



Atena
Editora

Ano 2020

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza
(Organizadores)

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

2

A black and white photograph of a hand holding a square microchip. The chip has a grid of pins around its perimeter and several smaller components on its surface. The background is a blurred workshop or laboratory setting with various electronic components and tools.

Atena
Editora

Ano 2020

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza
(Organizadores)

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

2

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

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

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

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
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
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
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 Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>Engenharia elétrica e de computação [recurso eletrônico] : atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 2 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-168-8 DOI 10.22533/at.ed.688200707</p> <p>1. Ciência da computação – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Granza, Marcelo Henrique.</p> <p style="text-align: right;">CDD 623.3</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

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

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

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

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PARADOXOS, RISCOS E REQUISITOS DA NOVA MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA	
Vitor Silva Duarte	
Mario Jorge Daher	
Alex Nunes de Almeida (<i>in memoriam</i>)	
Maria Aparecida Martinez	
DOI 10.22533/at.ed.6882007071	
CAPÍTULO 2	14
ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÕES RENOVÁVEIS SOBRE A MARGEM DE ESTABILIDADE DE TENSÃO POR MEIO DE REGIÕES DE SEGURANÇA	
Paulo Andrade Novaes	
Antonio Carlos Zambroni de Souza	
Fábio da Costa Medeiros	
DOI 10.22533/at.ed.6882007072	
CAPÍTULO 3	28
APLICAÇÃO DE MODELO MULTIOBJETIVO DE ALOCAÇÃO DE GERADORES DISTRIBUÍDOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO OBRAS DE CONEXÃO DA REDE	
Paulo Sérgio Zanin Júnior	
Lina Paola Garcés Negrete	
Gelson Antônio Andrêa Brigatto	
DOI 10.22533/at.ed.6882007073	
CAPÍTULO 4	43
COMPLEXIDADES DA OPERAÇÃO DO SIN E SEUS IMPACTOS NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO	
Vinicius Ragazi David	
Daniela Souza	
Leonardo Calabro	
João Carlos Mello	
Xisto Vieira Filho	
Edmundo P. Silva	
DOI 10.22533/at.ed.6882007074	
CAPÍTULO 5	61
ESTRATÉGIAS DE O&M UTILIZADAS NA GESTÃO DE DESEMPENHO DOS PARQUES EÓLICAS, EM TEMPO REAL, PÓS OPERAÇÃO E ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO NO CURTO E MÉDIO PRAZO, MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE BIGDATA, BUSINESS INTELLIGENCE E MACHINE LEARNING	
Flávio Martins ribeiro	
Marcus Antonius Queiroz da Cunha	
DOI 10.22533/at.ed.6882007075	
CAPÍTULO 6	72
IMPACT OF HOURLY PRICES ON FUTURE WIND FARM CONTRACTS IN BRAZIL	
João Carlos De Oliveira Mello	
Cláudio Ferreira	
Lucas Soares	
André Castro	
Daniela Souza	
Evelina Neves	
DOI 10.22533/at.ed.6882007076	

CAPÍTULO 7	83
DESAFIOS ENCONTRADOS NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO COMPLEXO TERMELÉTRICO JORGE LACERDA	
Liliana Dutra dos Santos	
Rofferson Rosa Izidoro	
Daniel José Schmitz de Aguiar	
Fábio Silveira Costa	
Juceli Locks Junior	
DOI 10.22533/at.ed.6882007077	
CAPÍTULO 8	96
AVALIAÇÃO DE ESFORÇOS DINÂMICOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO CÁLCULO PARA ESTRUTURAS DE SUBESTAÇÕES	
Rafael Faria da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.6882007078	
CAPÍTULO 9	108
ESTUDO E SIMULAÇÃO DE PROTEÇÃO DE ZONA MORTA EM SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Rodrigo Niederauer da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.6882007079	
CAPÍTULO 10	121
ELETROENCEFALÓGRAFO DE BAIXO CUSTO: CONCEITOS E PROJETO	
Vitor Nestro Rauffmann	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.68820070710	
CAPÍTULO 11	135
FONTES DE CORRENTE EM TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA MULTIFREQUENCIAL: ESTADO DA ARTE	
Lucas Cordeiro Butzke	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.68820070711	
CAPÍTULO 12	148
TEORIA E ESTUDOS DE APLICAÇÕES DA TRANSFORMADA FRACIONAL DE FOURIER	
Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento	
Adailton Braga Júnior	
Beatriz Cristina Reis Cordeiro	
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro	
Pierre Teixeira Rodrigues	
Petrus Luiz Luna Pequeno	
Antônio Carlos Duarte Ricciotti	
Viviane Barrozo da Silva Duarte Ricciotti	
DOI 10.22533/at.ed.68820070712	

CAPÍTULO 13	166
RELÉ INTELIGENTE BASEADO NA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE 4 VALORES MULTIFUNCIONAL - RI LPA4V	
Viviane Barrozo da Silva Ghendy Cardoso Júnior Antonio Carlos Duarte Ricciotti Pierre Teixeira Rodrigues Marcelo Luiz De Carvalho Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.68820070713	
CAPÍTULO 14	179
OPEN SOURCE MODULAR DIDACTIC PLATFORM FOR POWER ELECTRONICS TEACHING	
Lucas Koleff Gustavo Soares Valentim Luciana da Costa Marques Victor Praxedes Rael Adrian D'Lucas Cardoso Gonçalves Wilson Komatsu Lourenço Matakas Junior	
DOI 10.22533/at.ed.68820070714	
CAPÍTULO 15	204
AUTOMAÇÃO DA CABINE DE LIMPEZA DE IMPRESSÃO 3D BINDER JETTING	
João Batista Machado Silva Leonardo Bevilaqua dos Santos Lucas Leandro Gomes Mariana Silva do Nascimento Gonçalves Vinícius de Moares Barboza Rogério Luis Spagnolo da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.68820070715	
CAPÍTULO 16	218
USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA OBTENÇÃO DE UM SENSOR AR/COMBUSTÍVEL VIRTUAL APLICADO A UM MOTOR MONOCILÍNDRICO	
Leonardo Faure Nardini Paschoa Sergio Ribeiro Augusto	
DOI 10.22533/at.ed.68820070716	
CAPÍTULO 17	229
INVESTIGAÇÃO DOS MÉTODOS NORMATIVOS PARA O CÁLCULO E ESTIMAÇÃO DA TEMPERATURA DO TOPO DO ÓLEO EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA	
Daniel Carrijo Polonio Araujo Gabriel De Souza Pereira Gomes Mateus Batista De Moraes Rafael Prux Fehlberg	
DOI 10.22533/at.ed.68820070717	
CAPÍTULO 18	242
MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM A UTILIZAÇÃO DE MANTA TÉRMICA: ESTUDO DE CASO DE UMA INJETORA DE PEÇAS PLÁSTICAS	
Ivo Carlos Guarato Júnior Lúcio Rogério Júnior Antônio Manoel Batista da Silva Guilherme Henrique Alves	
DOI 10.22533/at.ed.68820070718	

CAPÍTULO 19	254
DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM SISTEMA PARA PESQUISA DE PRODUTOS DE SUPERMERCADO Marcelo Garcia Palma DOI 10.22533/at.ed.68820070719	
SOBRE OS ORGANIZADORES	271
ÍNDICE REMISSIVO	272

USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA OBTENÇÃO DE UM SENSOR AR/COMBUSTÍVEL VIRTUAL APLICADO A UM MOTOR MONOCILÍNDRICO

Data de aceite: 01/06/2020

Leonardo Faure Nardini Paschoa

Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT)

Sergio Ribeiro Augusto

Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT)

RESUMO: Este trabalho visa a construção de um estimador neural (sensor virtual) utilizando uma rede do tipo PMC (perceptron multicamada) para a determinação da relação ar/gasolina (valor lambda), em uma dada faixa de regime de operação, de um motor monocilíndrico de baixa cilindrada. Através da medida de parâmetros do motor, como, por exemplo, rotação, fluxo de ar, temperatura, largura do pulso de injeção, entre outras, obtém-se um mapeamento não linear que determina o valor da relação normalizada (lambda). Com isso, pretende-se diminuir os custos de motores ao consumidor final, visto que seria realizado a troca de um sensor físico pelo virtual.

PALAVRAS-CHAVE: Motor de combustão interna; injeção eletrônica; redes neurais; sensor lambda.

ABSTRACT: This paper aims to study a neural estimator (virtual sensor) using a PMC (multilayer perceptron) type network to determine the normalized air/fuel ratio (λ value), in a given operation range, of a single cylinder engine. By measuring working parameters of the engine, a non-linear NARX model of a wideband oxygen sensor is obtained, allowing the replacement of a real sensor by a virtual one, lowering production costs.

KEYWORDS: Internal combustion engine; electronic fuel injection; neural networks; lambda sensor.

1 | INTRODUÇÃO

Os motores a combustão funcionam utilizando o princípio que havendo faísca e combustível uma explosão é gerada liberando energia. Tal energia é transformada em rotação do eixo do motor (virabrequim), permitindo que a mesma seja utilizada por exemplo para tração mecânica. O gerenciamento desses fatores, faísca e combustível, os quais garantem o funcionamento do motor, é realizado através de sistemas de injeção e ignição eletrônicas (Young, 2010).

Os sistemas de injeção e ignição

eletrônicas foram desenvolvidos para se obter um maior controle sobre o funcionamento do motor, visto que diversas variáveis envolvidas no sistema são monitoradas e consideradas para cálculo, em tempo real, da quantidade de combustível e o instante de explosão da mistura, permitindo o perfeito funcionamento do motor, em qualquer situação. Conseqüentemente, isso permite com que tenhamos um funcionamento perto do ideal do motor: a mistura estequiométrica. Quando temos para um motor a quantidade exata da mistura Ar/Combustível, dizemos que a mistura é estequiométrica (pois temos exatas partes de combustível para comburente), ou que o valor de lambda (λ) é 1 (Amato et al., 2005).

O valor de lambda é definido pela equação:

$$\lambda = \frac{\text{ar/combustível}}{\text{ar/combustível estequiométrica}} \quad (1)$$

O valor indica, de maneira mais direta, se a mistura está rica ($\lambda < 1$, com combustível acima do ideal), ou se a mistura está pobre ($\lambda > 1$, com combustível abaixo do ideal). O controle desse parâmetro, além de garantir o perfeito funcionamento do motor, gera economia de combustível e menor quantidade de emissões de poluentes à atmosfera, visto que o combustível não é “desperdiçado”. O sistema de injeção eletrônica foi implementado em massa por volta dos anos 80 e 90 pelas montadoras ao redor do mundo (Young, 2010). Para o sistema determinar se a mistura está rica ou pobre é utilizado um sensor de oxigênio, chamado de sonda lambda, na saída de escape dos motores, o qual faz a leitura da quantidade de oxigênio presente após a queima do combustível, indicando ao sistema de injeção se todo o combustível foi queimado, não foi, ou se faltou. Este estudo se refere a emulação de um sensor λ utilizando-se redes neurais artificiais (Haykin, 1999; Turkson, 2016).

As redes neurais são uma analogia ao sistema nervoso central de um animal, pois podem aprender e observar padrões, para posteriormente os repetir e generalizar. Muitas vezes, são utilizadas para observar padrões em funções e problemas do dia a dia, para que possam ajudar a resolver algo que seria trabalhoso demais se realizado de maneira mais manual, tais como visão computacional e reconhecimento de voz (Haykin, 1999).

Outros trabalhos na literatura utilizaram redes neurais para modelagem de sensores lambda, tais como Salehi (2010) e Richter (2009). Em Salehi (2010) o mesmo utilizou redes neurais para analisar o desgaste de catalisadores, utilizando uma sonda lambda antes do catalisador e prevendo o valor de lambda após o catalisador. Em Richter (2009) uma rede neural do tipo perceptron multicamadas (Haykin, 1999) foi utilizada para realizar a predição de um passo à frente do valor de lambda em função de vários parâmetros de funcionamento do motor, e utilizando um elevado conjunto de treinamento. Neste trabalho, diferentemente da literatura citada, utiliza-se um modelo não linear do tipo NARX (*non linear auto-regressive network with exogenous inputs*) (Aguirre, 2000; Narendra e

Parthasarathy, 1990), ilustrado na Figura 1, cuja função não linear $f(\cdot)$ é realizada através de uma rede neural artificial do tipo perceptron multicamada, treinada utilizando o método da regularização Bayesiano (Lampinen e Vehtari ,2001).

A equação de um modelo NARX é dada pela equação (Narendra e Parthasarathy, 1990):

$$Y_p(k + 1) = f[Y_p(k), Y_p(k - 1), \dots, Y_p(k - n + 1); u(k), u(k - 1), \dots , u(k - m + 1)] \quad (2)$$

A Figura 1 ilustra o modelo NARX:

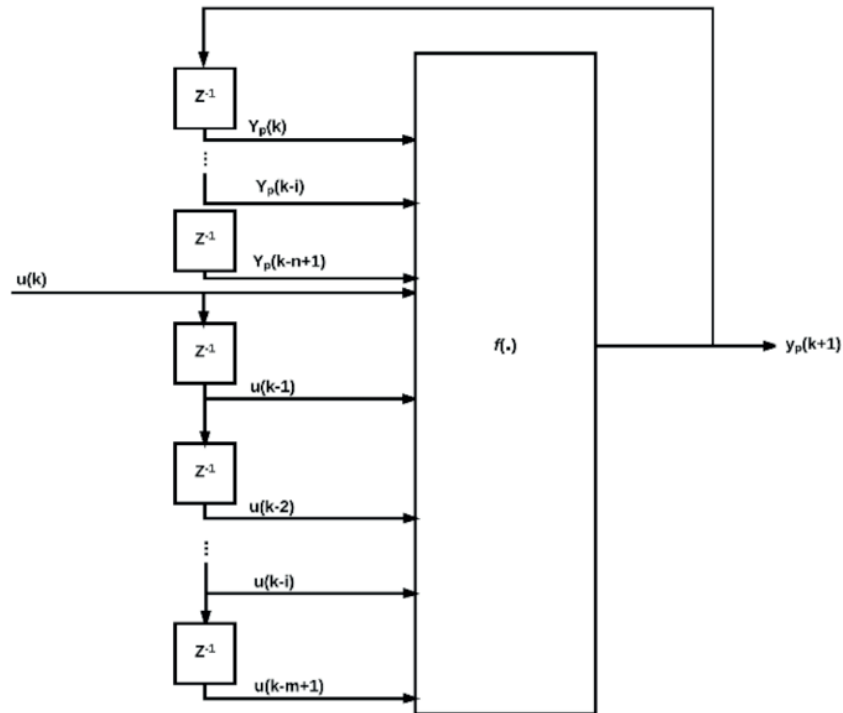


Figura 1 - Diagrama do modelo NARX

A Figura 2 ilustra uma rede neural perceptron multicamadas (PMC) com uma camada escondida, consistindo de vários neurônios interconectados.

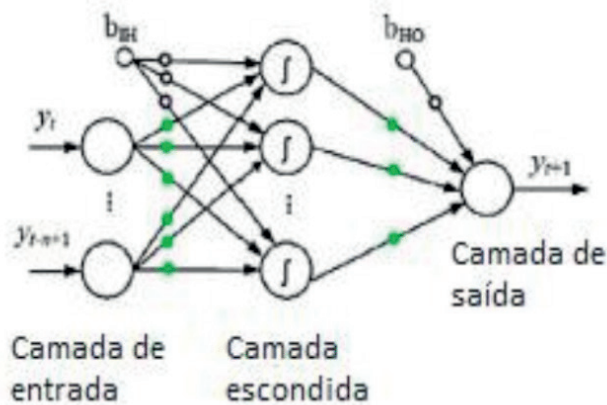


Figura 2 - Rede tipo PMC

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foi utilizado um motor monocilíndrico Honda Gx35 (Honda, 2017), motor pequeno de aplicação em roçadeiras. A escolha do motor foi feita devido à facilidade de acesso e pelo mesmo ser utilizado em competições acadêmicas.

O motor utilizado vem de fábrica com sistema de carburação para alimentação do motor e para realizarmos este estudo foi necessária a instalação e configuração de um kit de injeção e ignição eletrônica. Optou-se pela aquisição de um kit fabricado pela empresa norte americana Ecotrons (Ecotrons, 2017), voltado a motores monocilíndricos. O kit é composto dos itens necessários para a conversão do sistema de alimentação do motor, incluindo bicos injetores, coletor de admissão, sensor de oxigênio, entre outros. Alguns de seus itens requerem atenção especial para a montagem, como a linha de combustível e seus periféricos, bomba e filtro. A linha de combustível necessita constante atenção, já que se houver, por exemplo, algum ar na linha, o funcionamento correto do motor é prejudicado, fazendo com que o mesmo sequer possa ser ligado.

A Figura 3 ilustra o motor utilizado e o sistema de injeção e ignição instalados.

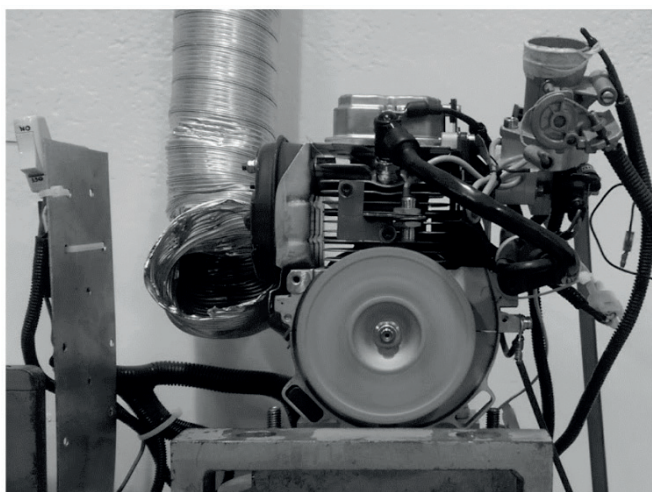


Figura 3 - Motor com os periféricos, injeção e ignição.

O sistema de injeção inclui um software, denominado EcoCal, ilustrado na Figura 4, que permite o ajuste e calibração de diversos parâmetros do mesmo, assim como um registro de ações do sistema, e página para observação de comportamentos de variáveis. Os dados monitorados para testes foram: temperatura de admissão, temperatura do motor, rotação do motor, pressão do coletor de admissão, posição da borboleta, tempo da faísca, largura de pulso de injeção e o valor de Lambda. O valor de λ é a saída do modelo NARX, e as demais variáveis compõem o vetor de entrada $u(k)$.



Figura 4 - Software EcoCal

O kit original da injeção eletrônica utiliza em seu sistema uma sonda lambda do tipo banda estreita (*Narrowband*) (Richter, 2009), tais sondas possuem uma variação de tensão de saída muito abrupta em função da relação ar/combustível, fornecendo apenas se a mistura é rica ou pobre. O objetivo de nosso estudo é de estimar sensores do tipo *wideband* (Richter, 2009), mais precisos e também de custo mais elevado. Embora mais precisos, tais sensores não são normalmente utilizados em veículos devido ao seu custo.

A Figura 5 ilustra os dois tipos de sensores:

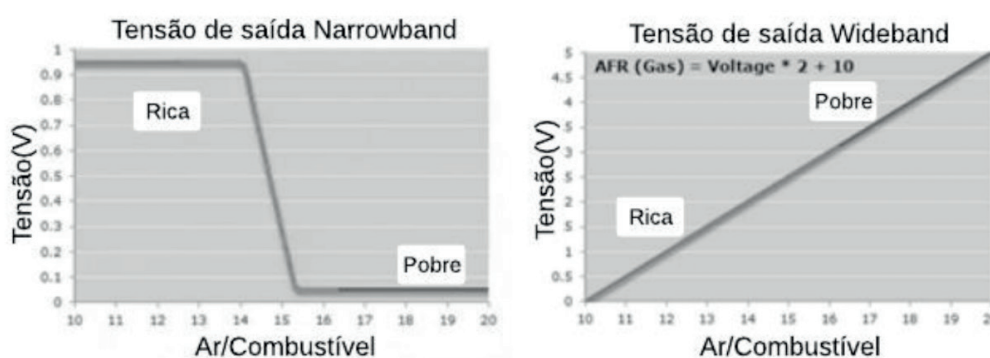


Figura 5 - Comparação Narrowband vs Wideband

Para obtenção de dados para treinamento e teste do modelo NARX, dados foram capturados para uma dada faixa de regime de operação do motor (500 rpm a 4500 rpm), com carga constante. A taxa de captura dos mesmos foi de 100ms, suficiente para as variações de interesse das variáveis envolvidas. Entre as variáveis capturadas foram selecionadas as que mais influenciaram o valor de I durante pré-testes. Estas variáveis

foram selecionadas como entradas do modelo. Como função não linear do modelo utilizou-se uma rede neural PMC com uma camada escondida. Na camada escondida a função de ativação foi do tipo sigmoideal tangente (Haykin, 1999) e na camada de saída utilizou-se função de ativação linear.

Para facilitar o treinamento da rede neural, os dados de entrada da mesma foram normalizados entre -1 e 1. Os dados obtidos pelo *software* da injeção foram exportados para o Excel, onde foram realizadas as normalizações e outras operações de maneira a preparar os dados para uso no ambiente MATLAB.

Para treinamento da rede foi utilizado o modelo série-paralelo proposto por Narendra e Parthasarathy (1990). A vantagem de uso deste modelo é que os dados reais da variável estimada são utilizados como entrada do modelo NARX, de modo que se possibilita o treinamento da rede neural PMC utilizando-se métodos convencionais do algoritmo de retro propagação do erro aplicáveis a redes estáticas, sem realimentação (Haykin, 1999). A estimativa de um passo à frente utilizando esta filosofia é dada pela equação (3),

$$\hat{Y}_p(k+1) = f[Y_p(k), Y_p(k-1), \dots, Y_p(k-n+1); u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (3)$$

onde $\hat{Y}_p(k+1)$ é a estimativa de um passo à frente. A figura 6 ilustra a diferença entre o modelo série-paralelo e o modelo paralelo (em malha fechada). Tal filosofia é utilizada apenas para o treinamento, utilizando-se posteriormente o sistema NARX em malha fechada. Entretanto, a predição de um passo à frente pode ser interessante, quando temos disponível a variável de saída real e queremos realizar apenas uma predição da mesma.

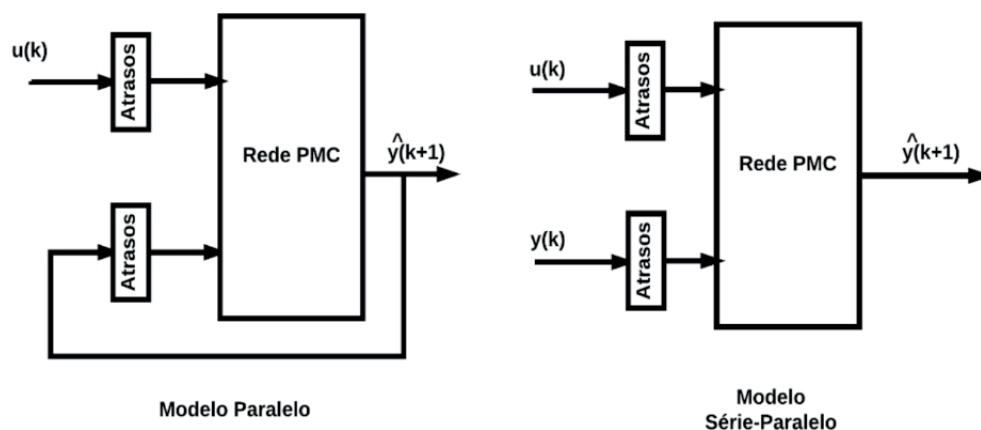


Figura 6 - Diagrama de redes paralelo e série-paralelo.

Para treinamento e verificação da rede PMC utilizada, e do próprio modelo NARX, foi utilizado o ambiente MATLAB, realizando a importação do arquivo gerado no Excel, com as variáveis medidas. No ambiente MATLAB foram usadas principalmente as funções *nnstart* e *nntool*, de forma a reduzir o trabalho manual de programação para criação e

teste das redes neurais.

Como citado anteriormente foram realizados diversos testes no motor, com regimes alternados de rotação e posição da borboleta, porém sempre mantendo a carga constante do mesmo, assim como monitorando as variáveis envolvidas. Para determinação da rede neural, e portando do modelo NARX, sempre foram realizados os treinamentos com uma faixa de dados diferente da utilizada para validação e testes, de modo a verificarmos a aprendizagem e generalização da rede e do modelo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas de maneira ilustrativa, a Figura 7 mostra as variáveis monitoradas e os valores da sonda λ . A ideia é apenas mostrar a variabilidade no tempo das grandezas envolvidas, objetivando ressaltar a dificuldade de aprendizagem do modelo.

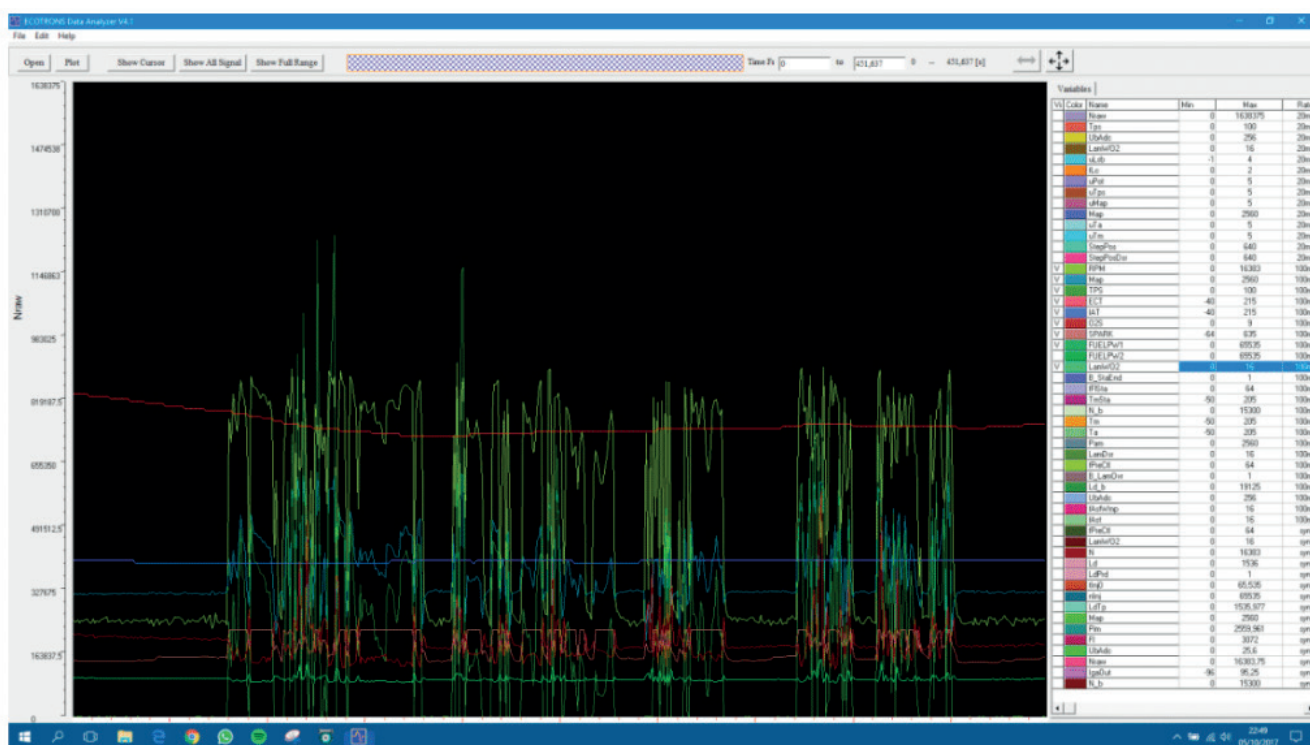


Figura 7 - Software EcoCal: Datalogger

Tais dados, normalizados, foram usados para determinação do modelo. O modelo, não-linear, possui vários parâmetros a escolher, como a ordem dos atrasos nas variáveis de entrada e saída e o número de neurônios da camada escondida da rede neural. Escolheu-se a função sigmoideal tangente como função não linear pela mesma fornecer bons resultados em problemas envolvendo redes neurais (Duda et al., 2012) e uma função linear na saída para ter uma melhor faixa para os valores de λ .

Para a determinação do número de atrasos e número de neurônios da camada escondida, vários treinamentos e testes foram realizados de maneira a se encontrar um

resultado satisfatório. Inicialmente buscou-se uma configuração do modelo série-paralelo com uma boa predição de um passo à frente. Resultado satisfatório foi obtido com uma rede de 10 neurônios na camada escondida e com atrasos de ordem 4 nas entradas da rede ($n=m=4$ na equação 3). A Figura 8 ilustra o modelo utilizado no MATLAB usando a ferramenta *nnstart*.

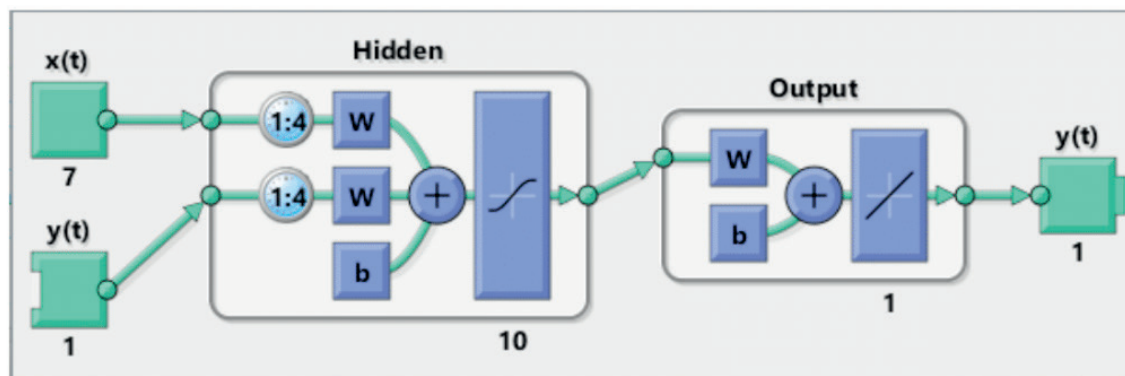


Figura 8 - Diagrama da rede série-paralelo (*nnstart*).

Com tais parâmetros o modelo foi treinado usando o método Bayesiano e utilizando-se uma parte dos dados obtidos. O processo de regularização Bayesiana minimiza uma combinação dos erros quadráticos e pesos da rede de maneira a melhorar a generalização. Como método de parada para o treinamento utilizou-se o de parada antecipada (Haykin, 1999). Testando-se tal modelo em outra faixa de operação do motor obteve-se um erro médio quadrático de 0,0011 e regressão de 0,962 entre os dados reais e os obtidos pelo modelo. Tais resultados foram considerados satisfatórios para predição de um passo à frente.

A Figura 9 ilustra os dados reais e do modelo sobrepostos e a Figura 10 apresenta os mesmos dados só que com o valor simulado deslocado de 1 unidade para facilitar a visualização. Nota-se que a rede/modelo forneceu uma boa generalização.

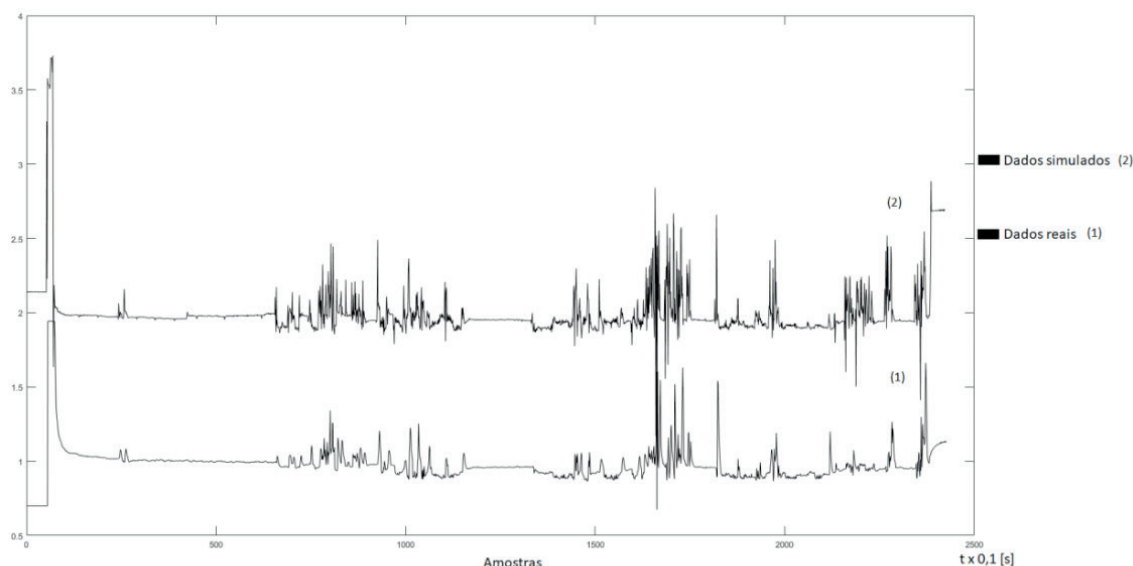


Figura 10 - Dados reais e simulados deslocados

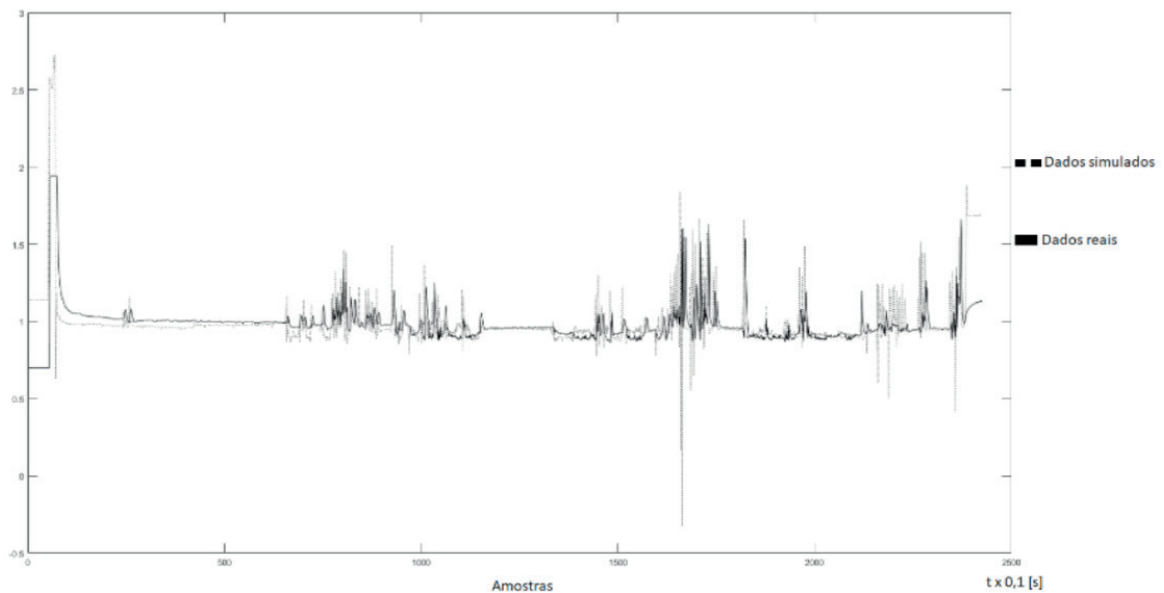


Figura 9 - Dados reais e simulados sobrepostos

Com a rede obtida, fechou-se a malha, como na Figura 11:

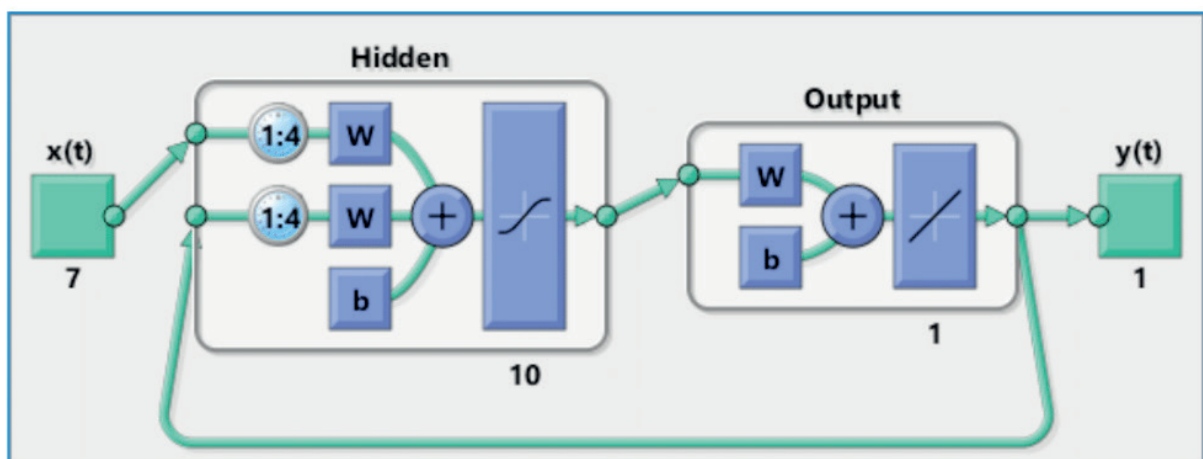


Figura 11 - Diagrama da rede fechada

Escolheu-se outra faixa de dados, não utilizados no treinamento, e verificou-se o uso do modelo em malha fechada para essa nova faixa. Note-se que neste caso não se tem mais dados reais na entrada da rede, sendo o próprio dado gerado pelo modelo sendo realimentado no mesmo. Nesse caso, de maior dificuldade que o anterior, o modelo forneceu um erro médio quadrático de 0,0067 e uma regressão de 0,319.

A Figura 12 ilustra os dados do modelo e do sensor real nessa nova faixa. Também, como indicado na figura, aplicou-se o modelo de um passo à frente nessa mesma faixa, para ilustração. Nota-se que mesmo em malha fechada o modelo obteve resultados satisfatórios.

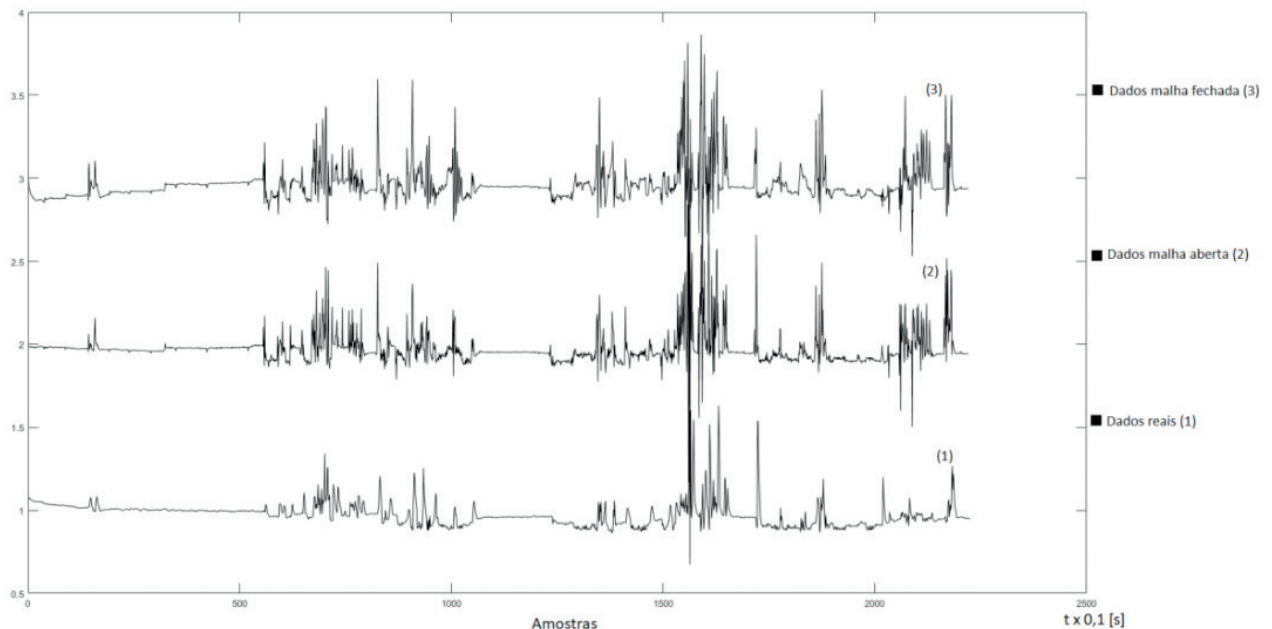


Figura 12 - Dados reais e simulados deslocados, com menor faixa de amostra

A disparidade em algumas amplitudes obtidas pelos modelos acredita-se que possa ser eliminada aumentando o conjunto de treinamento, o qual não foi elevado (por volta de 2400 amostras) para a dificuldade do problema proposto. Nota-se que o modelo em malha aberta (série-paralelo) e em malha fechada forneceram resultados similares, o que mostrou ser efetivo o uso do modelo série-paralelo para treinamento, podendo-se, portanto, utilizar métodos de treinamentos de redes estáticas, muito mais simples que os para redes com realimentação. Salienta-se também que as diferenças entre o modelo obtido e o sensor real ocorreram em regiões de grandes transitórios. Em regiões sem grandes variações abruptas (regimes de aceleração mais constantes), o modelo forneceu melhores resultados.

4 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O modelo proposto mostrou-se promissor quanto ao uso de um sensor lambda virtual, permitindo redução de custos de produção e melhoria na obtenção da relação λ , visto que na prática são utilizados sensores de banda estreita tipo *on-off* (mistura rica/pobre) menos precisos que os de banda larga.

Quanto a trabalhos futuros, pretende-se obter mais dados para treinamento, inclusive em condições de carga variável. Para tal, uma modificação no volante do motor foi projetada e está em fabricação para permitir que o mesmo possa ser conectado a um dinamômetro que controle o torque exigido do motor. Outro passo futuro é a substituição do sensor real obtido implementado em uma plataforma microprocessada, como o Arduino (Arduino, 2017), e verificar o funcionamento da injeção com o sensor virtual.

REFERÊNCIAS

Aguirre, Luis Antonio. (2000) Introdução à identificação de sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais. Ed. UFMG. 554 p. Belo Horizonte, MG.

Amato, Paolo & Cesario, Nicola & di meglio, Maurizio & Pirozzi, Francesco. (2005). *Realization of a Virtual Lambda Sensor on a Fixed Precision System*. 192-197.

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: fevereiro de 2017.

Duda, R.; Hart, E.; Stork, D. (2012) *Pattern Classification*. 2a edição. John Wiley & Sons.

ECOTRONS. Disponível em: <www.ecotrons.com>. Acesso em: fevereiro de 2017.

HONDA ENGINES. Disponível em: <<http://engines.honda.com/models/model-detail/gx35>>. Acesso em: fevereiro de 2017.

Haykin, Simon. (1999) *Neural networks: a comprehensive foundation*. 2a edição. New Jersey: Prentice Hall.

Lampinen, J. ; Vehtari, A. (2001) Bayesian Approach for *Neural Networks* – Review and Case Studies. *Neural Networks*, **14**, n. 3, 257-274.

Narendra, K.S ; Parthasarathy, K. (1990) Identification and control of dynamical systems using neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, **1**, 4-27.

Richter, T. *Arquitetura de sistema inteligente para sensoriamento virtual de oxigênio em veículos bicombustíveis com injeção eletrônica*. 2009. Dissertação (Mestrado em Sistemas Dinâmicos) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2009.

Salehi, R; Alasti, A; Vossoughi, G; Boroushaki, M. (2010) Nonlinear Oxygen Sensor Output Voltage Estimation in a Gasoline Engine Using NARX Model. *The journal of engine research*, **22**. 13-20.

Turkson, R. (2016) Artificial neural network applications in the calibration of spark-ignition. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, **19**, 1346-1359.

Young, R. *Utilization of a Neural Network to Improve Fuel Maps of an Air-Cooled Internal Combustion Engine*, 2010. 75p. Dissertação de mestrado - Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, 2010.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Automação 10, 64, 94, 120, 133, 165, 204, 216, 256

C

Compulsória 1, 12

Confiabilidade 2, 18, 43, 45, 47, 94, 95, 133, 163, 166, 167, 173, 176

E

Eficiência energética 10, 242, 243, 244, 250, 252

Energética 10, 1, 2, 3, 8, 13, 37, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 58, 59, 242, 243, 244, 250, 252, 253

G

Geração 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 59, 61, 64, 67, 83, 166, 167, 168, 173, 177, 243, 256

Geração distribuída 28, 31, 42, 45, 166, 173, 177

Grau 1, 4, 5, 10, 30, 32, 65, 66, 137, 162, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 263

I

Ilhamento 149, 150, 161, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

Impressão 3D 10, 204, 206

Intermitência 2, 8, 15, 16, 17, 31, 40, 43, 45, 47, 49, 50

J

Jateamento 204, 207, 212, 213, 217

M

Manta térmica 10, 242, 244, 246, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Máquina injetora 242, 245, 246, 251

Matriz de energia elétrica brasileira 8, 1, 2

N

Novas fontes 2, 43, 49

O

Oferta 1, 3, 8, 9, 10, 16, 29, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 59, 167, 255

P

Paraconsistente 10, 166, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 178

Pesquisa 7, 11, 6, 13, 37, 42, 44, 106, 120, 165, 204, 243, 244, 253, 254, 255, 256

Processamento 129, 130, 132, 133, 134, 137, 149, 150, 161, 163, 164, 165, 177, 243, 259, 261

Produtos 11, 44, 50, 206, 253, 254, 255, 256, 264, 265, 266

Proteção 9, 24, 29, 30, 34, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 166, 167, 172, 177, 231, 241, 242, 244, 246, 248, 250, 251, 252

Proteção térmica 242, 244, 246, 248, 250, 251, 252

R

Rede neural 166, 169, 173, 175, 176, 219, 220, 223, 224

Regularização 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 220, 225

Relé inteligente 10, 166, 168, 169, 171, 174, 175

S

Sazonalidade 1, 2, 5, 8, 9, 10, 29

Segurança 8, 5, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 59, 88, 91, 92, 93, 94, 138, 166, 167, 171, 217, 231, 246

Sinais 11, 121, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 148, 149, 150, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 172, 174, 175, 214, 245

Supermercado 11, 254, 255, 256, 268

T

Térmica 10, 1, 4, 8, 10, 11, 12, 21, 23, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 206, 230, 231, 232, 234, 242, 244, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Transformada de Fourier 149, 152

Transformada fracional de Fourier 9, 148, 149, 150, 157, 159, 161, 165

 **Atena**
Editora

2 0 2 0