

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**

3

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**

3

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

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
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 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 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 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. 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
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio 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 Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

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

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

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

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

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

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

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

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

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

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

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

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 3 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-460-3

DOI 10.22533/at.ed.603200610

1. Engenharia elétrica. 2. Computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.3

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

APRESENTAÇÃO

A Atena Editora apresenta o *e-book* “*Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico 3*”. O objetivo desta obra é mostrar aplicações tecnológicas da Engenharia Elétrica e de Computação na resolução de problemas práticos, com o intuito de facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

O *e-book* está organizado em dois volumes que abordam de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas e relatos de casos que transitam nos vários caminhos da Engenharia Elétrica e de Computação.

O Volume III tem como foco aplicações e estudos de atividades relacionadas à Computação, abordando temas variados do *hardware* ao *software*, tais como automação e robótica, arquitetura de redes, Internet, computação em névoa, modelagem e simulação de sistemas, entre outros.

O Volume IV concentra atividades relacionadas ao setor elétrico e eletrônico, abordando trabalhos voltados para melhoria de processos, análise de desempenho de sistemas, aplicações na área da saúde, entre outros.

Desse modo, temas diversos e interessantes são apresentados e discutidos, de forma concisa e didática, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos por professores e acadêmicos.

Boa leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A AVALIAÇÃO PELOS ALUNOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DA APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA DE SOFTWARE UTILIZANDO GAME DIGITAL

Antônio Carlos Pereira dos Santos Junior

DOI 10.22533/at.ed.6032006101

CAPÍTULO 2..... 15

SD-FANET: UMA ARQUITETURA PARA REDES AD HOC AÉREAS DEFINIDAS POR SOFTWARE

Diego da Silva Pereira

Luís Bruno Pereira do Nascimento

Vitor Gaboardi dos Santos

Daniel Henrique Silva Fernandes

Pablo Javier Alsina

DOI 10.22533/at.ed.6032006102

CAPÍTULO 3..... 28

UMA PESQUISA SOBRE OS MOTIVOS PARA A NÃO INSERÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL GNU/LINUX NOS COMPUTADORES PESSOAIS DOS ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO

Elaine Alves da Rocha Pires

Andressa Pires Marassi

DOI 10.22533/at.ed.6032006103

CAPÍTULO 4..... 33

SUBMARINE CABLES, GLOBAL CONNECTIVITY AND HUMAN RIGHTS: THE INVISIBLE BORDERS OF THE INTERNET

Félix Blanc

Florence Poznanski

DOI 10.22533/at.ed.6032006104

CAPÍTULO 5..... 49

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DAS ESTAÇÕES MÓVEIS PARA APLICAÇÃO AO SISTEMA TELEMÉTRICO RAILBEE

Steffano Xavier Pereira

Rômulo César Carvalho de Araújo

DOI 10.22533/at.ed.6032006105

CAPÍTULO 6..... 63

DESENVOLVIMENTO DE UMA EMPILHADEIRA ROBÓTICA AUTÔNOMA EM MINIATURA

Letícia Pedroso Colombo

Gabriel Carvalho Domingos da Conceição

Lucas Mota Ferreira

Elias José Rezende de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.6032006106

CAPÍTULO 7..... 76

PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO AMOSTRADOR ROBÓTICO DE GRÃOS, CONTROLADO POR UM SISTEMA SUPERVISÓRIO, E DESTINADO À UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS

Natália Corrêa de Sousa
Guilherme Augusto Nobre Aleixo
Lúcio Rogério Júnior
Antônio Manoel Batista da Silva
Marcelo Costa Dias

DOI 10.22533/at.ed.6032006107

CAPÍTULO 8..... 90

MODELAGEM E SIMULAÇÃO SISTEMA DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA APLICADAS A REDES INTELIGENTES

Thayza Marcela Van Der Laan Melo
Cláudio de Oliveira
Josué Eduardo da Silva Montalvão
Nayr Lara Tenório de Mello Albino

DOI 10.22533/at.ed.6032006108

CAPÍTULO 9..... 104

MÉTODO DE ALTO DESEMPENHO COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS DE IMPACTO HARMÔNICO DE NOVOS ACESSANTES À REDE BÁSICA

Sergio Luis Varricchio
Cristiano de Oliveira Costa
Franklin Clement Véliz

DOI 10.22533/at.ed.6032006109

CAPÍTULO 10.....114

MONITORAMENTO DE PAINEL FOTOVOLTAICO ATRAVÉS DE COMPUTAÇÃO EM NÉVOA INTEGRADO À REDE GSM

Winderson Eugenio dos Santos
Maurizio Petruzielo
Sidnei Avelino da Silva Junior
Diego Luiz Ornelas Rampim

DOI 10.22533/at.ed.60320061010

CAPÍTULO 11..... 127

H_∞ MIXED SENSITIVITY CONTROL OF A SERVOMOTOR USING ARDUINO

Caio Igor Gonçalves Chinelato

DOI 10.22533/at.ed.60320061011

CAPÍTULO 12..... 138

ETCC ASSOCIADA À REALIDADE VIRTUAL COMO TRATAMENTO PARA DEPRESSÃO

Amanda Segura da Silva
Arthur Santos Rosa
Karolina Antunes Berna

Kauane Roberta Miranda de Sousa
Thays Ketlen Souza Mateus
José Wanderson Oliveira Silva

DOI 10.22533/at.ed.60320061012

CAPÍTULO 13..... 151

ANÁLISE DE ESTIMADORES RECURSIVOS APLICADOS NO CÁLCULO DE COEFICIENTES LPC DE SINAIS DE VOZ COM PATOLOGIAS LARÍNGEAS

Lucas Cardoso Dias
Suzete Élide Nóbrega Correia
Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa

DOI 10.22533/at.ed.60320061013

CAPÍTULO 14..... 159

APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA *WAVELET* NA FILTRAGEM DE DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE UMA PLANTA DE NEUTRALIZAÇÃO DE PH

Rogério Solda
Fernando Fernandes Neto
Claudio Garcia

DOI 10.22533/at.ed.60320061014

CAPÍTULO 15..... 171

ESTROBOSCÓPIO DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS E TORQUE DE UMA MÁQUINA ROTATIVA

Adjeferson Custódio Gomes
David Lopes Pires
Hugo Spittel da Gama
Ítalo Medeiros Pereira
Luís Ricardo Cândido Cortes
Matheus Garcia Soares
Thiago Cardoso dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.60320061015

SOBRE A ORGANIZADORA..... 184

ÍNDICE REMISSIVO..... 185

H_∞ MIXED SENSITIVITY CONTROL OF A SERVOMOTOR USING ARDUINO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

Caio Igor Gonçalves Chinelato

Instituto Federal de São Paulo (IFSP) –
Campus São Paulo
São Paulo, SP

[http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/
visualizacv.do?id=K4210192E2](http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4210192E2)
<https://orcid.org/0000-0001-8227-2541>

ABSTRACT: This work presents a DC servomotor position control. A H_∞ mixed sensitivity controller was projected. This kind of controller has advantages in terms of robustness, stability and performance when the plant is subject to disturbances, noises, parametric uncertainty and modeling uncertainty. The controller was implemented in an *Arduino Mega 2560* board, aiming a simple, practical and low-cost solution, that can be used didactically for teaching subjects in control area. To evaluate the controller performance, experimental results were obtained using a low-cost DC servomotor and the *Arduino Mega 2560* board integrated with *Matlab/Simulink*. Analyzing the results, it can be seen that the controller presents stability, good performance and robustness and the experiment apparatus proposed is a simple, practical, low-cost and didactic solution.

KEYWORDS: H_∞ Control; Robust Control; *Arduino*; Servomotor.

CONTROLE H_∞ SENSIBILIDADE MISTA DE UM SERVOMOTOR USANDO ARDUINO

RESUMO: Este trabalho apresenta o controle de posição de um servomotor CC. Foi projetado um controlador H_∞ sensibilidade mista. Este tipo de controlador apresenta vantagens em termos de robustez, estabilidade e desempenho quando a planta é sujeita a distúrbios, ruídos, incertezas paramétricas e incertezas de modelagem. O controlador foi implementado usando uma placa *Arduino Mega 2560*, visando uma solução simples, prática, de baixo custo e que pode ser utilizada didaticamente para o ensino de disciplinas na área de controle. Para avaliação do desempenho do controlador, resultados experimentais foram obtidos utilizando a placa *Arduino Mega 2560* integrada com *Matlab/Simulink*. Analisando os resultados, pode-se observar que o controlador apresenta estabilidade, bom desempenho e robustez e o aparato experimental proposto é uma solução simples, prática, de baixo custo e didática.

PALAVRAS-CHAVE: Controle H_∞ ; Controle Robusto; *Arduino*; Servomotor.

1 | INTRODUCTION

A DC servomotor is basically constituted by the combination of a DC motor, a gear system coupled to the load shaft and a rotary encoder. The encoder provides position feedback to a controller that enables precise and fast position control. Servomotors are widely use due to their low-cost and simplicity of control. There

are several applications for servomotors such as automatic machine tools, the manufacturing industry, robotic systems, computer and others (OGATA, 2009).

In several modern applications, servomotors are controlled using PID (Proportional-Integral-Derivative) controllers (OGATA, 2009). In some works, advanced techniques are proposed for the control of servomotors aiming increasing precision, performance and robustness, such as adaptive control (PATHAK and ADHYARU, 2016), Fuzzy control (BATURE, *et al.*, 2013), sliding mode control (KASSEM and YOUSEF, 2012) and others.

In this work, it is proposed the position control of a DC servomotor with a H_∞ mixed sensitivity controller. This kind of controller has advantages in terms of robustness, stability and performance when the plant is subject to disturbances, noises, parametric uncertainty and modeling uncertainty. Such advantages are not observed in PID controllers. This control technique can be seen applied in several recent works such as DEYOU, *et al.* (2011), RACHEDI, *et al.* (2013) and PINHEIRO and COLÓN (2017).

The controller was implemented in an *Arduino Mega 2560* board and a low-cost DC servomotor was used, aiming a simple, practical and low-cost solution, that can be used didactically for teaching subjects in control area. The use of *Arduino* board for simple, didactic and low-cost solutions can be seen in works like LOBO, *et al.* (2017) and VIEIRA, *et al.* (2015). To evaluate the controller performance, experimental results were obtained using the *Arduino Mega 2560* board integrate with *Matlab/Simulink*.

2 | SYSTEM MODELING

The system considered in this work is a DC servomotor, whose schematic representation is shown in Fig. 1 (OGATA, 2009). The system parameters are motor voltage e_p , motor inductance L , motor resistance R , angular displacement of rotor shaft θ_m , rotor moment of inertia J_m , motor torque T , angular displacement of load shaft θ , load moment of inertia J_L and transmission ratio $n = \theta/\theta_m$.

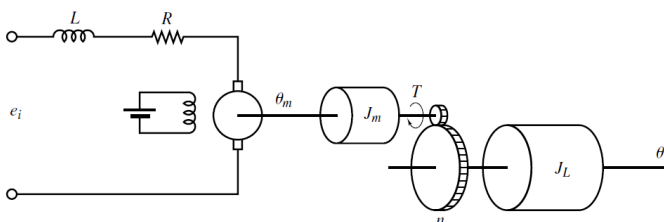


Figure 1: DC servomotor schematic representation (OGATA, 2009).

The system dynamical modeling is obtained integrating the electrical modeling of the DC motor and the mechanical modeling of the gear system coupled to the load shaft.

The electrical modeling of the DC motor is based on Kirchhoff's voltage law. Thus, we obtain:

$$L \frac{di_m}{dt} + Ri_m + k_b \frac{d\theta_m}{dt} = e_i, \quad (1)$$

where i_m is the motor current and k_b is the back EMF (Electromotive-Force) constant of motor.

The mechanical modeling of the gear system coupled to the load shaft is based on Newton's second law. Thus, we obtain:

$$J_m \ddot{\theta}_m + T = T_m = ki_m, \quad (2)$$

$$J_L \ddot{\theta} = T_L, \quad (3)$$

where k is the motor torque constant and $T_L = T/n$ is the motor torque applied to the load.

Using (1), (2) and (3) and applying the Laplace transform, we obtain the system dynamical modeling:

$$\frac{\Theta(s)}{E_i(s)} = \frac{nk}{s[(LJ_m + Ln^2J_L)s^2 + (RJ_m + Rn^2J_L)s + kk_b]}. \quad (4)$$

It is normally assumed that the motor inductance L is much lower than J_m , J_L , n and, therefore, can be neglected. Thus, the modeling (4) becomes:

$$\frac{\Theta(s)}{E_i(s)} = \frac{nk}{s[(RJ_m + Rn^2J_L)s + kk_b]}. \quad (5)$$

3 | H_∞ MIXED SENSITIVITY CONTROL

H_∞ mixed sensitivity is as robust control technique. Robust control has been widely applied and studied in recent years. Robustness is related to control system capability to maintain its performance even when subject to disturbances, noises, parametric uncertainty and modeling uncertainty. The objective of the H_∞ control theory is to obtain a controller that optimizes a given H_∞ norm ensuring robustness.

Consider the block diagram of the closed-loop system shown in Fig. 2, where G is the plant transfer function, K is the controller transfer function, r is the reference input, e is the error signal, u is the control input, d is a disturbance, y is the output and η_o is a noise.

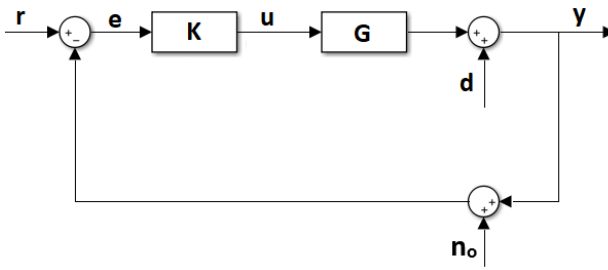


Figure 2: Block diagram of the closed-loop system.

The H_∞ mixed sensitivity controller K minimizes the H_∞ norm of the transfer function N (SKOGESTAD and POSTLETHWAITE, 2005):

$$\min_K \|N\|_\infty = \min_K \left\| \begin{matrix} W_p S \\ W_u K S \\ W_l T \end{matrix} \right\|_\infty \quad (6)$$

and does $\|N\|_\infty < 1$. $S = (I + GK)^{-1}$ is the sensitivity function, $T = (I + GK)^{-1} GK$ is the complementary sensitivity function and W_p , W_u and W_l are weight functions chosen in order to adjust the closed loop transfer functions S , KS and T , respectively. W_p is chosen by the designer in order to reflect the desired specifications for the closed loop system and determines good reference tracking and disturbance attenuation, W_u penalizes the control action and W_l is related to modeling uncertainty.

The closed loop transfer functions S , KS and T , must satisfy the following inequalities (KWAKERNAAK, 1993):

$$|S| \leq \gamma / |W_p|, \quad (7)$$

$$|KS| \leq \gamma / |W_u|, \quad (8)$$

$$|T| \leq \gamma / |W_l|. \quad (9)$$

If $\gamma < 1$, it is guaranteed that $\|N\|_\infty < 1$.

The block diagram of the closed-loop system considering weight functions W_p , W_u and W_l is showed in Fig. 3.

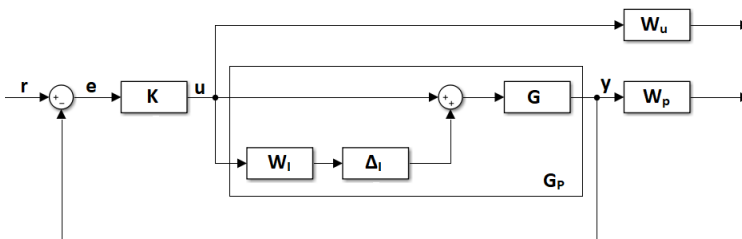


Figure 3: Block diagram of the closed-loop system considering weight functions W_p , W_u and W_l .

Typically, W_p is chosen in the form (SKOGESTAD and POSTLETHWAITE, 2005):

$$W_p = \frac{s/M + \omega_b}{s + \omega_b A}, \quad (10)$$

where ω_b is the minimum bandwidth frequency of S , A is a parameter that makes S small in low frequencies and reduces stationary error and M is a parameter that limits $\|S\|_\infty$.

The modeling uncertainty is represented by (SKOGESTAD and POSTLETHWAITE, 2005):

$$G_p = G(1 + W_I \Delta_I), \quad (11)$$

where G_p is the plant transfer function with multiplicative uncertainty Δ_r .

The conditions to satisfy nominal performance, robust stability and robust performance are given, respectively by:

$$|S| < 1/|W_p|, \quad (12)$$

$$|T| < 1/|W_I|, \quad (13)$$

$$|W_p S| + |W_I T| < 1. \quad (14)$$

4 | ARDUINO BOARD

Arduino is an open source electronic prototyping platform based on flexible and easy to use hardware and software. It can also be considered an embedded computing platform that can be programmed to process inputs and outputs connected to it (MCROBERTS, 2011). There are many variants of the *Arduino* board, such as *Arduino Uno*, *Mini*, *Nano* and others. In this work, the *Arduino Mega 2560* board was applied.

The board *Arduino Mega 2560* is based on 8-bit RISC microcontroller *ATmega 2560* with 256 KB Flash, 8 KB RAM, 4 KB EEPROM and 16 MHz crystal oscillator. The board has 54 I/O pins, 4 serial communication channels, 16 analog inputs, 15 PWM outputs, SPI and I2C communication, and USB connection.

The board *Arduino Mega 2560* is typically programmed using its IDE, where the code is written in a specific programming language, compiled and loaded on the board. However, in this work, the programming was realized using *Matlab/Simulink*.

5 | EXPERIMENTAL DESCRIPTION

To evaluate the controller performance, experimental results were obtained using a low-cost DC servomotor and the *Arduino Mega 2560* board integrated with

Matlab/Simulink. A schematic representation of the experiment is showed in Fig. 4. The control signal generated by *Arduino* is applied in the Driver L298N through one of its PWM (Pulse-Width-Modulation) outputs. This driver provides the power signal to the DC servomotor and has a H-bridge to control the rotation direction. The DC servomotor has a rotary encoder that provides angular displacement of load shaft as a feedback signal to *Arduino*.

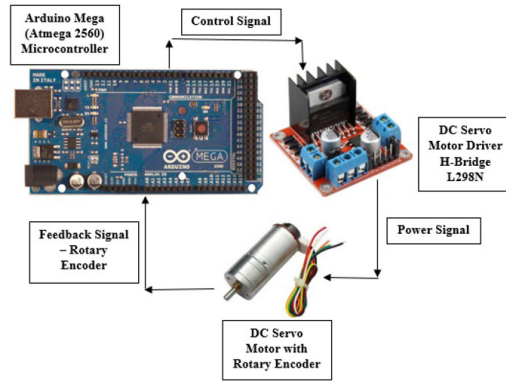


Figure 4: Schematic representation of the experiment.

The H_{∞} mixed sensitivity controller design was realized with *Matlab*. It is necessary to know the parameters of system modeling to realize the controller design. These parameters were obtained experimentally using *Matlab* function *System Identification*. Basically, an input is applied to the system and the output is acquired and stored. A generic system mathematical model is provided, and the parameters are estimated according to the inputs and outputs stored. The generic mathematical model is given by:

$$\frac{\Theta(s)}{E_i(s)} = \frac{K \cdot e^{-T_d s}}{s[1+T_{P1}s]} \quad (15)$$

This model was chosen due to servomotor modeling shown in (5). The term $e^{-T_d s}$ is related to a delay time T_{σ} .

The H_{∞} mixed sensitivity controller was obtained using the *Matlab* function *mixsyn* (GU, *et al.* 2013) and the controller implementation with *Simulink* is showed in Fig. 5.

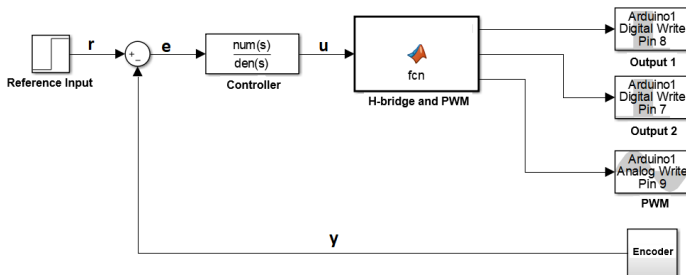


Figure 5: Controller implementation with *Simulink*.

The blocks and signals in Fig. 5 are similar to Fig. 2. The *Matlab* function H-bridge and PWM provide the control signal to the DC servomotor. The outputs 1 and 2 are *Arduino* digital outputs that control the direction or stop the DC servomotor. PWM is an *Arduino* analog output to control the DC servomotor. It is important to highlight that *Arduino* communicates with *Simulink* via USB cable and, therefore, all system inputs and outputs can be supervised through *Simulink*.

6 | RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section, the experimental results obtained are showed. Initially, the parameters of the mathematical model (15) was obtained. The parameters are $K = 60.439$, $T_{P1} = 10^{-6}$ e $T_d = 0.3$ s. The delay time was applied in the model using a first order Padé approximation (OGATA, 2009).

The H_∞ mixed sensitivity controller K obtained using the *Matlab* function *mixss* was

$$K = \frac{7.536 \cdot 10^4 s^3 + 3.785 \cdot 10^8 s^2 + 2.52 \cdot 10^9 s + 3.669 \cdot 10^5}{s^4 + 6.199 \cdot 10^3 s^3 + 1.086 \cdot 10^7 s^2 + 2.47 \cdot 10^{10} s + 1.482 \cdot 10^6} \quad (16)$$

considering the mathematical model (15) and the weight functions

$$W_P = \frac{0.05s+6}{s+6 \cdot 10^{-5}} \quad (17)$$

$$W_U = 0.01, \quad (18)$$

$$W_I = \frac{0.001s+0.1}{0.1s+500}. \quad (19)$$

It was obtained $\gamma = 0.9733$, so the conditions (7), (8) and (9) were satisfied.

The reference input (r) is a step with amplitude $\pi/2$ rad. The system output θ response without external disturbance is showed in Fig. 6. The system output θ response with an external disturbance is showed in Fig. 7. The external disturbance (d) is a step with amplitude 5 rad applied after 5 s. The system output θ response

with a Gaussian noise is showed in Fig. 8. The noise has mean 0 and variance 0.087 rad. The Bode diagrams to verify nominal performance (12), robust stability (13) and robust performance (14) are presented in Figs. 9, 10 and 11.

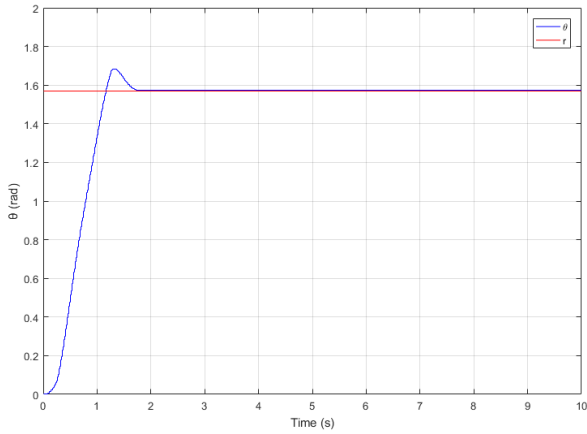


Figure 6: System output θ response without external disturbance.

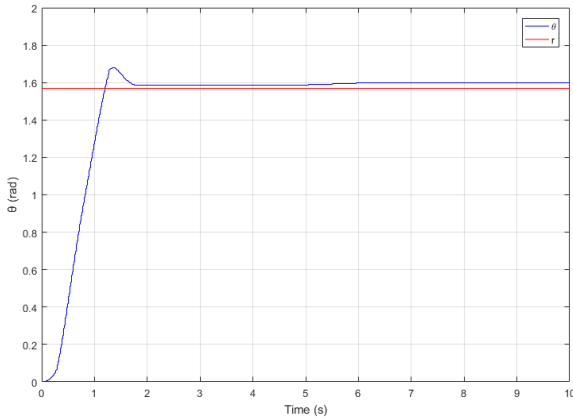


Figure 7: System output θ response with an external disturbance.

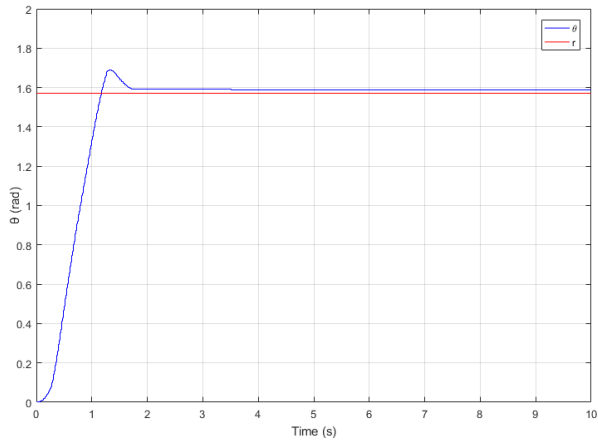


Figure 8: System output θ response with a Gaussian noise.

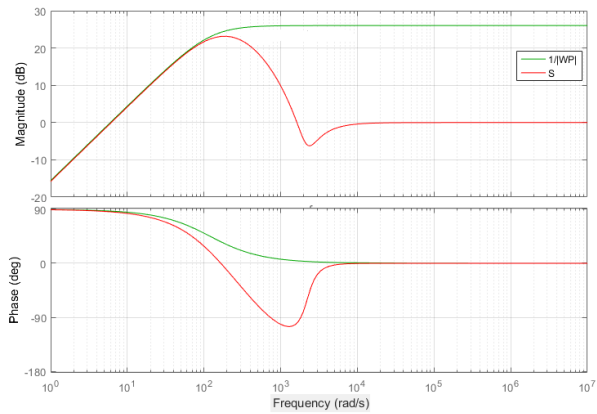


Figure 9: Bode diagram to verify nominal performance (12).

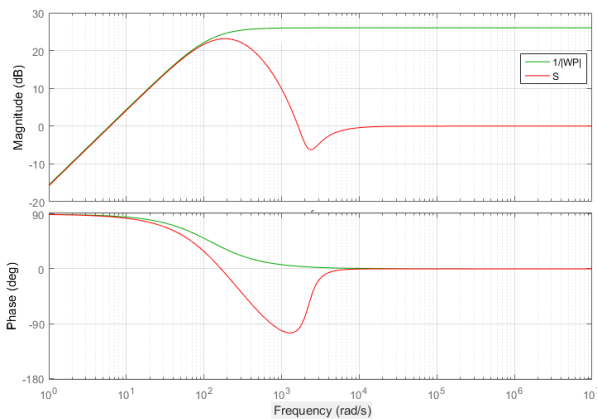


Figure 10: Bode diagram to verify robust stability (13).

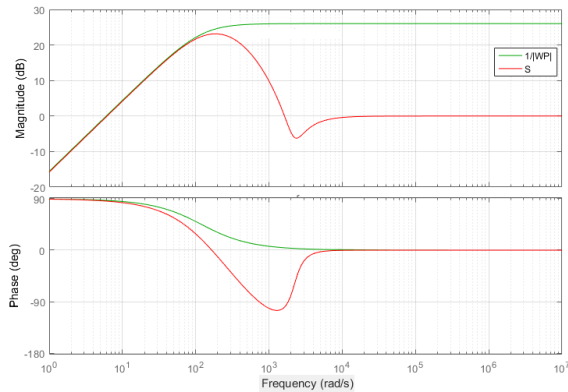


Figure 11: Bode diagram to verify robust performance (14).

The results in Figs. 6, 7 and 8 show that in all cases the system output θ tracks the reference input adequately, with good transient and steady state performance. When disturbance and noise were added, it was observed an increase in steady state, however this increase was small, and the system can be considered robust.

In Figs. 9, 10 and 11, it was observed that conditions (12), (13) and (14) were satisfied and the system has nominal performance, robust stability and robust performance. It is important to highlight that some controllers with better performances were obtained, however these controllers presented $\gamma > 1$ and do not satisfy conditions (12), (13) and (14).

7 | CONCLUSIONS

This work presents a DC servomotor position control with a H_∞ mixed sensitivity controller. The controller was implemented in an *Arduino Mega 2560* board integrated with *Matlab/Simulink* and it was used a low-cost DC servomotor. Analyzing the results, it can be seen that the controller presents stability, good performance and robustness when it is applied disturbances and noises. Beside this, the experimental apparatus is a simple, practical and low-cost solution that can be used didactically for teaching subjects in the control area.

ACKNOWLEDGMENT

The author thanks for the support of Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus São Paulo.

REFERENCES

- BATURE, A., MUHAMMAD M. and ABDULLAHI, A. M., Design and Real Time Implementation of Fuzzy Controller for DC Motor Position Control, *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 2, No. 11, p. 45–61, Nov. 2013.
- DEYOU, L., WANG, H., YAO, Y., LIU, S. and HAN, L., An Application of Mixed Sensitivity Control Method in Direct-Drive Electro-Hydraulic Servo System, *Proceedings of the International Workshop on Automobile, Power and Energy Engineering*, p. 518-525, 2011.
- GU, D. W., PETKOV, P. H. and KONSTANTINOV, M. M., *Robust Control Design With Matlab*, Springer, 2nd edition, New York, 2013.
- KASSEM, A. M. and YOUSEF, A. M., Experimental Setup and Robust Servo DC Motor Position Control Based on Gain Schedule Sliding Mode Controller, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 4, No. 10, p. 1320–1327, May 2012.
- KWAKERNAAK, H., *Robust Control and H_∞ -Optimization – Tutorial Paper*, *Automatica*, vol. 29, No. 2, p. 1320–1327, Mar. 1993.
- LOBO, F. M., MUNARO, C. J. and REZENDE, L. C., Control Practices Using Simulink, Arduino and Low-Cost Hardware, *Proceedings of the XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, p. 1696-1702, 2017.
- MCROBERTS, M., *Arduino Básico*, Novatec, São Paulo, 2011.
- OGATA, K., *Modern Control Engineering*, Prentice Hall, 5th edition, New Jersey, 2009.
- PATHAK, K. B. and ADHYARU, D. M., MRAC Based DC Servo Motor Motion Control, *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, vol. 7, No. 2, p. 53–63, Mar. 2016.
- PINHEIRO, R. F. and COLÓN, D., Controller by Mixed-Sensitivity H_∞ Design (S/KS/T) for Lurie Type Systems, *Proceeding of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*, 2017.
- RACHEDI, M., HEMICI, B. and BOURI, M., Application of the Mixed Sensitivity Problems H_∞ and H_2 to the Parallel Delta, *Proceeding of the 3rd International Conference on Systems and Control*, p. 484–489, 2013.
- SKOGESTAD, S. and POSTLETHWAITE, I., *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design*, Prentice Hall, John Wiley & Sons, 2nd edition, New York, 2005.
- VIEIRA, R. G., GUERRA, F. V., VALE, M. G. and ARAUJO, M. M., Sistema de Rastreo de Painelel Fotovoltaico Utilizando Placa Microcontrolada Arduino, *Proceeding of the XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, p. 457-461, 2015.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acelerômetro 49, 51, 57, 58, 59, 60, 61

Amostragem de grãos 76, 77, 88, 89

Arduino 49, 50, 51, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 62, 78, 84, 89, 119, 127, 128, 131, 132, 133, 136, 137, 173, 179

Autocorrelação 151, 152, 153, 154, 156, 157

C

Cabos submarinos 33, 34

Codificação por predição linear 151

Computação em névoa 114, 119, 123, 124, 125

Conectividade 16, 24, 26, 33, 34

Controle H^∞ 127

Custo-benefício 171

D

Desempenho computacional 104, 109, 110

Direitos humanos 33, 34

E

Eletrônica 30, 53, 76, 138, 173

Energias renováveis 90, 92, 102

Engenharia de software 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 32

Ensino 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 28, 31, 50, 51, 127

Estimador recursivo da variável instrumental 151

Estroboscopia 171, 172, 182

Estudos de acesso à rede básica 104, 106, 111

F

FANET 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27

Filtro FIR 159

Filtro IIR 159

G

Games na educação 1

GPS 27, 49, 50, 51, 57, 59, 60, 61, 62

GSM 114, 116, 120, 121, 123, 124, 126

H

Harmônicos 104, 110

I

Identificação de sistemas 158, 159, 163, 169, 170

Interferências de rede 34

Internet 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 53, 119, 120, 125

Inversão de matrizes 104

L

Linux 28, 29, 30, 31, 32

Lógica de controle e segurança 76

M

Máquinas elétricas 171, 172, 182, 183

Medição de velocidade 171

Microgeração fotovoltaica 114, 115, 116, 123, 124

Mínimos quadrados recursivos 151, 152

Modelos ocultos de Markov 90, 102

Monitoramento de dados 114, 125

Multi-VANT 16

N

Neuromodulação 138, 139, 140, 150

P

Previsões de suprimento de energia 90

Programa HarmZs 104

R

RailBee 49

Redes inteligentes 90, 91

Robótica 63, 64, 65, 68, 72, 74, 75, 76, 89

S

SDN 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 27

Séries temporais 151, 170

Servomotor 127, 128, 131, 132, 133, 136

Sistema supervisorio 76, 80, 84, 88

Software educacional 1

T

Telemetria 49, 61

Transformada Wavelet 159, 160, 161, 162, 164

V

Veículo autônomo 63

Z

ZigBee 18, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 59, 61, 62

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico

3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico

3