



As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 3

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 3 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-432-0 DOI 10.22533/at.ed.320192506 1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série. CDD 658.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CERÂMICOS DE ALUMINA-ZIRCÔNIA PARA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE CORTE	
Miguel Adriano Inácio	
Maria do Carmo de Andrade Nono	
José Vitor Cândido de Souza	
Sergio Luiz Mineiro	
Daniel Alessander Nono	
DOI 10.22533/at.ed.3201925061	
CAPÍTULO 2	10
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE MODELO ELASTOPLÁSTICO EM ROCHA CARBONÁTICA CARSTIFICADA	
Rayane Conceição Ribeiro da Silveira Mattos	
Daniel Araújo Farias de Melo	
Marinésio Pinheiro de Lima	
Tiago de Freitas Viana	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.3201925062	
CAPÍTULO 3	26
A INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS COM APLICAÇÃO EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS	
Glauber Rodrigues Cerqueira de Cerqueira	
Pedro Eliézer de Araújo Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3201925063	
CAPÍTULO 4	42
MICROPOROUS ACTIVATED CARBON FIBER FELT FROM BRAZILIAN TEXTILE PAN FIBER: PREPARATION, CHARACTERIZATION AND APPLICATION AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE	
Jossano Saldanha Marcuzzo	
Aline Castilho Rodrigues	
Andres Cuña	
Nestor Tancredi	
Eduardo Mendez	
Heide Heloise Bernardi	
Mauricio Ribeiro Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.3201925064	
CAPÍTULO 5	55
ANÁLISE COMPARADA DE UM AGREGADO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LASTRO DE VIAS FÉRREAS DO TIPO <i>HEAVY HAUL</i> POR MEIO DE ENSAIOS TRIAXIAIS	
Bruno Guimarães Delgado	
Antônio Viana da Fonseca	
Eduardo Fortunato	
Daniela Raquel Ferreira Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3201925065	

CAPÍTULO 6	71
CARACTERIZAÇÃO EM FADIGA POR FLEXÃO ROTATIVA DE FIOS DE ARAME DE SOLDA	
Ingrid Ariani Belineli Barbosa	
Heide Heloise Bernardi	
William Marcos Muniz Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.3201925066	
CAPÍTULO 7	80
ESTUDO DA MICROESTRUTURA NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA COM A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM	
Luís Henrique Pires da Silva	
Alex Sander Chaves da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3201925067	
CAPÍTULO 8	92
ESTUDO DA USINAGEM DA SUPERLIGA A BASE DE FERRO-NÍQUEL UTILIZANDO FERRAMENTA CERÂMICA	
Eduardo Pires Bonhin	
Sarah David Müzel	
Marcel Yuzo Kondo	
Lúcia de Almeida Ribeiro	
José Vitor Candido de Souza	
Marcos Valério Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.3201925068	
CAPÍTULO 9	100
CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE NÉVOA SALINA ATENDENDO AOS REQUISITOS MÍNIMOS CONTIDOS NAS NORMAS ISO 9227 e ASTM B-117	
Leonardo de Souza Coutinho	
Alexandre Alvarenga Palmeira	
DOI 10.22533/at.ed.3201925069	
CAPÍTULO 10	111
MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA: COLHEITADEIRAS AXIAIS X RADIAIS	
Filipi José Arantes Lemos	
João Mario Mendes de Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.32019250610	
CAPÍTULO 11	127
MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA PARA O PROJETO DE MODELOS DE BIELAS E TIRANTES	
Jamile Maria Araujo Tavares	
Rejane Martins Fernandes Canha	
DOI 10.22533/at.ed.32019250611	
CAPÍTULO 12	142
ESTUDO NUMÉRICO DE UM EQUIPAMENTO DE SECAGEM	
Eduardo Dal Piva Schuch	
Magaiver Gabriel Lamp	
Conrado Mendes Morais	
Ângela Beatrice Dewes Moura	
DOI 10.22533/at.ed.32019250612	

CAPÍTULO 13	153
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A COMBUSTÃO DE GASOLINA	
Felipe Michael Grein	
Jean Lucas Pereira	
Luiz Felipe Weck	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.32019250613	
CAPÍTULO 14	156
MODELAGEM DE PID PARA SISTEMA DE CONTROLE DE RAMPAS DE TEMPERATURA EM BRASSAGEM	
Gabriel Queiroz	
Marcelo Barros de Almeida	
Márcio Jose da Cunha	
DOI 10.22533/at.ed.32019250614	
CAPÍTULO 15	168
MODELAGEM MATEMÁTICA DE SISTEMAS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA	
Lucas Divino Alves	
Neylor Makalister Ribeiro Vieira	
Emerson Paulino dos Reis	
DOI 10.22533/at.ed.32019250615	
CAPÍTULO 16	183
APLICAÇÃO E ANÁLISE VIA MEC EM PROBLEMAS DE TERMOELASTICIDADE 2D	
Luis Vinicius Pereira Silva	
Gilberto Gomes	
João Carlos Barleta Uchôa	
DOI 10.22533/at.ed.32019250616	
CAPÍTULO 17	198
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO HETEROGÊNEO	
Raquel Oliveira Lima	
José Arthur Oliveira Santos	
Antônio Jorge Vasconcellos Garcia	
Felipe Barreiros Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.32019250617	
CAPÍTULO 18	207
TANQUES FLASH: DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS NO SOFTWARE DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO EMSO	
Erich Potrich	
Sérgio Correia da Silva	
Larissa Souza Amaral	
DOI 10.22533/at.ed.32019250618	

CAPÍTULO 19	215
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO ORGÂNICA EM OPERAÇÕES DE MISTURA DE PETRÓLEOS NO TANQUE DE ESTOCAGEM EM REFINARIAS DE PETRÓLEO	
Rosberguer de Almeida Camargo	
Mauren Costa da Silva	
Rafael Beltrame	
Darci Alberto Gatto	
Antônio Carlos da Silva Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.32019250619	
CAPÍTULO 20	223
AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA MENSURAR A ILUMINÂNCIA EM UM AVIÁRIO EXPERIMENTAL	
Giovanni Polette Dalla Libera	
Victor Moreira Leão	
Vitor Augusto de Sousa	
Matheus Fernando Lima Zuccherelli de Souza	
Renata Lima Zuccherelli de Oliveira	
Marcelo Eduardo de Oliveira	
Adriano Rogério Bruno Tech	
DOI 10.22533/at.ed.32019250620	
CAPÍTULO 21	230
CONTROLADOR FUZZY SINTONIZADO POR ALGORITMO GENÉTICO EM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	
Lenon Diniz Seixas	
Diego Solak Castanho	
Hugo Valadares Siqueira	
Fernanda Cristina Corrêa	
DOI 10.22533/at.ed.32019250621	
CAPÍTULO 22	243
CONTROLADORES ROBUSTO APLICADO A CONVERSORES CC-CC	
Luiz Otávio Limurci dos Santos	
Luiz Antonio Maccari Junior	
DOI 10.22533/at.ed.32019250622	
CAPÍTULO 23	261
PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA ESTUDO DE MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 8/6	
Marcos José de Moraes Filho	
Luciano Coutinho Gomes	
Darizon Alves de Andrade	
Josemar Alves dos Santos Junior	
Wanberton Gabriel de Souza	
Cássio Alves de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.32019250623	

CAPÍTULO 24	275
ESTUDO COMPARATIVO DE MODELAGENS DE ENROLAMENTOS DE UM TRANSFORMADOR UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISES DE ESFORÇOS ELETROME CÂNICOS	
Pedro Henrique Aquino Barra Arnaldo José Pereira Rosentino Junior Antônio Carlos Delaiba	
DOI 10.22533/at.ed.32019250624	
CAPÍTULO 25	287
PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DO LAÇO DE HISTERESE MAGNÉTICA	
Vitor Hörbe Pereira Da Costa Antônio Flavio Licarião Nogueira Leonardo José Amador Salas Maldonado	
DOI 10.22533/at.ed.32019250625	
CAPÍTULO 26	294
SIMULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO E CORRENTE ELÉTRICA EM TECIDOS BIOLÓGICOS	
Guilherme Brasil Pintarelli Afrânio de Castro Antonio Jr. Raul Guedert Sandra Cossul Daniela Ota Hisayasu Suzuki	
DOI 10.22533/at.ed.32019250626	
CAPÍTULO 27	307
SISTEMA DE PRESENÇA UTILIZANDO IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA	
Giovani Formaggio Mateus Ricardo Barroso Leite	
DOI 10.22533/at.ed.32019250627	
CAPÍTULO 28	322
SISTEMAS DEFASADORES EM ALTA FREQUÊNCIA UTILIZANDO MICROFITA EM SUBSTRATO FR4	
Jobson De Araújo Nascimento José Moraes Gurgel Neto Alexsandro Aleixo Pereira da Silva Regina Maria de Lima Neta	
DOI 10.22533/at.ed.32019250628	
CAPÍTULO 29	333
ANÁLISES DA RUPTURA EM TRECHO DA BR-060 NO MUNICÍPIO DE ALEXÂNIA, GOIÁS, E CONDIÇÕES APÓS SEIS ANOS DA RECUPERAÇÃO	
Rideci Farias Tiago Matias Lino Haroldo da Silva Paranhos Itamar de Souza Bezerra Ranieri Araújo Farias Dias Alexsandra Maiberg Hausser	
DOI 10.22533/at.ed.32019250629	
SOBRE O ORGANIZADOR	346

CONTROLADOR FUZZY SINTONIZADO POR ALGORITMO GENÉTICO EM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Lenon Diniz Seixas

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa – Paraná

Diego Solak Castanho

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa – Paraná

Hugo Valadares Siqueira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa – Paraná

Fernanda Cristina Corrêa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa – Paraná

RESUMO: Em sistemas de controles industriais é muito comum o uso de controladores PID (Proporcional Integral Derivativo), devido à facilidade de implementação, manutenção e baixo custo, porém, sempre se anseia por mais robustez e melhor tempo de resposta. A lógica Fuzzy vem com o intuito de permitir que estados não quantificáveis possam também ser avaliados por dispositivos de controle, podendo ser feita interpretação de expressões ambíguas e imprecisas, e relacionar o conhecimento humano de um especialista as reações de uma máquina por meio de um conjunto de regras. Esses conjuntos de regras baseadas em condicionais se-então, são difíceis de serem examinadas perfeitamente em sistemas mais

complexos. Para lidar com isso, é proposta uma sintonia dos parâmetros Fuzzy utilizando uma meta-heurística evolutiva chamada algoritmo genético. O algoritmo genético é um método probabilístico, e será utilizado na otimização das regras de inferência e funções de pertinência do controlador Fuzzy, retirando o empirismo deste. Sabendo-se do atual grande crescimento dos veículos elétricos, um grande desafio se apresenta: a autonomia das baterias entre uma carga e outra. O presente trabalho traz a implementação de um controlador Fuzzy sintonizado por algoritmo genético aplicado em um sistema de armazenamento de energia baseado em bateria e supercapacitor. Percebe-se a crucial atuação do genético e conforme melhor sintonizado o controlador, maior a economia do estado de carga da bateria.

PALAVRAS-CHAVE: controle fuzzy; algoritmo genético; sistema de armazenamento de energia; veículos elétricos.

ABSTRACT: In industrial control systems it is very common PID (Proportional Integral Derivative) controller systems, due to the easy implementation, maintenance and low cost, but it has always wanted more robustness and better response time. The Fuzzy logic comes to allow no quantified states can be also evaluated by control devices, so that can be made an interpretation of ambiguous and imprecise

expressions, and to relate the specialist human knowledge with the machines reactions by a rule structure. These rule structure based on if-then conditional, are hard to be perfectly examined in systems that are more complex. To deal with that, it is proposed a tuning of the fuzzy parameters using an evolutionary meta-heuristic called genetic algorithm. The genetic algorithm is a probabilistic method, and will be used on the optimization of the inference rules and pertinence functions of the fuzzy controller, removing its empiricism. Knowing the recent huge developing of the electric vehicles, a great challenge is shown: the autonomy of the battery bank between a charge and other. This paper brings the implementation of a fuzzy controller tuned by a genetic algorithm applied to a battery and supercapacitor based energy storage system. It has seen the crucial actuation of the genetic algorithm and as better the controller is tuned, greater is the economy of the battery charge state.

KEYWORDS: Fuzzy control; Genetic Algorithm; energy storage system; electric vehicles.

1 | INTRODUÇÃO

Sabendo-se da expansão do mercado de veículos elétricos (VEs) e veículos elétricos híbridos (VEH) dos últimos anos, vários desafios são levantados para a engenharia, sendo um deles a autonomia da bateria. A autonomia é um dos mais importantes fatores que pode levar o veículo elétrico ao sucesso ou ao fracasso, pois está ligada diretamente com o rendimento e custo-benefício da transição combustão-elétrico, e, com o conhecimento disso, empresas investem fortemente nessa área almejando a máxima eficiência.

Uma opção para melhorar a gestão da bateria é associar um supercapacitor que, segundo Eckert et al (2017) irá fornecer ou receber picos de potência, obtendo benefícios como reduzir estresse na bateria, custo e tamanho, e aumentar a sua vida-útil. Possuindo então duas fontes de energia, a gestão do uso da energia torna-se além de mais eficiente, mais complexa.

Para este trabalho é feito uma simulação de um sistema de armazenamento de energia, baseado em supercapacitor e bateria, utilizando conversores CC-CC e um controlador Fuzzy, que, conforme Koshiyama et al (2013), se mostra cada vez mais uma alternativa viável para manipular sistemas complexos. Conversores CC-CC são sistemas amplamente utilizados formados por semicondutores de potência e elementos passivos (indutores e capacitores) que controlam o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída, como explica muito bem Barbi e Martins (2000).

Desta forma, deseja-se, por meio da comparação de testes no sistema de armazenamento sem controle algum e testes com controle Fuzzy empírico, provar a eficiência da otimização por algoritmo genético do controlador Fuzzy no sistema de armazenamento.

A lógica Fuzzy foi criada pela necessidade de um método capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas ou mal definidas, como dito por Shaw e Simões (1999). Em vez de utilizar modelos estritamente matemáticos, os controladores fuzzy podem ser investidos com o conhecimento experimental de operadores humanos treinados, sendo a ação de controle sempre consistente. Ela também pode ser útil em tarefas de tomadas de decisão, onde as variáveis linguísticas não são definidas em termos exatos (Shaw e Simões, 1999). Diz-se ainda que a lógica fuzzy é uma lógica multivalente, pois possui graduação. Uma lógica binária limitaria-se ao verdadeiro e falso, preto ou branco. O objetivo da lógica fuzzy é de manipular graus de verdade, níveis de cinza, e assim, fazer com que computadores possam raciocinar conforme humanos. A manipulação dos níveis é feita com o que é chamado de funções de pertinência, e a lógica baseada em regras se-então.

Neste trabalho a lógica Fuzzy é utilizada no controle do sistema de armazenamento de energia objetivando controlar o momento mais adequado para utilizar a energia provida pela bateria, e pelo supercapacitor. Por meio de testes empíricos, um especialista avaliaria como gerir as funções de pertinência e regras lógicas de forma que possa obter o melhor desempenho do controlador, tornando o sistema mais eficaz. Porém, neste trabalho é proposto que, tomando como base um princípio empírico da análise humana do fuzzy, a definição exata das regras e funções sejam otimizadas ao seu máximo utilizando um algoritmo meta-heurístico, assim como fez Leite (2009).

Heurísticas de otimizações vêm sendo muito utilizadas em sistemas complexos, principalmente em técnicas de controle moderno. Sua forma de busca pelo ótimo se dá por aproximações avaliadas. O método utilizado neste trabalho é uma heurística bio-inspirada chamada algoritmo genético (AG). O algoritmo genético, datado do início dos anos 70 (Holland, 1975), baseia-se na teoria evolutiva de Charles Darwin, onde aquele mais adaptado tem maiores chances de sobrevivência. Dessa forma, por meio de uma população inicial, geração selecionada de novos indivíduos filhos, obtidos por meio de crossover, e fazendo uso de mutação para maior variedade, o algoritmo faz sua busca pelo ótimo, atingindo-o com bastante robustez.

O principal objetivo é, otimizando o controlador Fuzzy por meio do AG, suprir a demanda de potência obtendo um transitório mais próximo do ideal de forma a consumir o mínimo possível do banco de baterias. O trabalho apresenta os resultados de uma metodologia semi-automatizada pelo AG e totalmente automatizada, baseada em Andrade (2014).

2 | METODOLOGIA

Será apresentada a metodologia aplicada no trabalho em sequência de desenvolvimento: planta, controlador, heurística.

2.1 Planta

Para realizar a simulação foi implementado em simulink (MATLAB) um sistema de armazenamento previamente elaborado por Pierre Clement Blaud, L.-A. Dessaint (2012), disponível na biblioteca do programa.

Neste trabalho utiliza-se um conversor Boost, que possui característica de elevador de tensão, e um conversor Buck-Boost, que pode ser utilizado tanto como abaixador como elevador de tensão, sendo este comportamento definido pelo valor da razão cíclica da frequência de chaveamento.

O conversor Boost é usado para a bateria, pois esta, atuando como fonte de tensão de entrada, exige-se elevação de tensão na saída.

O conversor Buck-Boost é então utilizado para o supercapacitor, pois atuando como elevador ele o descarrega, e como abaixador o carrega. Ou seja, neste caso, não será considerado o carregamento da bateria, somente descarga.

2.2 Controlador Fuzzy

Para configurar o controlador fuzzy baseou-se no trabalho feito por Trudes et al (2017), onde almejando controlar também um sistema de armazenamento, os autores montam um fuzzy empiricamente. Neste trabalho são apresentadas duas propostas: manter as regras relativas ao supercapacitor partindo do trabalho empírico e automatizar somente a busca pelas regras da bateria, como forma de ganho de processamento; e utilizar o algoritmo genético para buscar ambas saídas.

A primeira proposta é feita pois tratando pelo genético apenas uma das regras diminui consideravelmente o número de variáveis, e então é possível analisar o custo-benefício de se tratar todas as variáveis do problema.

Para a segunda proposta, como apenas as regras serão tratadas diferentes, otimiza-se diminuindo o espaço de busca das funções de pertinência tendo como base os resultados da primeira proposta.

Foram inseridas três variáveis de entrada: Potência Requerida, Derivada da Potência Requerida, Tensão do Supercapacitor. A primeira refere-se a curva da potência solicitada do conjunto de armazenamento, a segunda prevê o comportamento da curva, e a última tem por objetivo controlar a tensão do supercapacitor para não saturar. As variáveis de saída são: potência exigida do supercapacitor e potência exigida da bateria. O método de defuzzificação empregado foi centroide. Na figura 1 visualiza-se as variáveis de entrada, de saída e o método de defuzzificação empregado.

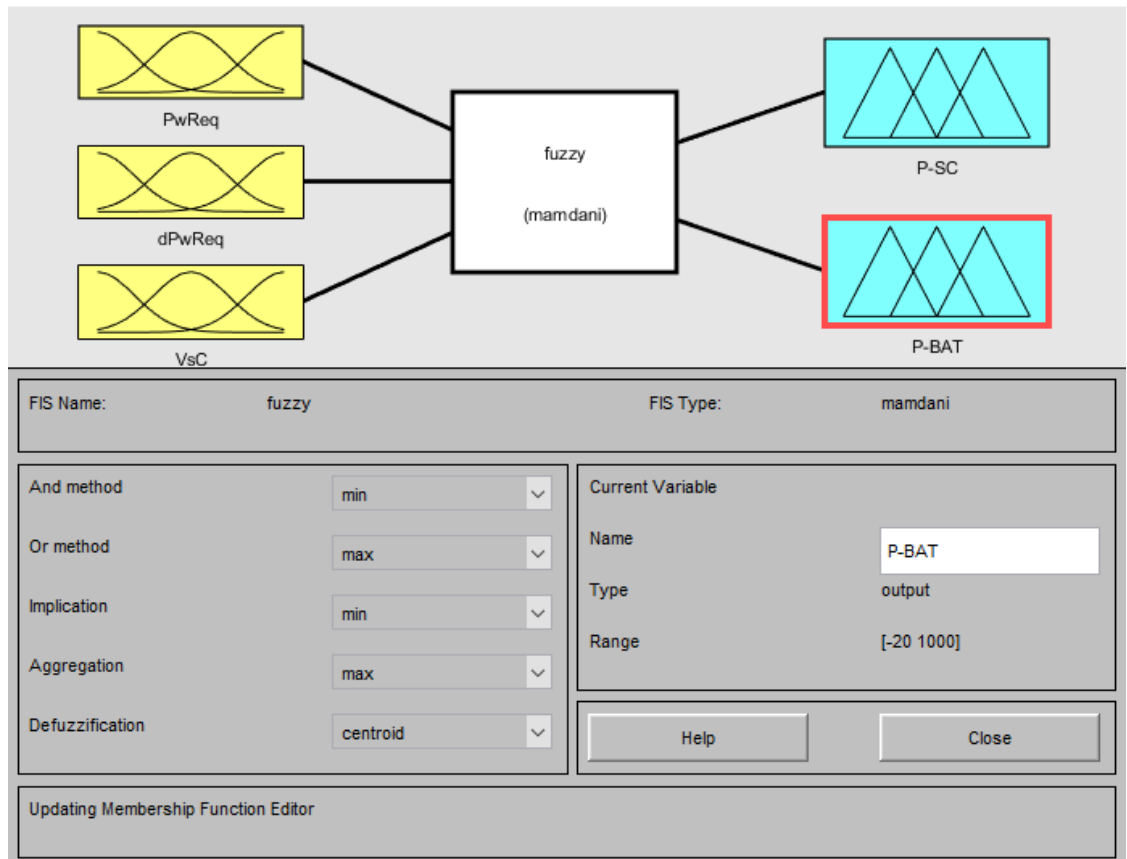


Figura 1 – Controlador Fuzzy

Fonte: (Autor, 2018)

Dentro da primeira variável, Potência Requerida, são dispostos em sequência 7 funções de pertinência do tipo gaussiana: Potência Super Baixa (PSB), Potência Baixa (PB), Potência Pouco Baixa (PPB), Potência Média (PM), Potência Pouco Alta (PPA), Potência Alta (PA), Potência Super Alta (PSA). A figura 2 mostra uma possibilidade de disposição.

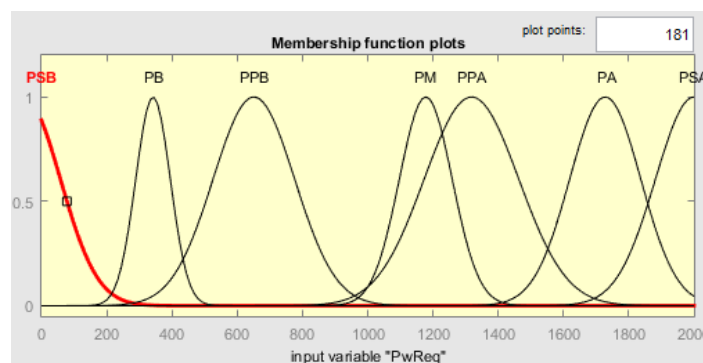


Figura 2 – Funções de pertinência da Potência Requerida

Fonte: (Autor, 2018)

Na segunda e na terceira variável de entrada, utilizaram-se três triangulares entrelaçadas, de forma que o centro de uma indica o zero da mais próxima. As funções de pertinência da derivada da Potência Requerida são em sequência: Negativo, Zero,

Positivo; e as funções para o controle de tensão do capacitor: Baixo, Médio, Alto.

As variáveis de saída, Potência Requerida do Supercapacitor e Potência Requerida da Bateria, possuem respectivamente 8 e 7 funções de pertinência, sendo para a segunda: Potência Super Baixa (PSB), Potência Baixa (PB), Potência Pouco Baixa (PPB), Potência Média (PM), Potência Pouco Alta (PPA), Potência Alta (PA), Potência Super Alta (PSA). Para a primeira, acrescenta-se uma função de pertinência no início da sequência na região do negativo, chamada N. A figura 3 apresenta um exemplo das saídas.

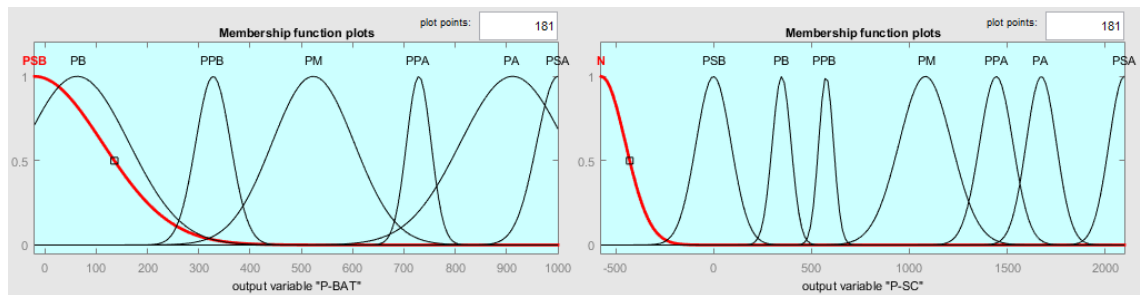


Figura 3 – Funções de pertinência de saída

Fonte: (Autor, 2018)

As funções de pertinência têm seus parâmetros como variáveis a serem otimizados pelo AG, totalizando 49 variáveis. Dessa forma, elas não são fixas, elas terão um grau de liberdade para moverem seu centro ou ponto de zero dentro de um limite, aproximando-se umas das outras. Tanto para a entrada da potência requerida como para as potências requeridas de saída, foram escolhidas funções de pertinência do tipo gaussiana, pois esta possui uma transição suavizada, evitando picos. As funções triangulares foram entrelaçadas entre si e utilizadas por simplificação, pois dessa forma transportam-se menos variáveis ao AG, ganhando em tempo de processamento (Andrade, 2014).

Para obter as regras de inferência, todas as variáveis linguísticas de entrada têm suas funções combinadas entre si de forma que toda entrada possível possa ser avaliada. São sete funções para a primeira, três para a segunda, três para a terceira, totalizando 63 possibilidades de entrada, ou seja, 63 regras. Como são duas saídas, onde a primeira há 8 funções, e a segunda 7, as possibilidades de combinações possíveis até encontrar a regra ótima seriam gigantescas.

Desta forma, neste trabalho foi proposto inicialmente, tratar como variável somente a regra que definiria a saída da bateria, e assim, fixando a saída em um valor próximo do definido no trabalho de Trudes et al (2017) onde um especialista encontrou a sua melhor possibilidade.

Na segunda proposta uma simulação é feita incluindo a saída do supercapacitor como variável, porém para isso mais 63 variáveis foram adicionadas ao problema, o que totalizou 175 variáveis.

O Fuzzy foi implementado via código utilizando bibliotecas do MATLAB como proposto por Andrade (2014), onde um vetor, que será o cromossomo a ser trabalhado no AG, possuirá seus parâmetros Fuzzy como variáveis. Estas variáveis serão geradas aleatoriamente por meio da definição de limites de atuação, seu universo de discurso.

2.3 Algoritmo Genético

O algoritmo genético tenta replicar a evolução natural darwinista, e para isso, cada candidato a resposta de um problema é um indivíduo que possui um cromossomo - um vetor com suas características - e um fenótipo, que é seu valor de fitness. Quanto maior o valor de fitness, mais apto está o indivíduo.

O processo de otimização parte de uma população inicial aleatória de candidatos a resposta. Todos esses indivíduos são então avaliados e selecionados para o crossover, o processo relativo ao cruzamento. Para o crossover, dois indivíduos pais são selecionados, e - por meio de métodos como, por exemplo, Crossover de Ponto, Crossover Binário ou Crossover SBX - têm suas características (seus genes) recombinadas.

Ocasionalmente, ocorre a mutação, que é a alteração de um gene aleatoriamente. Isto é importante para obter informações não contidas nos genes da geração atual. Esse processo todo é repetido até que um critério de parada seja atendido, seja ele número de gerações, tempo de execução, ou fitness atingido. Um diagrama simplificado desse processo é apresentado na figura 4.

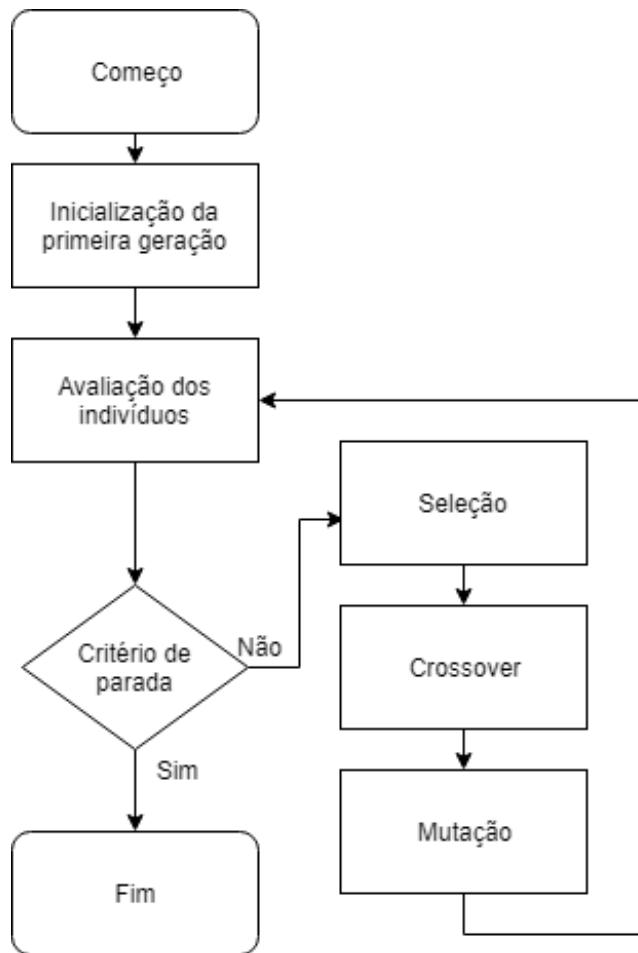


Figura 4 – Diagrama do algoritmo genético

Fonte: (Autor, 2018)

Após testes, definiram-se as configurações básicas do algoritmo genético sendo: indivíduos com representação por um vetor de números reais e inteiros, a obtenção do fitness feita pela Integral do Erro Absoluto, a seleção de indivíduos baseada no método do torneio, recombinação por crossover, e mutação.

A representação dos indivíduos foi feita por números reais até onde se diz respeito aos parâmetros das funções de pertinência do Fuzzy, e em sequência, quando são definidos os valores referentes às regras, limita-se a apenas números inteiros.

Na avaliação usou-se a Integral do Erro Absoluto apresentada na equação 1, comumente utilizada em controle PID, que é a integral do valor absoluto de sinal de erro no tempo, ou seja, o equivalente a soma das áreas acima e abaixo do valor de referência. Utilizou-se então o transitório de saída do controlador Fuzzy em um período de 10 segundos como função objetivo, e a referência utilizou o transitório de potência requerida de entrada. O transitório da potência requerida do sistema de armazenamento tratada em todas as simulações é apresentado na figura 5 e representa um transitório ideal, sem oscilações. Deseja-se com o controlador Fuzzy obter a saída mais próxima possível dessa.

$$I(k) = \left| \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\text{erro}(k) + \text{erro}(k-1)}{2} * (\text{tempo}(k) - \text{tempo}(k-1)) \right| \quad (1)$$

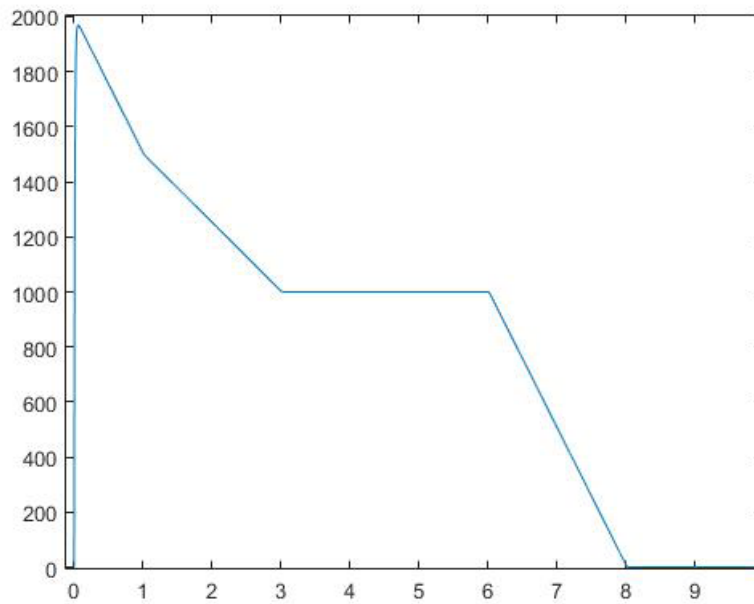


Figura 5 – Potência demandada (Potência x Tempo)

Fonte: (Autor, 2018)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, foi realizada a simulação do sistema de armazenamento projetado por Pierre Clement Blaud e L.-A. Dessaint (2012) durante 60 segundos, a fim de obter uma visualização maior dos efeitos e posteriormente em nível de comparação.

Em sequência, simulando a primeira proposta, com duração de 37,25 horas, foram obtidos os resultados que seguem na figura 6. Os gráficos acima na figura representam fitness pelo número da geração, sendo o gráfico da esquerda o melhor fitness geral no eixo das ordenadas. Abaixo, é apresentado o transitório de saída do controlador. Analisando os resultados percebe-se que o controle não é eficiente ao lidar com a transição de 1000 W a 0 W, bem como mantê-la em zero.

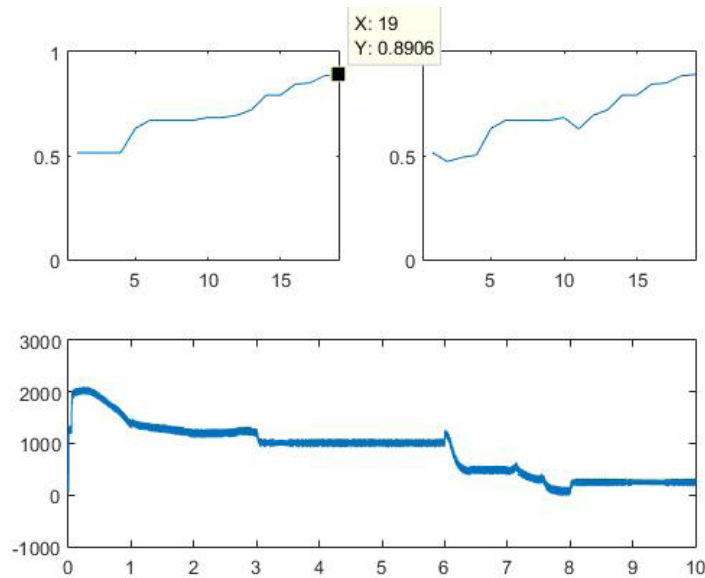


Figura 6 – Resultados do AG para primeira proposta

Fonte: (Autor, 2018)

A segunda proposta levou cerca de 100 horas de simulação, sendo parada por convergir na geração 32. Na figura 7 apresentam-se os resultados obtidos. Percebe-se melhoria em relação à primeira proposta quando estabiliza em 0 W, porém ainda falta eficiência ao ir de 1000 a 0 W. É decisivo que, para diminuir o tempo de simulação, foi restringido o range das variáveis no AG em valores próximos aos obtidos na primeira proposta, sendo limitador na busca de um resultado perfeito.

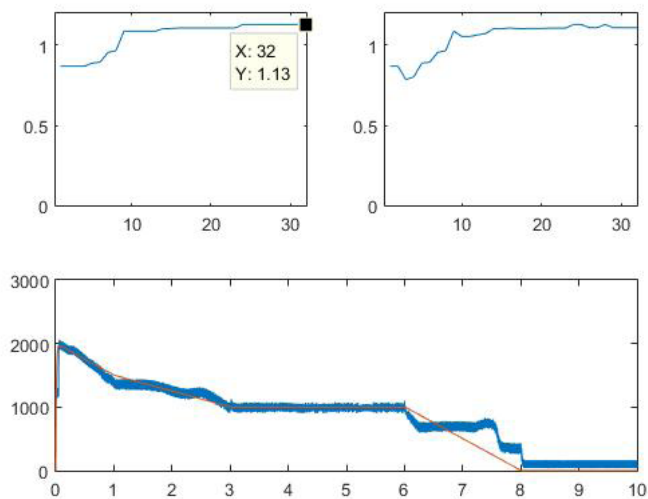


Figura 7 – Resultados do AG para segunda proposta

Fonte: (Autor, 2018)

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos relacionando o consumo percentual em 60 segundos de simulação, e o tempo de execução do AG para obter o controlador otimizado. Na figura 8 é comparado cada consumo, percebendo que em longo prazo a

economia torna-se ainda maior. No eixo das ordenadas é dado em percentual o estado de carga da bateria, e no eixo das abscissas é dado o tempo em segundos.

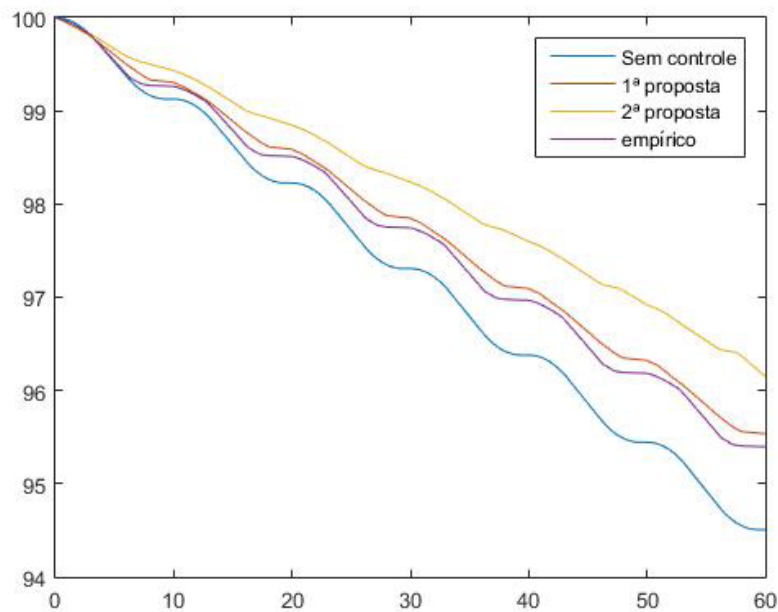


Figura 8 – Comparação de consumo

Fonte: (Autor, 2018)

Metodologia	Consumo Percentual (em 60s)	Tempo de execução AG
Sem controle	5,49%	0
Primeira proposta	4,46%	1d12h
Segunda proposta	3,85%	4d7h

Tabela 1 – Comparação de metodologia

Em 60 segundos de simulação, o sistema não controlado apresentou um consumo de 5,49%. Para o mesmo período de simulação, um sistema controlado com um *tuning* de fuzzy que demorou cerca de 4 dias e 7 horas de simulação, apresentou uma melhora de 1,64%, além de um consumo sem tanta oscilação, o que indica maior estabilidade. A longo prazo, linearizando as equações, no mesmo período em que, para a proposta sem controle, a planta consumiria totalmente a sua bateria, para a segunda proposta restaria ainda 29,86%, o que significa 42,55% mais autonomia ao sistema.

O computador utilizado para realizar as simulações possui um processador AMD3 x64 Phenom II x4 e 8 GB de RAM.

4 | CONCLUSÕES

Aperfeiçoar o sistema de armazenamento de um veículo elétrico é um desafio interessante, já que isto está diretamente atrelado à autonomia. Para conseguir melhor

eficiência é utilizado um sistema com bateria e supercapacitor, porém, ainda assim, é necessário um controle para melhor aproveitamento desse conjunto.

Adicionar um controlador ao sistema de armazenamento melhora bastante as respostas obtidas, e o controlador Fuzzy provou-se uma ótima alternativa para lidar com a planta em questão. Para sintonizar um controlador Fuzzy, levando em conta o conhecimento do especialista a tratar, tomam-se semanas de trabalhos e testes. Por isso, é proposto um algoritmo otimizar este processo.

Dentro das propostas, o algoritmo executado trabalhou como esperado, mostrando que a otimização é efetiva e pode ir ainda além. Percebe-se que mesmo automatizando o processo, ainda é necessário um conhecimento prévio do problema a ser tratado e da forma a se projetar o Fuzzy. Nesse sentido, o presente trabalho consegue apresentar o benefício de ter um conhecimento prévio de um especialista, mas também o quanto não se deve manter engessado a isso, visto as respostas finais: o controlador totalmente tratado pelo genético melhorou consideravelmente a economia.

O algoritmo genético trabalhado é uma heurística já consolidada e apresenta coesão e solidez nos resultados, porém demonstra lentidão, tornando muitas vezes custosa a obtenção de resultados melhores. Outras propostas mais modernas podem ser trabalhadas, como o PSO (Particle Swarm Optimization), que apresenta na maioria dos casos menor custo computacional (Hassan et al, 2004).

AGRADECIMENTOS

Agradeço como bolsista da agência de fomento PIBIC/UTFPR todos os recursos e a oportunidade provida. Agradeço a minha orientadora pela oportunidade, atenção e suporte, bem como a UTFPR e o Departamento de Eletrônica pela disponibilização de espaço e material.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. F. B. de. **Sintonia de controlador fuzzy por algoritmo genético em sistema de nível de líquidos**. [S.l.], 2014.

BARBI, I.; MARTINS, D. C. **Eletrônica de Potência: Conversores CC-CC Básicos Não Isolados**. [S.l.]: Ed. dos autores, 2000.

ECKERT, J. J. et al. **Energy storage and control optimization for an electric vehicle**. International Journal of Energy Research, Wiley Online Library, 2017.

HASSAN, R.; COHANIM, B.; WECK, O. de. **A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm**. [S.l.], 2004.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. 1st. ed. [S.l.]: MIT Press, 1975.

KOSHIYAMA, A. S.; VELLASCO, M. M.; TANSCHKEIT, R. **Gpf-control: Um modelo fuzzy-**

genético para problemas de controle. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, v. 1, p. 1–6, 2013.

LEITE, L. d. C. M. **Geração e Simplificação da Base de Conhecimento de um Sistema Híbrido Fuzzy-Genético.** [S.l.], 2009.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem Fuzzy.** 1st. ed. [S.l.]: EDITORA EDGARD BLÜCHER LTDA, 1999.

TRUDES, G. P. et al. **Aplicação da lógica fuzzy no gerenciamento de sistemas de armazenamento de energia do veículo elétrico.** 13^o Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, 2017, Lisboa, 13^o Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, 2017.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-432-0

