
*A visão sistêmica e integrada das **engenharias** e sua **integração com a sociedade***

2

*Carlos Augusto Zilli
(Organizador)*



Atena
Editora
Ano 2021

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade

2

*Carlos Augusto Zilli
(Organizador)*



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 Cremona

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 Internazionale 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

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V822 A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade 2 / Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-399-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.993211308>

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

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

Esta obra, intitulada “A Visão Sistêmica e Integrada das Engenharias e sua Integração com a Sociedade”, em seu segundo volume, apresenta 22 capítulos que abordam pesquisas relevantes que fazem emergir esta visão completa e abrangente típica das engenharias, revelando de que forma ela pode se integrar à sociedade para solucionar os desafios que surgem mundo afora, trazendo pesquisas relacionados à fluxo de potência, prevenção de ansiedade, reconstrução anatômica, modelagem energética, otimização de vigas mistas, composição de séries dodecafônicas, ruídos, entre outras.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas às engenharias em suas mais diversas instâncias.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE COMPARATIVA DA SATISFAÇÃO ENTRE DISCENTES E EGRESSOS DE ENGENHARIA: UM ESTUDO DE CASO

Cristiano Geraldo Teixeira Silva

Eduardo Georges Mesquita

Maria Giselle Marques Bahia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113081>

CAPÍTULO 2..... 13

COMMODITIES AMBIENTAIS E A IV REVOLUÇÃO INDUSTRIAL - O POTENCIAL BRASILEIRO DE INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL

Diego da Silva Pereira

Zulmara Virgínia de Carvalho

Maria Eduarda Medeiros Monteiro

Heloysa Helena Nunes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113082>

CAPÍTULO 3..... 27

ESTUDO DA INTEGRAÇÃO DE SENSORES AOS TÊXTEIS ESPORTIVOS

Larissa Stephanie de Souza Malago

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113083>

CAPÍTULO 4..... 37

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA SUPRESSÃO DE RUÍDOS EM SINAL DE VOZ UTILIZANDO TRANSFORMADA WAVELET

Gustavo dos Santos Cardoso

Gustavo Peglow Kuhn

Samuel dos Santos Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113084>

CAPÍTULO 5..... 52

RECONSTRUÇÃO ANATÔMICA BASEADA EM IMAGENS, MAPEAMENTO DE DENSIDADES E ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE UM FÊMUR COM FRATURA ATÍPICA

Miguel Tobias Bahia

Emílio Graciliano Ferreira Mercuri

Mildred Ballin Hecke

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113085>

CAPÍTULO 6..... 68

SAFE WHEELCHAIR

Luís Eduardo Lima da Costa

Marcia Ferreira Cristaldo

Sóstenes Renan de Jesus Carvalho Santos

Lucas Hermann Negri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113086>

CAPÍTULO 7..... 78

MODELACIÓN ENERGÉTICA, UNA HERRAMIENTA ANALÍTICA, GRÁFICA Y ACTUAL PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS EFICIENTES ENERGÉTICAMENTE

Agustín Torres Rodríguez

David Morillón Gálvez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113087>

CAPÍTULO 8..... 92

NUMERICAL ANALYSIS OF BLOCKAGE EFFECT ON AN INNOVATIVE VERTICAL TURBINE (VAACT)

Rodrigo Batista Soares

Antonio Carlos Fernandes

Joel Sena Sales Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113088>

CAPÍTULO 9..... 108

APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS NA COMPOSIÇÃO DE SÉRIES DODECAFÔNICAS

Déborah Baptista Pilato

Paulo Henrique Siqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113089>

CAPÍTULO 10..... 119

A MODELAGEM DIGITAL COMO AUXÍLIO DA PERCEPÇÃO DO OBJETO ARQUITETÔNICO EM ENSINO DE PROJETO

Luis Gustavo de Souza Xavier

Pedro Miguel Gomes Januário

Janine Fonseca Matos Xavier

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130810>

CAPÍTULO 11..... 132

MAPEAMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DA ENGENHARIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM ELETROTÉCNICA

Wellington Alex dos Santos Fonseca

Fabiola Graziela Noronha Barros

Dariele da Costa Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130811>

CAPÍTULO 12..... 144

OTIMIZAÇÃO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Franz Augenthaler Avelino Coelho

João Batista Marques de Sousa Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130812>

CAPÍTULO 13	161
PROTÓTIPO: BRACELETE DETECTOR DE OBSTÁCULOS PARA DEFICIENTES VISUAIS	
Eloiziane Barbosa Pessoa	
José Augusto Albuquerque Rabelo	
Luiz Felipe de Souza Jimenez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130813	
CAPÍTULO 14	177
THE NUMBER OF STORMS MODELED AS A POISSON RANDOM VARIABLE AT NORTHEAST COAST OF SOUTH AMERICA	
Lazaro Nonato Vasconcellos de Andrade	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130814	
CAPÍTULO 15	190
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE SOMA DE CORRENTES PARA O CÁLCULO DO FLUXO DE POTÊNCIA CA	
Evandro José dos Santos	
Carlos Roberto Mendonça da Rocha	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130815	
CAPÍTULO 16	196
CARTILHA INFORMATIVA COMO FERRAMENTA DE PREVENÇÃO DA ANSIENIDADE INFANTIL	
Bruna Meneses da Silva Araújo	
Helton Camilo Teixeira	
Amanda Cris Prestes das Neves Maia	
Joana D'arc Araújo de Souza Rolim	
Dyovana Raissa de Souza Barros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130816	
CAPÍTULO 17	206
A APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A MELHORIA DE UM PROCESSO INDUSTRIAL	
Ananda Santa Rosa Santos	
Denise Simões Dupont Bernini	
Suzana Araujo de Azevedo	
Rodrigo Aldo Bazoni Scaquetti	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130817	
CAPÍTULO 18	224
DISPOSITIVO DE FRICÇÃO CONTROLADA	
Jader Flores Schmidt	
Leonardo Haerter dos Santos	
Lucas Vinicius Capistrano de Souza	
Aginaldo Rosso	
Federico Rodriguez Gonzalez	

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130818>

CAPÍTULO 19.....238

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESTADO DO CEARÁ:
EXIGÊNCIAS TÉCNICAS E LEGAIS NO ÂMBITO DA SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE – SEMACE

Carlos Alberto Mendes Júnior

Edilson Holanda Costa Filho

Marilângela da Silva Sobrinho

Liliane Farias Guedes Lira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130819>

CAPÍTULO 20.....245

INDÚSTRIA AVANÇADA E LOT

Paulo César Rezende de Carvalho Alvim

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130820>

CAPÍTULO 21.....250

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE DIFERENTES POLIMEROS TERMOPLÁSTICOS
EN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE MEZCLAS DE ASFALTO

Daniela Andrea Monterrosa Álvarez

Harveth Hernán Gil Sánchez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130821>

CAPÍTULO 22.....260

COMPARAÇÃO DE LUBRIFICANTES NA ESTAMPAGEM PROFUNDA DO AÇO ARBL
ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Tatiane Oliveira Rosa

Isabela Ferreira Neves

Lucas Alexandre de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130822>

SOBRE O ORGANIZADOR270

ÍNDICE REMISSIVO.....271

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA SUPRESSÃO DE RUIDOS EM SINAL DE VOZ UTILIZANDO TRANSFORMADA WAVELET

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 06/07/2021

Gustavo dos Santos Cardoso

Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Elétrica
Campinas – SP
<https://orcid.org/0000-0002-1055-3149>

Gustavo Peglow Kuhn

Instituto Federal Sul-rio-grandense,
Departamento de Engenharia Elétrica
Pelotas – RS
<https://orcid.org/0000-0003-3056-2656>

Samuel dos Santos Cardoso

Universidade Federal de Santa Catarina,
Instituto de Engenharia Biomédica
Florianópolis – SC
<http://orcid.org/0000-0001-5076-500x>

RESUMO: Este trabalho trata sobre dois métodos para redução de ruídos em sinais de voz através da Transformada Wavelet Discreta usando a Wavelet db6. Os métodos descritos são *Hard-Thresholding* (Limiar Duro) e *Soft-Thresholding* (Limiar Suave). Estes métodos utilizam informações estatísticas do sinal transformado para a obtenção de um limiar para remoção de ruído. Para comparação dos métodos, diversos testes foram realizados usando sinais de voz contaminados com ruído branco. Além disto, diferentes razões sinal ruído foram utilizadas. Os métodos foram comparados utilizando a razão sinal ruído de saída e a distância de Itakura-

Saito. Os resultados mostraram um melhor desempenho para o método *Hard-Thresholding*.

PALAVRAS-CHAVE: Sinal de Voz, Transformada Wavelet, Limiar Duro, Limiar Suave.

COMPARISON OF NOISE SUPPRESSION METHODS IN SPEECH SIGNALS USING WAVELET TRANSFORM

ABSTRACT: This paper discusses two methods for noise reduction in speech signals through Discrete Wavelet Transform using the db6 Wavelet. The methods described were *Hard-Thresholding* and *Soft-Thresholding*. These methods use statistical information from the transformed signal to obtain a threshold for denoising. In order to compare the methods, tests have been performed using speech signals contaminated with white noise content. Different signal noise ratios were used. The methods were compared using the output signal noise ratio and Itakura-Saito distance. Results show better performance for the *Hard-Thresholding* method.

KEYWORDS: Speech signal, Wavelet Transform, *Hard-Thresholding*, *Soft-Thresholding*.

1 | INTRODUÇÃO

Em muitas aplicações que envolvem a transmissão de sinais de voz, a presença de ruídos aditivos pode reduzir significativamente a qualidade e a inteligibilidade dos sinais (MALLAT, 2009; PRASADH; NATRAJAN; KALAIVANI, 2017). Neste contexto, vários pesquisadores tem despendido esforços em

pesquisas voltadas a melhoria de técnicas de processamento de sinais de áudio no intuito de reduzir ou eliminar o ruído aditivo (SARIC; BILICIC; DUJMIC, 2005; AGGARWAL et al., 2011; DUARTE et al., 2005; JING-YI et al., 2016). Existem muitos métodos para remoção e supressão de ruídos, desde métodos simples a métodos complexos, com menor ou maior custo computacional (PRASADH; NATRAJAN; KALAIVANI, 2017). Entre as técnicas utilizadas em processamento de sinais de voz destacam-se as baseadas no uso de artifícios como a Transformada Wavelet (TW), filtros adaptativos (VASEGHI, 2008), redes neurais (ISHWARYA, 2012), subtração espectral (BEROUTI; SCHWARTZ; MAKHOUL, 1979), entre outras. Dentre esses métodos, os que utilizam a TW destacam-se por serem relativamente simples, rápidos e eficientes (DUARTE et al., 2005).

A metodologia baseada na TW consiste em decompor janelas do sinal de entrada em coeficientes no domínio frequência e calcular um limiar para corte dos ruídos baseado no desvio padrão. Esse limiar é então utilizado para separar quais coeficientes representam o sinal e quais representam o ruído. Após separados o sinal é reconstruído por meio da Transformada Wavelet Inversa (TWI) sem as componentes do ruído (MALLAT, 2009; STRANG; NGUYEN, 1996; MERRY; STEINBUCH, 2005).

Tendo em vista a simplicidade e eficiência da TW, neste artigo será realizada a análise entre duas metodologias de supressão de ruídos baseados na Transformada Wavelet Discreta (TWD) conhecidas como *Soft-thresholding* e *Hard-thresholding*.

Nas seções seguintes são detalhados os processos de desenvolvimento e teste da proposta. Na seção 2 é retratada a metodologia do trabalho. Na seção 3 são descritos os experimentos e resultados alcançados. Por fim, a seção 4 apresenta a conclusão.

2 | METODOLOGIA

2.1 O Princípio da remoção de ruído pela Transformada Wavelet

Em casos práticos, os sinais dos ruídos geralmente aparecem associados à sinais de alta frequência e os sinais úteis aparecem como sinais de baixa frequência (SARIC; BILICIC; DUJMIC, 2005). Como os ruídos estão associados as altas frequências, quando o sinal de voz com ruído aditivo é decomposto pela Transformada Wavelet Discreta o ruído fica associado aos componentes de alta frequência dos filtros Wavelet e, por consequência, o sinal de interesse fica associado aos coeficientes de baixa frequência (SARIC; BILICIC; DUJMIC, 2005).

No contexto descrito, o processo de remoção do ruído de um sinal dimensional funcionada seguinte forma: primeiro, o sinal é decomposto pela TWD com o objetivo de selecionar limiares adequados para remoção do ruído nos coeficientes Wavelets do sinal transformado; e posteriormente o sinal é reconstruído por meio da Transformada Wavelet Discreta Inversa (TWDI) reduzindo as componentes com ruído (MERRY; STEINBUCH,

2005). Embora esse processo consiga eliminar boa parte dos ruídos que estão associados as altas frequências, ruídos de baixa frequência permanecem intrínsecos ao sinal filtrado (MALLAT, 2009; STRANG; NGUYEN, 1996).

Nesse cenário, um dos principais fatores que afetam a qualidade na remoção do ruído são a supressão do ruído próximo ao limiar entre as baixas e altas frequências e a seleção da função do limiar para a associação dos coeficientes a estas frequências (MALLAT, 2009; DUARTE et al., 2005; STRANG; NGUYEN, 1996).

2.2 Transformada Wavelet e Transformada Wavelet Inversa

Seja $s(t)$ um sinal de tempo contínuo e $\Psi_{a,b}(t)$ a função Wavelet, define-se a TW ($W_s(a,b)$) do sinal $s(t)$ como (MALLAT, 2009):

$$W_s(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot \psi_{a,b}(t) dt \quad (1)$$

Em (1) a função Wavelet $\Psi_{a,b}(t)$ é definida por (2) que está associada a uma função de escala representada por (3):

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

$$\phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

onde b representa o fator de deslocamento e a o fator de escala da Wavelet.

Desta maneira é possível obter uma decomposição diádica do sinal, na qual a função de escala é usada essencialmente para definir os coeficientes das aproximações do sinal filtrado e a função Wavelet é utilizada para definir os coeficientes dos detalhes do mesmo sinal (MALLAT, 2009; STRANG; NGUYEN, 1996). Neste contexto, a decomposição diádica permite uma análise multirresolução com o uso de bancos de filtros associados as funções Wavelet e de escala para a decomposição do sinal em vários níveis, definindo deste jeito a TWD (MALLAT, 2009; TASWELL, 2000; TSAI, 2002; GARGOUR et al., 2009).

Alguns autores como em Mallat (2009) e Strang e Nguyen (1996) sugerem filtros Wavelet com largura de banda de uma oitava, o que implica na discretização de $a=2^m$ e $b=2^m \cdot k$, onde k e m são números inteiros. Assim, as funções Wavelet $\Psi_{a,b}(t)$ e de escala $\Phi_{a,b}(t)$ podem ser reescritas por (4) e (5), respectivamente (HERNÁNDEZ; WEISS, 1996).

$$\psi_{a,b}(t) = 2^{\frac{m}{2}} \cdot \psi\left(\frac{t-2^m \cdot k}{2^m}\right) \quad (4)$$

$$\phi_{a,b}(t) = 2^{\frac{m}{2}} \cdot \phi\left(\frac{t-2^m \cdot k}{2^m}\right) \quad (5)$$

Desta maneira é possível obter uma decomposição diádica do sinal, na qual a função

de escala é usada essencialmente para definir os coeficientes das aproximações do sinal filtrado e a função Wavelet é utilizada para definir os coeficientes dos detalhes do mesmo sinal (MALLAT, 2009; STRANG; NGUYEN, 1996). Neste contexto, a decomposição diádica permite uma análise multirresolução com o uso de bancos de filtros associados as funções Wavelet e de escala para a decomposição do sinal em vários níveis, definindo deste jeito a TWD (MALLAT, 2009; TASWELL, 2000; TSAI, 2002; GARGOUR et al., 2009).

O processo de decomposição Wavelet consiste na passagem de um sinal discreto $S[n]$ por um filtro passa-baixas L_D e por um filtro passa-altas H_D , onde os coeficientes destes filtros estão associados respectivamente as funções $\Psi_{a,b}(t)$ e $\Phi_{a,b}(t)$ (BRUCE; GAO; BRUCE, 1996). Após a filtragem do sinal por cada um dos filtros é feita a subamostragem do sinal resultante com um fator de 2. Após este processo são obtidos os coeficientes das aproximações c_j e os coeficientes dos detalhes d_j , ambos relativos ao sinal. A descrição do processo de decomposição Wavelet está ilustrado na Figura 1.

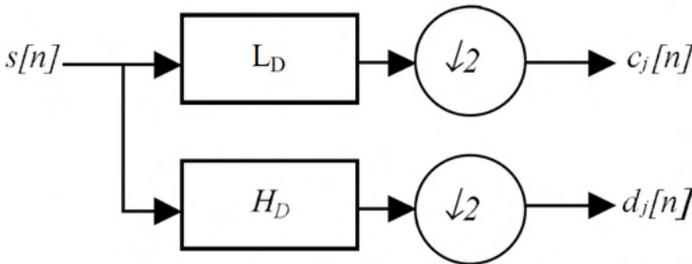


Figura 1. Decomposição Wavelet de 1 nível.

O processo de decomposição pode ser repetido diversas vezes até que o número de amostras nos coeficientes c_j e d_j seja de apenas uma amostra, compondo a chamada árvore de decomposição Wavelet diádica, apresentada na Figura 2 (MALLAT, 2009; SARIC; BILICIC; DUJMIC, 2005).

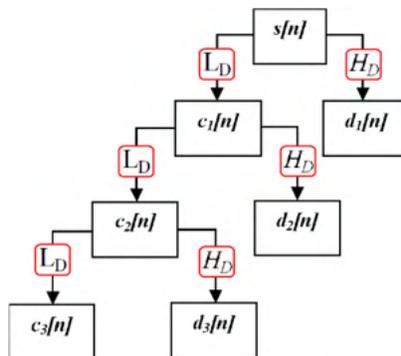


Figura 2. Decomposição Wavelet em múltiplos níveis.

Após sua decomposição, o sinal S pode ser reconstruído através de um processo inverso chamado de Transformada Wavelet Discreta Inversa. Esse processo consiste em realizar uma sobre-amostragem com zeros nos coeficientes c_j e d_j , após isso esses coeficientes passam pelos filtros de reconstrução L_R e H_R para que então sejam obtidos os coeficientes de aproximação de um nível acima. Este processo deve ser feito até se obter o sinal reconstruído e os filtros L_R e H_R devem ser projetados de maneira que os mesmos removam os efeitos de distorção que os filtros de decomposição L_D e H_D possam causar (MALLAT,2009; TASWELL, 2000; TSAI, 2002; GARGOUR et al., 2009; MIHOV; IVANOV; POPOV,2009). O processo da TWDI é ilustrado na Figura 3.

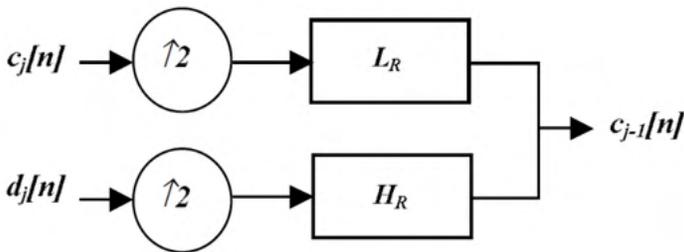


Figura 3. Reconstrução Wavelet em 1 nível.

2.3 Métodos de Redução de Ruído a Partir de Limiares

2.3.1 Limiar Universal λ

Um dos trabalhos mais divulgados sobre aplicações em supressão de ruídos é descrito por Donoho e Johnstone (1994) e Donoho (1995). Em particular, Donoho e Johnstone (1994) descreve algumas regras para a seleção do limiar. Entre estas regras está a de seleção do limiar universal λ , o qual é utilizado nos métodos *Hard-Thresholding* e *Soft-Thresholding*. O limiar universal λ é definido por (6):

$$\lambda = \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \log_2(N)} \quad (6)$$

sendo N o número de amostras (comprimento) do sinal ruidoso e σ o desvio padrão do ruído, o qual foi estimado por (7):

$$\sigma = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (s_i - \bar{s})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

sendo N o número de amostras utilizadas para calcular o σ , s_i a amostra do sinal e \bar{s} a média do sinal.

2.3.2 Hard Thresholding

O método *Hard-Thresholding* consiste em zerar os coeficientes que possuem valores em módulo menores que o valor do limiar e manter os coeficientes com valores em módulo maiores ou iguais ao do limiar (DONOHO; JOHNSTONE, 1994; DONOHO, 1995). Esse método não altera as propriedades locais do sinal, mas devido à descontinuidade ao zerar os coeficientes do sinal, o mesmo causa uma certa deturpação no sinal reconstruído. A descrição matemática deste método é dada por (8).

$$\bar{s}_i = \begin{cases} s_i, & |s_i| \geq \lambda \\ 0, & |s_i| < \lambda \end{cases} \quad (8)$$

onde \bar{s}_i é o coeficiente obtido, s_i é a amostra do sinal analisada e λ é o limiar de comparação.

2.3.3 Soft Thresholding

O método *Soft-Thresholding* busca diminuir as descontinuidades que podem ser geradas quando se utiliza o *Hard-Thresholding*. Este método consiste também em zerar os coeficientes que possuem valores em módulo menores que o valor do limiar (DUARTE et al., 2005; DONOHO, 1995). No entanto, diferentemente do método anterior, os coeficientes que possuem valores maiores que o do limiar terão o módulo de seus valores reduzidos com o valor de λ , o que implica na modificação do sinal reconstruído inclusive nos trechos em que ocorre a fala. O cálculo dos coeficientes é dado por (9):

$$\bar{s}_i = \begin{cases} \text{sgn}(s_i)(|s_i| - \lambda), & |s_i| \geq \lambda, \\ 0, & |s_i| < \lambda. \end{cases} \quad (9)$$

onde \bar{s}_i é o coeficiente obtido, s_i é a amostra do sinal analisada, λ é o limiar de comparação e sgn é a função que retorna se o sinal da amostra é positivo ou negativo.

2.4 Descrição dos Algoritmos utilizados

Nesta subseção são descritos os passos realizados para execução dos métodos. Primeiro o sinal de voz é carregado junto com a informação da frequência de amostragem dele. A frequência de amostragem é necessária para saber quantas amostras N_i compõem um intervalo de 300 ms, pois neste intervalo, considera-se que há somente o ruído aditivo para estimar o desvio padrão do mesmo. Após, decompõem-se o sinal em cinco níveis com a TWD usando a Wavelet Daubechies de sexta ordem - db6 (CODELLO; KUNISZYK-JÓZKOWIAK, 2007). Então, para determinar o desvio padrão, em cada nível, utiliza-se janelas de 23 ms com sobreposição de 50 % até os 300 ms de sinal para estimar a média do desvio padrão. Desta forma a média do desvio padrão em um determinado nível σ_i é

gerado, sendo l o nível da decomposição da TWD. Após, utiliza-se a fórmula do limiar universal, para obter-se um limiar para cada nível da TWD denominado λ_l . Depois, os métodos de redução de ruído por limiares são aplicados em cada nível de decomposição da TWD com seus respectivos limiares e médias de desvios padrões. Por fim, utilizando a TWDI, realiza-se a reconstrução do sinal com o ruído reduzido. A Figura 4 mostra o diagrama de blocos do processo realizado.

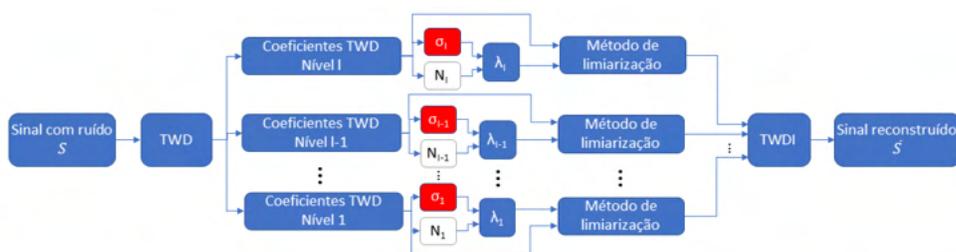


Figura 4. Diagrama de blocos do processo de remoção de ruído.

3 | EXPERIMENTOS E RESULTADOS

3.1 Descrição do Experimento

Para os experimentos foram utilizados sinais limpos gravados a uma frequência de amostragem de 44,1 kHz, aos quais foram adicionados ruído branco gaussiano aditivo. Para testar e comparar os métodos, diversos valores de relação sinal ruído de entrada para o ruído branco adicionado foram utilizados, sendo estes de: 1 dB, 2 dB, 3 dB, 4 dB, 5 dB, 6 dB, 8 dB, 10 dB, 12 dB, 15 dB, 18 dB, 22 dB, 28 dB, 30 dB, 35 dB e 45 dB. Foram realizados ao total 32 testes, 16 para o método *Hard-Thresholding* e outros 16 para o método *Soft-Thresholding*.

A implementação dos algoritmos e as simulações foram todas realizadas no software Matlab (MathWorks Inc.) versão R2013a, o qual possui uma grande coleção de funções para a análise Wavelet (SARIC; BILICIC; DUJMIC, 2005; AGGARWAL et al., 2011; JING-YI et al., 2016; MIHOV; IVANOV; POPOV, 2009).

Para avaliar e comparar os resultados dos algoritmos descritos na subseção 2.3 foram utilizadas as medidas de relação sinal ruído após a filtragem (SNR_o) e a distância de Itakura-Saito (d_{is}). A SNR_o fornece uma medida da qualidade do sinal em relação ao ruído, entretanto durante o processo de filtragem podem ocorrer certas distorções do sinal original. Neste caso em que há distorções, a distância de Itakura-Saito d_{is} fornece melhores resultados como medida de distorção do sinal e pode ser calculada conforme (10) (TOGAMI, 2019):

$$d_{IS} = \sum_{i,\omega} \frac{P_{i,\omega}}{\hat{P}_{i,\omega}} - \ln \left(\frac{P_{i,\omega}}{\hat{P}_{i,\omega}} \right) - 1 \quad (10)$$

onde $P_{i,\omega}$ é a potência espectral do sinal real (original sem ruído) em um determinado instante i na frequência ω e $\hat{P}_{i,\omega}$ é a potência espectral estimada após a filtragem.

A relação sinal ruído SNR_o após o processo de filtragem do sinal é expressa por (11) (AGGARWAL et al., 2011):

$$SNR_o = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{sinal}}{P_{ruído}} \right) \quad (11)$$

onde P_{sinal} é a potência do sinal e $P_{ruído}$ é a potência do ruído remanescente.

Além das métricas numéricas foram feitas algumas análises qualitativas sobre os gráficos dos sinais no domínio do tempo (sinal original e reconstruído) e de seus respectivos espectrogramas.

3.2 Resultados

Para melhor entender o uso dos dois métodos de limiarização (*Hard-Thresholding* e *Soft-Thresholding*) foram realizadas análises qualitativas sobre as imagens do sinal de voz contaminado com ruído branco e relação sinal ruído de entrada SNR_i de 1 dB e 15 dB, pois estes sinais ressaltam de maneira clara as características apontadas pelos métodos.

Na primeira análise, o sinal de voz foi contaminado com ruído branco, obtendo uma relação sinal ruído de entrada SNR_i de 1 dB. Os resultados obtidos no domínio do tempo para o método *Hard-Thresholding* estão ilustrados na Figura 5, na qual é feita uma comparação realizada entre o sinal contaminado, o sinal filtrado e o sinal original.

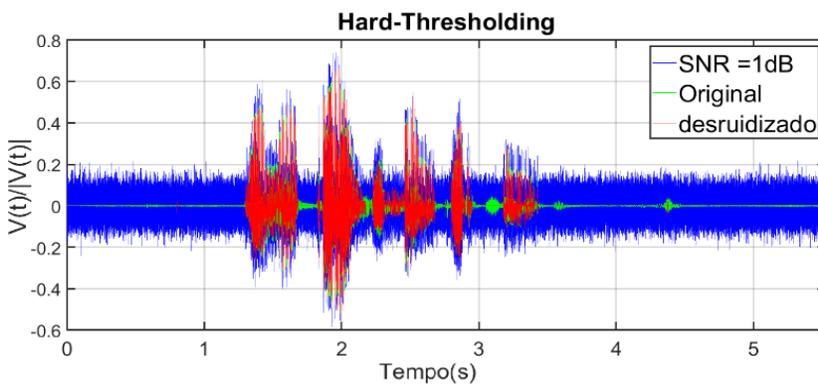


Figura 5. Sinais de fala no domínio tempo sendo o azul o sinal com $SNR_i(\text{dB})=1$, em verde o original e vermelho o reconstruído.

Analisando a Figura 5, percebe-se no sinal em vermelho (filtrado) uma considerável redução de ruído, principalmente em instantes de silêncio. Entretanto, além da redução do

ruído ocorrem distorções na fala próximo aos períodos de silêncio. Essas constatações qualitativas corroboram com a relação sinal ruído de saída SNR_o de 11,1 dB e uma distorção espectral medida pela distância de Itakura-Saito d_{IS} de 0,1839.

Além das análises realizadas no domínio do tempo, outro parâmetro bastante utilizado para avaliar os resultados oriundos do processamento é o espectrograma. As Figuras 6 (a), (b) e (c) correspondem aos espectrogramas do sinal de voz sem ruído, sinal contaminado e sinal estimado (filtrado).

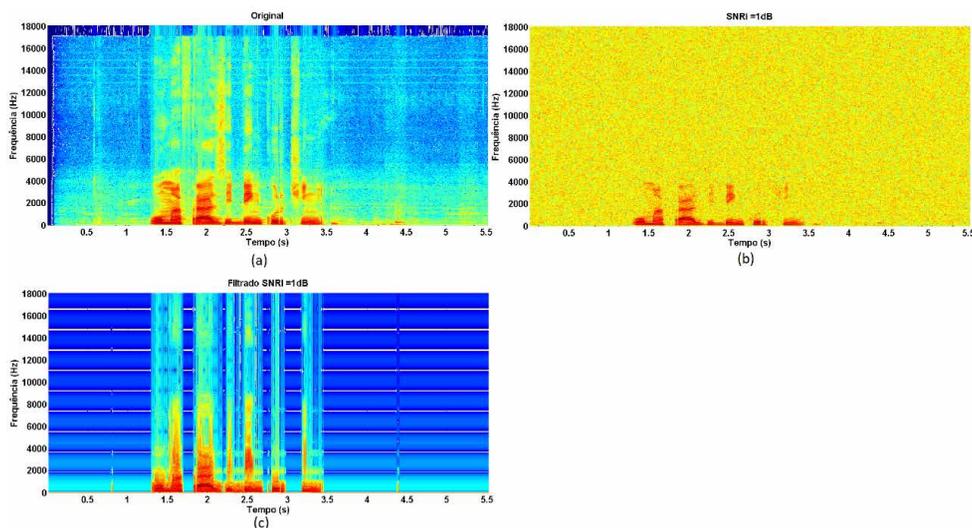


Figura 6. (a) Espectrograma do sinal original; (b) espectrograma do sinal com ruído aditivo e $SNR_i(\text{dB}) = 1$; (c) espectrograma do sinal ($SNR_i=1\text{dB}$) após a filtragem com o método limiar *Hard-Thresholding*.

Conforme a análise dos três espectrogramas, percebe-se na Figura 6(c) que entre as frequências de 2000 a 4000 Hz a intensidade do sinal é ressaltada pelo algoritmo baseado na limiarização *Hard-Thresholding*. Embora o algoritmo tenha acentuado as faixas mais importantes da palavra elétrica presentes no espectrograma do sinal reconstruído (filtrado) ele também distorceu o sinal, como é possível verificar entre os instantes de 3 a 3,5 segundos.

Além da análise do método de limiarização *Hard-Thresholding* ter sido realizado no sinal de voz com SNR_i igual a 1 dB, também foram feitas análises do método com o sinal apresentando SNR_i igual a 15 dB. Neste caso, os resultados obtidos foram razoavelmente melhores. Conforme a Figura 7, percebe-se que o algoritmo baseado no método *Hard-Thresholding* distorceu menos o sinal reconstruído em relação ao original. Isso pode ser visto entre as faixas de tempo de 3 a 5 segundos.

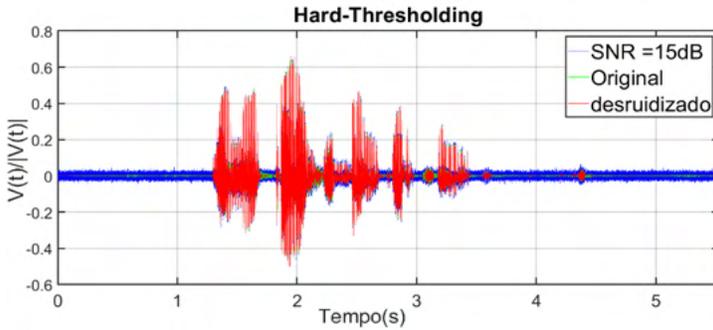


Figura 7. Sinais de fala no domínio tempo sendo o azul o sinal com $SNR_{\lambda}(dB)=15$, em verde o original e vermelho o reconstruído.

Na análise do espectrograma do sinal reconstruído para este caso percebe-se (ver Figura 8(b)) que o sinal foi menos distorcido. Isso pode ser visto nos trechos temporais entre 3 e 3,5 segundos onde as frequências na faixa de 2000 a 6000 Hz também foram ressaltadas muito similarmente ao espectro do sinal original. Os parâmetros SNR_O e d_{IS} ratificam as análises qualitativas com os respectivos valores, 21,3045 dB e 0,0748.

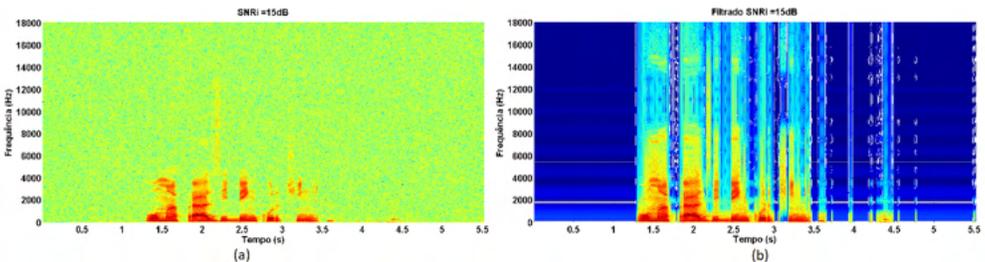


Figura 8. (a) Espectrograma do sinal com ruído aditivo e $SNR_{\lambda}(dB) = 15$; (b) espectrograma do sinal ($SNR_{\lambda}=15dB$) reconstruído.

Os valores citados mostram que houve um acréscimo na relação sinal ruído de aproximadamente 4 dB após a filtragem e que ocorreu menor distorção do sinal, visto que quanto mais próxima de zero for a distância de Itakura-Saito menor será a distorção. Neste contexto, o método *Hard-Thresholding* se mostrou melhor para a filtragem em sinais de voz com um nível de ruído mais brando.

Além das análises feitas sobre o método de limiarização *Hard-Thresholding* essas mesmas análises foram realizadas sobre o método *Soft-Thresholding*.

Na primeira análise para método *Soft-Thresholding*, o sinal foi contaminado com ruído branco, obtendo uma SNR_{λ} de 1 dB como no método anterior. Neste caso, os resultados obtidos no domínio do tempo estão ilustrados na Figura 9, na qual é possível observar algumas especificidades deste método. É possível observar na figura que houve

uma significativa redução da amplitude do sinal filtrado incluindo os trechos em que ocorre a fala (palavra elétrica). Esta redução ocorre devido a supressão dos coeficientes que possuem valores em módulo maiores que o limiar λ neste método.

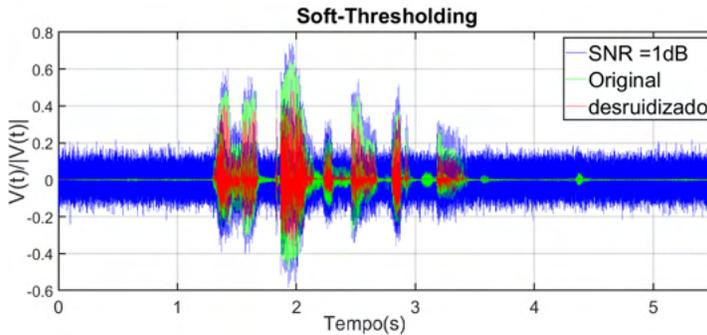


Figura 9. Sinais de fala no domínio tempo sendo o azul o sinal com $SNR_i(\text{dB})=1$, em verde o original e vermelho o filtrado com o método limiar *Soft-Thresholding*.

Nesse contexto, uma das especificidades deste método é que sua aplicação resulta em maior distorção do sinal, visto que ocorrem alterações inclusive onde há a palavra elétrica.

Na análise do espectrograma do sinal reconstruído para este caso é possível observar (ver Figura 10) estas distorções na palavra elétrica entre os trechos temporais de 2 a 2,5 segundos. Neste trecho ocorre uma significativa redução da potência do sinal entre as frequências de 2000 a 4000 Hz. Para este caso os valores de SNR_o e d_{is} foram respectivamente, 7,3712 dB e 0,2477.

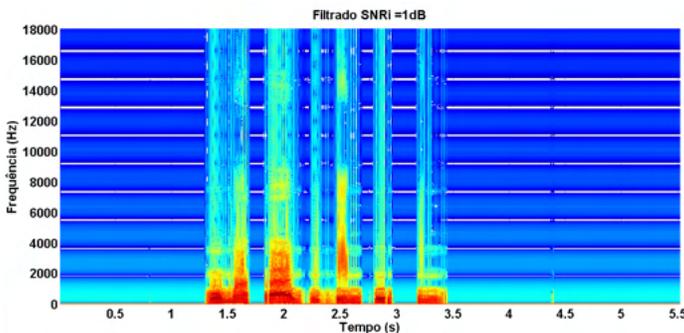


Figura 10. Espectrograma do sinal ($SNR_i=1\text{dB}$) após a filtragem com o método limiar *Soft-Thresholding*.

Na segunda análise para o método *Soft-Thresholding*, o sinal foi contaminado com ruído branco, obtendo uma SNR_i de 15 dB. Mesmo neste caso ocorreu a distorção do sinal onde há a palavra elétrica como já era previsto. A redução da amplitude do sinal provida por

este método pode ocasionar problemas de supressão demasiada da fala em trechos onde a intensidade da palavra elétrica é muito branda como, por exemplo, no trecho próximo a 3 segundos ilustrado na Figura 11. Excluindo esse problema o sinal foi reconstruído com bastante similaridade ao original.

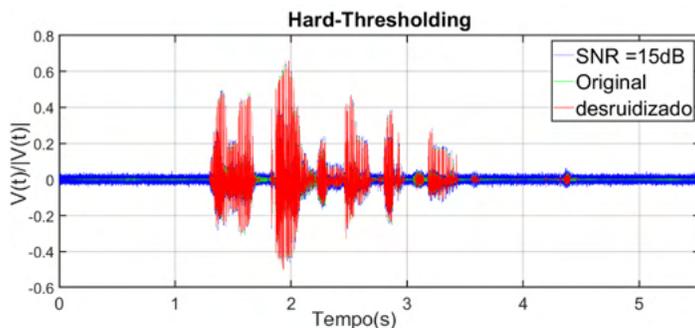


Figura 11. Sinais de fala no domínio tempo sendo o azul o sinal com $SNR_i(\text{dB})=15$, em verde o original e vermelho o filtrado com o método limiar *Soft-Thresholding*.

No espectrograma do sinal reconstruído para este caso é possível observar (ver Figura 12) a redução da intensidade da palavra elétrica justamente no trecho próximo aos 3 segundos. Neste trecho ocorre uma significativa redução da potência do sinal entre as frequências de 2000 a 4000 Hz. Para este caso os valores de SNR_o e d_{fs} foram respectivamente, 16,7 dB e 0,1738.

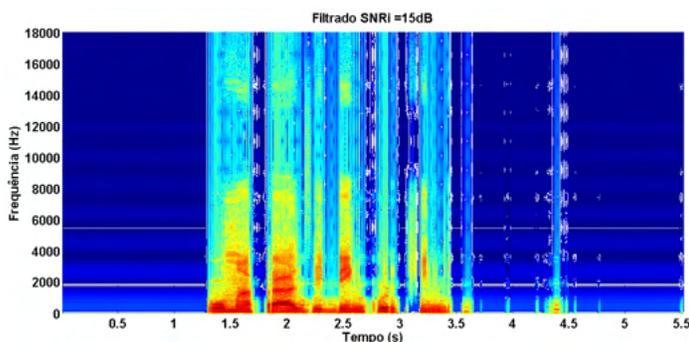


Figura 12. Espectrograma do sinal ($SNR_i=15\text{dB}$) após a filtragem com o método limiar *Soft-Thresholding*.

Após as análises qualitativas dos sinais de voz no domínio do tempo e no espectrograma foram realizadas análises sobre as métricas descritas na subseção anterior para várias relações de SNR_i , também descritas anteriormente. Os resultados estão descritos na Tabela 1, e ilustrados pelos gráficos das Figuras 13 (a) e (b), onde as métricas

SNR_o e d_{IS} foram ilustradas em função da SNR_r .

Método	SNR_r (dB)	d_{IS}	SNR_o (dB)	Método	d_{IS}	SNR_o (dB)
<i>Hard</i>	1	0,1839	11,0984	<i>Soft</i>	0,2477	7,3712
	2	0,1775	11,9748		0,2345	7,9786
	3	0,1768	12,9563		0,2286	8,6373
	4	0,1751	13,4596		0,2219	9,0972
	5	0,1762	14,3962		0,2120	9,9042
	6	0,1733	14,9325		0,2115	10,7501
	8	0,1434	16,2670		0,2019	11,8563
	10	0,1691	17,7188		0,1948	13,2419
	12	0,1047	19,1444		0,1851	14,5349
	15	0,06548	21,3045		0,1738	16,6979
	18	0,0396	23,1232		0,1470	18,6278
	22	0,0213	25,6839		0,1084	21,2626
	28	0,0076	29,5643		0,0572	25,0408
	30	0,0065	30,9783		0,0434	26,5046
	35	0,0037	34,2066		0,0250	29,3680
	45	0,0003	39,5480		0,0052	34,0335

Tabela 1. Resultados do método *Hard* e *Soft Thresholding* para diferentes relações de SNR_r .

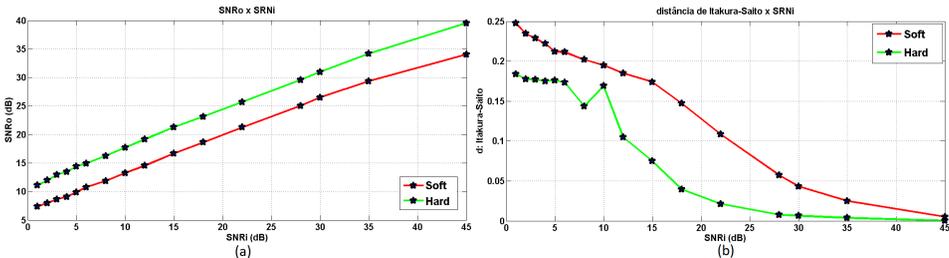


Figura 13. (a) Relação sinal ruído após filtragem SNR_o x relação sinal ruído do sinal com ruído aditivo SNR_r ; (b) distância de Itakura-Saito x relação sinal ruído do sinal com ruído aditivo SNR_r .

De modo geral, os resultados mostram que o método de limiarização *Hard-Thresholding* gera menos distorção no sinal que o método *Soft-Thresholding* para diferentes relações de SNR_r . Isto ocorre visto que no método *Soft-Thresholding* os coeficientes que são iguais ou estão acima do limiar λ descrito em (9) também são modificados, ou seja, mesmo onde há a palavra elétrica o sinal é filtrado. Tal fato faz com que a amplitude do sinal seja suprimida como visto nas Figuras 9 e 11. Além disso, o método *Hard-Thresholding* mostrou-se superior em relação a sua capacidade de filtrar ruído aditivo produzindo SNR_o maior que o outro método. Os resultados obtidos concordam com os resultados adquiridos em (JING-YI et al., 2016).

4 | CONCLUSÃO

Este artigo mostrou o estudo sobre dois métodos para a redução de ruído em sinais de voz baseados na transformada Wavelet Discreta: *Hard-Thresholding* e *Soft-Thresholding*. Para a comprovação da eficiência destas técnicas utilizou-se as métricas de relação sinal ruído após a filtragem SNR_O e distância de Itakura-Saito d_{IS} . Após os testes realizados, concluiu-se através das métricas que a metodologia *Hard-Thresholding* apresentou melhor desempenho tanto em relação a redução do ruído quanto em relação a distorção. Entretanto é importante salientar que a escolha da Wavelet utilizada para o desenvolvimento do filtro pode influenciar o desempenho de ambos os métodos. Neste contexto, em trabalhos futuros, distintas funções Wavelet como a db5, a symlet e outras devem ser utilizadas na concepção dos filtros para que se realize testes mais conclusivos sobre o desempenho geral destes métodos.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, Rajeev et al. **Noise reduction of speech signal using wavelet transform with modified universal threshold**. International Journal of Computer Applications, v. 20, n. 5, p. 14-19, 2011.
- BEROUTI, Michael; SCHWARTZ, Richard; MAKHOUL, John. **Enhancement of speech corrupted by acoustic noise**. In: ICASSP'79. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. IEEE, 1979. p. 208-211.
- BRUCE, A.; GAO, H. Y. **Applied Wavelet Analysis With S-Plus**. 1996.
- CODELLO, Ireneusz; KUNISZYK-JÓŹKOWIAK, Wiesława. **Wavelet analysis of speech signal**. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio AI-Informatica, v. 6, n. 1, p. 103-115, 2015.
- DONOHO, David L. **De-noising by soft-thresholding**. IEEE transactions on information theory, v. 41, n. 3, p. 613-627, 1995.
- DONOHO, David L.; JOHNSTONE, Jain M. **Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage**. biometrika, v. 81, n. 3, p. 425-455, 1994.
- DUARTE, Marco Aparecido Queiroz et al. **Redução de ruído em sinais de voz no domínio wavelet**. 2005.
- GARGOUR, Christian et al. **A short introduction to wavelets and their applications**. IEEE circuits and systems magazine, v. 9, n. 2, p. 57-68, 2009.
- HERNÁNDEZ, Eugenio; WEISS, Guido. **A first course on wavelets**. CRC press, 1996.
- ISHWARYA, M. V. **An Improved Online Tamil Character Recognition Using Neural Networks**. International Journal of Advanced Science and Technology, v. 42, p. 1-10, 2012.

JING-YI, Lu et al. **A new wavelet threshold function and denoising application**. Mathematical Problems in Engineering, v. 2016, 2016.

MALLAT, Stéphane. **A wavelet tour of signal processing**. Elsevier, 1999.

MERRY, R. J. E.; STEINBUCH, M. **Wavelet theory and applications**. literature study, Eindhoven university of technology, Department of mechanical engineering, Control systems technology group, 2005.

MIHOV, Slavy G.; IVANOV, Ratcho M.; POPOV, Angel N. **Denoising speech signals by wavelet transform**. Annual Journal Of Electronics, n. 6, p. 2-5, 2009.

PRASADH, S. Kshipra; NATRAJAN, Sai Sriram; KALAIVANI, S. **Efficiency analysis of noise reduction algorithms: Analysis of the best algorithm of noise reduction from a set of algorithms**. In: 2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI). IEEE, 2017. p. 1137-1140.

SARIC, Matko; BILICIC, Luki; DUJMIC, Hrvoje. **White noise reduction of audio signal using wavelets transform with modified universal threshold**. University of Split, R. Boskovic a. b. HR, v. 21000, 2005.

STRANG, Gilbert; NGUYEN, Truong. **Wavelets and filter banks**. SIAM, 1996.

TASWELL, Carl. **The what, how, and why of wavelet shrinkage denoising**. Computing in science & engineering, v. 2, n. 3, p. 12-19, 2000.

TOGAMI, Masahito. **Multi-channel Itakura Saito distance minimization with deep neural network**. In: ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2019. p. 536-540.

TSAI, S. **Wavelet transform and denoising**. 2002.

VASEGHI, Saeed V. **Advanced digital signal processing and noise reduction**. John Wiley & Sons, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmos genéticos 109, 113, 118, 144, 145, 154
Ansiedade 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205
Apoio à decisão 1, 7
Arduino 35, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 161, 165, 166, 167, 168, 170, 171, 176
Asfalto 250, 252, 253, 257
Assistive technology 68
Aterro sanitário 238, 240, 241, 242, 243
Automação 68, 69, 76, 135, 141, 160, 165, 245, 246
Automation 66, 68
Avaliação de impacto 238
Avaliação de satisfação 1, 8
Avaliação do ensino de engenharia 1

B

Biomecânica óssea 52
Bracelete eletrônico 161
Building energy modelling 78, 91
Building information modelling 78

C

Cadeira de rodas 68, 69, 71, 72, 73, 75, 76, 77
Cartilha 196, 198, 199, 200, 203, 204, 205
Ciclo de vida 81, 250, 252
Commodities ambientais 13, 15, 17, 18, 24, 25, 26
Composição dodecafônica 108, 118
Conforto 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 200, 203
Cosméticos 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25
Crescimento econômico sustentável 13, 14, 15
Criança 196, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 205

D

Deficiência visual 161, 162, 163, 172, 174
Discrete analysis 177

Dispositivo de fricção controlada 224, 226, 228, 229, 232, 233, 234, 236

E

Efeito de bloqueio 92, 93, 107

Efficiency 51, 78, 94

Eletrotécnica 132, 133, 134, 135

Energia incorporada 250, 252, 253, 254, 255, 256

Energy sustainability 78

Engenharia elétrica 37, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 195

Ensino 1, 2, 3, 7, 11, 12, 24, 119, 120, 121, 122, 130, 131, 132, 134, 135, 137, 138, 142, 162, 167, 174

Estampagem profunda 260, 262, 263

Estudo ambiental 238, 241, 242

Extreme events 177, 183, 185, 187

F

Fêmur 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61

Ferramentas da qualidade 206, 207, 208, 214, 217, 218, 220, 221

Fluxo de carga 190

G

Gestão 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 12, 121, 131, 188, 206, 207, 208, 209, 217, 220, 221, 222, 243, 246, 270

H

Huella de carbono 250, 252, 253, 254, 255, 256

I

IoT 245, 248

L

Licenciamento ambiental 238, 240, 241, 243, 244

Limiar duro 37

Limiar suave 37

Lubrificante mineral 260

Lubrificante vegetal 260

M

Mapeamento sistemático da literatura 132, 133

Mecânica dos fluidos computacional (CFD) 93

Metaheurísticas 108, 109, 118

Modelagem digital 119, 120, 122

Modelo de elementos finitos específico do paciente 52

Módulo de Young 52, 53, 59, 60, 62, 63, 64, 65

N

Northeast coast of South America 177, 180, 187

O

Otimização 75, 108, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 154, 157, 159, 191, 206, 241

P

Polímeros termoplásticos 250, 255, 256, 257

Problema do caixeiro viajante 108, 109, 111, 117, 118

Processamento de imagens 52, 54

Processo industrial 206

Q

Questionário on-line 132, 136

S

Saúde 15, 29, 35, 74, 196, 198, 200, 201, 203, 205, 238, 239, 240, 261

Sensor de umidade 27, 28, 31, 35

Simulação numérica 61, 65, 260

Sinal de voz 37, 38, 42, 44, 45

Sistemas de distribuição 190, 191, 194, 195

Sistemas de potência 190

T

Tecnologia assistiva 68

Têxteis esportivos 27, 29, 34, 35

Tomografia computadorizada 52, 53

Transformada Wavelet 37, 38, 39, 41

V

VAACT 92, 93, 94

Vigas mistas semicontínuas 144, 160

W

Wheelchair 68

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



A visão sistêmica e integrada das **engenharias** e sua **integração com a sociedade**

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

