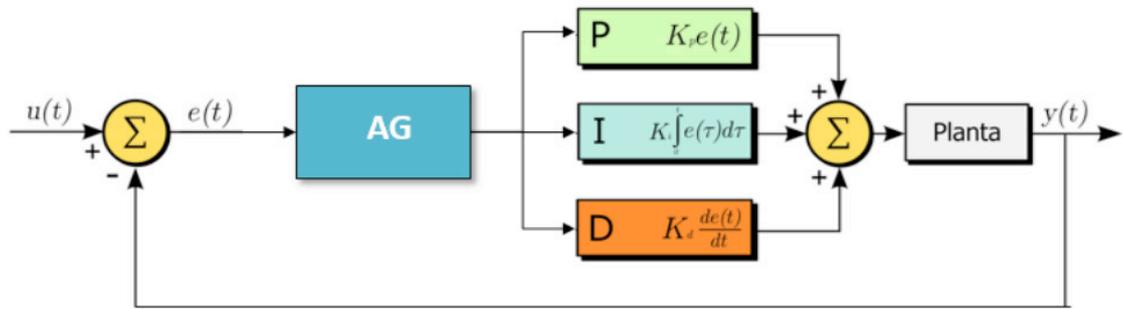


Figura 8 - Controlador PID para sistemas não-lineares com AG.

5 I DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Após a revisão bibliográfica sobre o tema de sistemas não-lineares e algoritmo genético. Foi desenvolvido um protótipo que utiliza algoritmo genético para seleção de valores de K_p , K_i e K_d para sintonização de automática para um controlador PID. Para seu desenvolvimento foi utilizado interface de programação Matlab, juntamente com ambiente de simulação Simulink.

O algoritmo genético adotado foi a implementação por parâmetros contínuos onde se utiliza números reais.

6 I IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

Primeiramente foi gerada a população inicial de forma aleatória dentro do intervalo permitido. Sendo que cada indivíduo(cromossomo) representa um conjunto solução possível. Cada cromossomo contém 3 genes referentes a K_p , K_i e K_d , cada gene possui um valor real que deve estar dentro do intervalo permitido.

A escolha dos pais, aconteceu por meio do método de seleção torneio, onde são sorteados 3 indivíduos por vez e escolhe-se o mais apto dele para ser o pai. Juntamente com o método torneio foi utilizado o elitista, onde conserva-se sempre o mais apto da geração anterior.

Para o cálculo da função de aptidão é utilizada a seguinte função:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

Esta função que avalia cada cromossomo sorteado pelo método torneio. O indivíduo apto mais será o que apresentar o menor valor da função de aptidão.

Utilizando operadores genéticos, tais como cruzamento e mutação, aplicados no algoritmo são gerados novos indivíduos para tentar encontrar uma melhor solução para o problema. Foi implementado o método crossover de Cruzamento Linear e Mutação Uniforme.

No cruzamento linear é calculado três filhos conforme as fórmulas. Para que mantenha o tamanho da população (dois pais gerando dois filhos), avalia-se os três filhos e o pior deles é descartado, deixando os outros dois com melhor avaliação. Para gerar novos filhos são utilizadas as fórmulas matemáticas propostas por (WRIGHT, 1991).

$$\frac{1}{2}pai_1 + \frac{1}{2}pai_2 \qquad \frac{3}{2}pai_1 - \frac{1}{2}pai_2 \qquad \frac{1}{2}pai_1 + \frac{3}{2}pai_2$$

O operador de mutação é aplicado após a geração dos filhos, para cada gene, com uma baixa probabilidade, o gene tem seu valor trocado. O operador de mutação que atua sobre o gene, troca por outro valor aleatório conforme o operador de mutação, podendo variar um pouco ou complementar o valor do gene. Este número aleatório deve respeitar a faixa de valores válidos para a função. Após a mutação verifica-se se os valores contidos dentro de cada gene obedecem aos valores pré-estabelecidos. Se algum valor não estiver dentro da faixa permitida o cromossomo é excluído e realiza-se o sorteio novamente.

Posteriormente, realiza-se o método de seleção por torneio para escolha de dois dentre os três cromossomos resultantes. Estes dois cromossomos serão conhecidos como filho₀₁ e filho₀₂ ambos estarão presentes na nova população.

7 | NORMAS PARA SEÇÕES ADICIONAIS

Por meio de observação, percebe-se que o algoritmo genético juntamente com os operadores utilizados chega ao resultado satisfatório, encontrando os valores de K_p , K_i e K_d .

Os primeiros testes foram realizados utilizando a quantidade de 50 indivíduos para a população e 50 gerações para que o AG faça seu papel de encontrar os melhores indivíduos. As figuras 9 e 10 mostram resultados obtidos com estes parâmetros e pode-se observar que a linha vermelha, referente ao valor da função de aptidão do melhor indivíduo, é crescente ao longo das gerações e busca aproximar-se do valor unitário. Esta busca acontece, pois, a função de aptidão escolhida considera que quando o erro se aproximar de 0 a aptidão tende a 1.

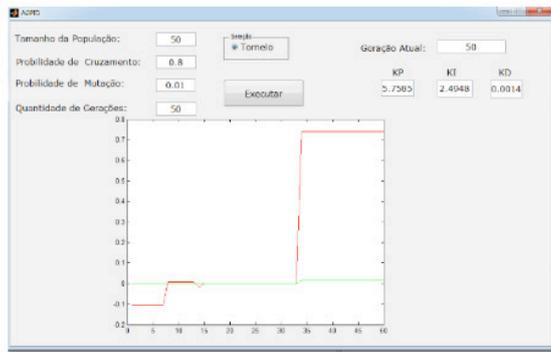


Figura 9 - Teste 1 com 50 indivíduos e 50 gerações

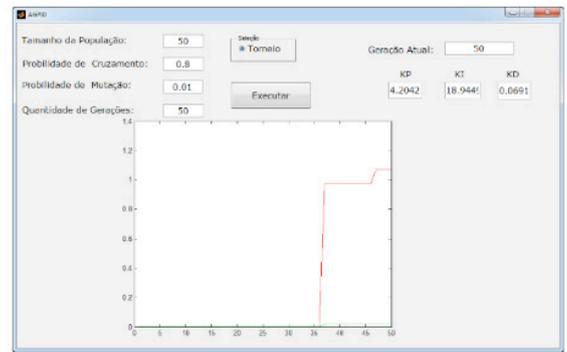


Figura 10 - Teste 2 com 50 indivíduos e 50 gerações

8 | CONCLUSÕES

Ao utilizar o método de seleção por Torneio, sempre o melhor indivíduo é escolhido, pois sempre o melhor vence na evolução de Darwin. A seleção dos indivíduos para realizar o torneio é feita de modo aleatório, recrutando vários indivíduos bons e ruins, alguns possuem a aptidão bem baixas, outros não, e nessa seleção aleatória o melhor indivíduo pode ser recrutado e com isso sua vitória é garantida. O método elitista normalmente colabora de forma drástica para o desempenho do método torneio, pois ele garante que a genética sempre irá evoluir positivamente. O algoritmo genético mostrou-se capaz de encontrar solução ótima.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Otacílio M.; COELHO, Antônio AR. **Controlador PID com Escalonamento Nebuloso dos Ganhos: Auto-Sintonia, Análise e Implementação**. V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente—V SBAI, 2001.
- FACCIN, Flávio. **Abordagem inovadora no projeto de controladores PID**, 2004.
- LINDEN, Ricardo. **Algoritmos Genéticos**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2012. 475p.
- LOURENÇO, João. **Sintonia de controladores PID**. Escola superior de tecnologia, 1997.
- VISHAL, Vikrant, et al. **Online PI controller tuning for a nonlinear plant using genetic algorithm**. Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their impact on Humanity (CIPECH), 2014 Innovative Applications of. IEEE, 2014.
- WRIGHT, Alden H. et al. **Genetic algorithms for real parameter optimization**. Foundations of genetic algorithms, v. 1, p. 205-218, 1991.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abrasômetro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Adesão 23, 31, 32

Ajuste automático 72, 190

Algoritmo genético 36, 37, 42, 47, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Aprendizado de máquina 12

Aprendizagem de máquinas 58, 176

Arquitetura paralela 83, 84

Autoleitura 11, 12, 13, 14, 21

Automação 49, 51, 53, 56, 59, 60, 81, 95, 109, 124, 133, 135, 137, 151, 153, 157, 161, 170, 187, 198

Avaliação experimental 96, 109

B

Barreiras 23, 32, 33

C

Calorímetro de alta pressão 96

Casas inteligentes 23, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33

Consumo de energia 12, 13, 14

Controlador fuzzy 135, 142, 143, 145, 146

Controlador PI 1, 99, 124, 131

Controlador PID 72, 74, 75, 79, 81

Controle de processos 135, 136

Controle híbrido 95, 97, 99, 102, 105, 107, 108

Controle PID 74, 78, 83

E

Energia eólica 1, 2, 4

Erro de quantização 124, 125, 126, 127, 133, 134

Estabilidade transitória 36

F

Fuzzy 58, 59, 61, 63, 69, 70, 123, 135, 136, 138, 142, 143, 144, 145, 146, 159, 160, 170, 171, 187, 188, 194, 198, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 216, 222, 223, 225, 239

G

Gás natural 58, 59, 69, 70

H

HOG 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

I

Identificação de sistemas 36, 38, 39, 47, 48, 116, 124, 128, 134, 209

L

Ladder 135, 136, 144, 145

Lógica fuzzy 59, 61, 63, 135, 138, 170, 207

LSS 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

M

Máquinas de ensaio 49, 51

Modelagem de carga 36, 37, 38, 39, 46

Modelos matemáticos 1, 3, 10, 38, 39, 128, 135

P

Países desenvolvidos 23, 24, 26, 28, 29

Países emergentes 23, 27, 28, 29, 31

Processamento de imagens 12, 21

Protótipo 73, 79, 82, 83, 84, 86, 93, 148, 149, 150, 167, 168, 189, 196

R

Reconhecimento 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 110, 112, 113, 123, 174, 176, 179, 203, 204, 210

Refrigeração com dióxido de carbono 96

Robô delta 83, 93, 94

S

Servomecanismo 124, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 133, 134

Sistema de posicionamento 83

Supervisor 52, 54, 55, 82, 85, 88, 135, 145

Svm 12, 14, 17, 19, 21, 22

T

Tomada de decisão inteligente 58

Turbina eólica 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10

V

Válvulas automáticas industriais 95, 96

 **Atena**
Editora

2 0 2 0