


HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

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

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

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

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

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

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

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

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

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

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

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

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

João Luiz Dallamuta

DOI 10.22533/at.ed.65220230311

CAPÍTULO 12 135

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

Edilberto Pereira Teixeira

Luciano Rangel Pinheiro Neto

DOI 10.22533/at.ed.65220230312

CAPÍTULO 13 147

ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Pablo Rodrigues Lopes

Rui Bertho Junior

DOI 10.22533/at.ed.65220230313

CAPÍTULO 14 159

MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO

Kayon Vinicius Lima Lopes

Danúbia Soares Pires

Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.65220230314

CAPÍTULO 15 172

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

Rennan Santos de Araujo

Luiz Alberto Luz de Almeida

Felipe Sadami Oiwa da Costa

DOI 10.22533/at.ed.65220230315

CAPÍTULO 16 187

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

Lorena Maria Figueiredo Albuquerque

Kayon Vinicius Lima Lopes

Orlando Donato Rocha Filho

Danúbia Soares Pires

DOI 10.22533/at.ed.65220230316

CAPÍTULO 17 199

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

Mateus Gomes Binatti

Marcos Venícios Conceição de Araújo

Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo

DOI 10.22533/at.ed.65220230317

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

UMA NOVA ABORDAGEM DE UM SIMULADOR VIRTUAL DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADO NA METODOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES INSERIDO NO CONTEXTO DE REDES NEURAIS

Data de aceite: 17/03/2020

Data de submissão: 26/11/2019

Matheus Silva Pestana

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/5711361444291978>

Orlando Donato Rocha Filho

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/7455720877184126>

Danúbia Soares Pires

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/4739495583287970>

RESUMO: O presente artigo se caracteriza como uma abordagem de Sistemas Inteligentes dinâmicos de caráter não-lineares. Propõe-se através do uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) a um sistema virtual de análise do padrão de potabilidade da água, para a implementação da proposta foram utilizados softwares de modelagem e simulação com o intuito de identificar e modelar um sistema do tipo caixa preta, utilizando os potenciais das RNA de aprendizado e conhecimento para

otimizar o processo de tratamento de água. Essa estratégia busca oferecer um sistema auxiliar na tomada de decisão sobre o índice da qualidade da água que é realizado nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) garantindo confiabilidade, robustez e eficiência acerca do produto final que será destinado à distribuição, evitando erros e subjetividades nas análises realizadas. Com o objetivo de realizar a validação da metodologia desenvolvida, os resultados experimentais demonstram que a proposta é bastante promissora, apresentando bom desempenho computacional e baixo tempo de resposta.

PALAVRAS-CHAVE: Redes Neurais Artificiais; Tratamento de Água; Sistemas Inteligentes; Inteligência Computacional; Reconhecimento de Padrão.

A NEW APPROACH TO A VIRTUAL WATER QUALITY IDENTIFYING SIMULATOR BASED ON INTELLIGENT SYSTEM METHODOLOGY INSERTED IN THE NEURAL NETWORK CONTEXT

ABSTRACT: This paper is characterized as a nonlinear dynamic intelligent systems approach. It is proposed through the use of Artificial Neural Networks (ANN) to a virtual system of analysis of the water potability standard. For the implementation of the proposal were used

modeling and simulation software in order to identify and model a box type system. Using the learning and knowledge \$ANN\$ potencies to optimize the water treatment process. This strategy seeks to offer a system that assists in decision-making on the water quality index that is performed at Water Treatment Stations (*WTA*) ensuring reliability, robustness and efficiency about the final product that will be destined for distribution, avoiding errors and subjectivities. In the analyzes performed. In order to validate the developed methodology, the experimental results show that the proposal is very promising, presenting good computational performance and low response time.

KEYWORDS: Artificial Neural Networks, Water Treatment, Intelligent Systems, Computational Intelligence, Pattern Recognition

1 | INTRODUÇÃO

A qualidade da água é definida como a resultante de fenômenos naturais e da atuação humana, tal interferência modifica suas características iniciais, tornando-a própria para a sua utilização em diversas atividades cotidianas (SPERLING, 1994). A busca por processos de tratamento e análise de amostras cada vez mais puras, incentiva estudos de pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias e procedimentos a fim de assegurar de forma dinâmica e robusta resultados mais confiáveis acerca da água que consumimos. O padrão de potabilidade de água possui destaque em diversos ramos da sociedade, sendo para o consumo diário, nas agroindústrias e nos processos industriais. Em diversas aplicabilidades, buscasse por recursos hídricos que possuem um padrão de pureza, com o objetivo de garantir a qualidade de produtos e serviços oferecidos.

Necessita-se de ferramentas que possam avaliar a confiabilidade da água utilizada. A busca por uma metodologia eficiente, capaz de caracterizar a potabilidade da água após as etapas de realizadas nas Estações de Tratamento de Água – captação, coagulação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação – surge pelo alto grau de subjetividade e incerteza acerca do resultado final dos processos de purificação após as etapas de tratamento e distribuição para as áreas residenciais e industriais. O uso de uma plataforma de modelagem e simulação tem por objetivo realizar a interação homem e máquina de forma simples, auxiliando na tomada de decisão sobre o grau da qualidade da água após as etapas de tratamento baseados em valores pré-estabelecidos pelos órgãos de controle como o Ministério da Saúde e a Agencia Nacional de Águas. A análise de dados tem por objetivo prever um comportamento e de forma antecipada, informando ao operador para tomar a melhor decisão a fim reduzir o tempo de resposta, obter maior eficiência e garantir confiabilidade ao processo por inteiro. Nesse sentido, a metodologia proposta, oferece uma plataforma que busca utilizando os conceitos de Redes Neurais Artificiais (*RNA*) avaliar de forma contínua e eficaz para auxiliar o operador a tomar decisões com

maior rapidez e segurança acerca da potabilidade da água, com uma modelagem que busca se aproximar ao máximo com o comportamento real.

As técnicas de Computação Inteligente, em especial as Redes Neurais Artificiais (*RNA*), se mostram promissoras para processos que necessitam de técnicas de identificação e modelagem de sistemas dinâmicos podem ser descritas em (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 1998), (CALDEIRA et al., 2007), (REZENDE, 2003), (WANG, 1997), pois possuíam características como aprendizagem, treinamento, validação e teste (Haykin, 2001). As *RNA* apresentam uma capacidade de reconhecimento de padrões, beneficiando processos de controle do tipo online, ou seja, quando o operador pode interferir de forma dinâmica (AGUIRRE, 2015), obedecendo os valores máximos permitidos pelos órgãos controladores.

2 | DEFINIÇÃO DA PROBLEMÁTICA

O objetivo da Inteligência Artificial (IA) é o desenvolvimento de paradigmas ou algoritmos que requeiram máquinas para realizar tarefas cognitivas para as quais os humanos são altamente melhores (SAGE, 1990). Uma IA deve haver três capacidades essenciais: armazenar conhecimento, aplicar o conhecimento armazenado e adquirir novos conhecimentos através de experiência. A IA, em especial Rede Neural Artificial, utiliza representação simbólica do conhecimento subjetivo, ou seja, de forma linguística – regras, informações do especialista, especificações – para obter modelos lógicos que processam informação de forma qualitativa em computacional. Tais características de se mostram muito adequadas para a comunicação do tipo homem-máquina (COPPIN, 2010).

Para a problemática analisada os conceitos de Inteligência Artificial se mostram como uma metodologia que possui a capacidade de promover de forma objetiva soluções dinâmicas para sistemas não lineares como podemos observar em (BOND; GASSER, 1998), (COPPIN, 2010), (RUSSEL; NORVING, 2013). Buscando novas técnicas com o objetivo de desenvolver novas ferramentas que auxiliem durante o processo de tratamento de água, reduzindo erros durante a tomada de decisões sobre a qualidade dos recursos hídricos a serem destinados aos consumidores, esta preocupação é evidenciada em (DELGADO, 2017), (SAAB, 2017), (WANG et al., 2017).

O modelo proposto, possibilita transformar graus de subjetividade no padrão de potabilidade de água em informação quantitativa. Oferecendo a um sistema de análise e previsão baseados em Redes Neurais Artificiais afim de auxiliar na caracterização do índice de qualidade de água otimizando o processo decisório e modelagem de sistemas do tipo não linear.

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Qualidade da água

A água é um dos recursos essenciais para a manutenção da vida no planeta. Através da água a sociedade moderna se desenvolveu como conhecemos hoje, auxiliando na fixação de grupos de pessoas próximas a rios e lagos. Atualmente buscase cada vez mais por fontes hídricas para abastecer as cidades com altos graus de processos de tratamento dessa água pela poluição e contaminação nas zonas de captação em afluentes e rios.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através das resoluções 410 de 2009 e 430 de 2011, padrões de qualidade e parâmetros em limites aceitáveis de substancias com o objetivo de promover saúde as pessoas. O estudo busca garantir que os padrões sejam respeitados e auxiliando a avaliar a influência da interferência humana no resultado final do processo de captação, tratamento e distribuição pelas Estações de Tratamento de Água – ETAs.

Fundamentado pela Índice de Qualidade de Águas do Ministério da Saúde (ANA, 2003), a água para ser considerada potável deve estar em conforme com o padrão microbiológico de padrões preestabelecidos de valor máximo permitido pelos órgãos regulamentadores competentes a fim de garantir a promoção, proteção e recuperação da saúde. Os parâmetros que são utilizados na elaboração deste estudo se baseia nos valores de Valores Máximos Permitidos (*VMP*) que são estabelecidos pela Agencia Nacional de Águas em conjunto com o Ministério da Saúde, tais valores foram determinados via métodos de análise, com o intuito de oferecer aos consumidores um padrão de potabilidade da água destinada à população posterior ao processo de tratamento da água. Baseado nesses *VMP*, utilizamos os dados reais para realizar as simulações computacionais.

Nesse sentido, a busca por uma ferramenta que seja uma alternativa para auxiliar na tomada de decisão acerca dos níveis de potabilidade, otimizando os processos de análise, podendo graduar o índice da qualidade da água capaz de evitar erros e subjetividade no serviço de tratamento nas ETAs.

3.2 Redes neurais artificiais

Segundo Haykin (2001), uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Elas possuem capacidades de organizar dados de forma estrutural de forma similar ao cérebro humano, de forma a realizar certos processamentos como reconhecimento de padrões, tais estruturas são conhecidas como neurônios.

As estruturas de neuronais se assemelham ao cérebro humano nos aspectos

de aprendizagem, uma vez que, o conhecimento é adquirido pela rede a partir do ambiente em que é inserido e na força de conexão entre os neurônios, denominadas como pesos sinápticos, onde o conhecimento adquirido é armazenado. O modelo não linear de um neurônio é matematicamente representado por (1) e (2) (HAYKIN, 2001).

$$u_k = \sum_{m=1}^m w_{kj} x_j \quad (1)$$

$$y_k = \phi(u_k + b_k) \quad (2)$$

onde:

u_k é resposta para o k-ésimo neurônio;

m é o número de sinais de entrada do neurônio;

w_k é o pesos sináptico associado ao k-ésimo neurônio;

x_j é o j-ésimo sinal de entrada do neurônio;

b_k é o bias ou limiar de cada neurônio;

y_k é o sinal de saída do k-ésimo neurônio;

ϕ é a função de ativação do k-ésimo neurônio.

O bias pode assumir valores positivos ou negativos, dependendo do sistema proposto, podemos modelar a saída alterando o bias. O seu uso tem o objetivo de aplicar uma transformação afim à saída u_k e alterar o campo local induzido como demonstrado em (3).

$$v_k = (u_k + b_k) \quad (3)$$

onde v_k representa o campo local induzido ou potencial de ativação para o neurônio k. O modelo neuronal pode ser expresso em blocos conforme a representação abaixo. Ver Figura 1.

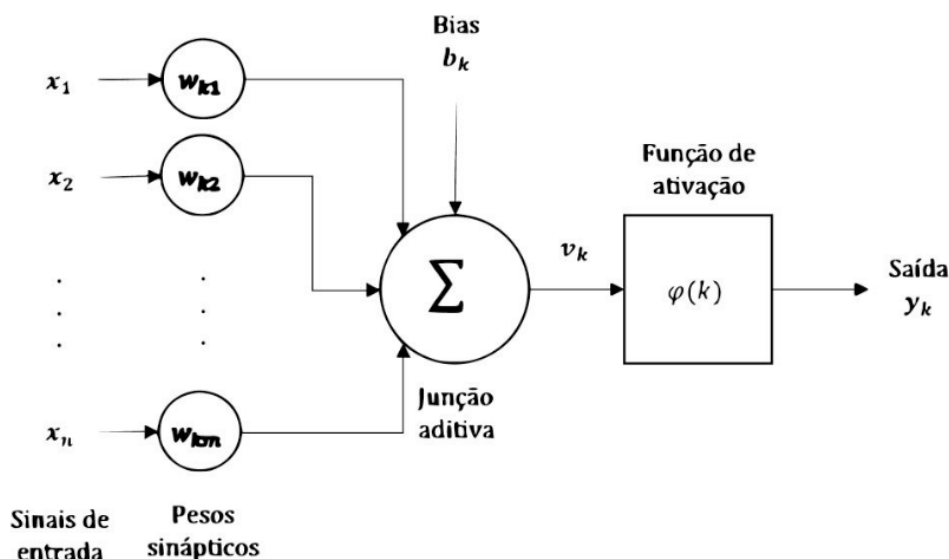


Figura 1 - Modelo não-linear de um neurônio.

Fonte: Autor.

Podemos identificar a partir do modelo neuronal, um conjunto de sinapses ou elos de conexão, individualmente qualificado pelo seu peso sináptico ou força própria, um elemento somador de sinais de entrada ponderados pelos pesos sinápticos do neurônio e uma função de ativação cuja função é restringir a amplitude da saída, tipicamente escrita em um intervalo unitário fechado $[0, 1]$. A propriedade fundamental de uma rede neural é a sua capacidade de aprendizagem, definida como o processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede são adaptados através de um processo de estimulação pelo ambiente no qual está inserida. O tipo de aprendizagem é determinado pela maneira pela qual a modificação dos parâmetros ocorre (HAYKIN, 2001). Através da estimulação do ambiente, a rede é estimulada a realizar as modificações nos parâmetros e obter novas respostas aos sinais de entrada, sendo baseada na memória do processo.

As *RNA* utilizam camadas de neurônios matemáticos que processam sinais de dados adquiridos do meio, essa informação é passada pelas demais camadas por meio de retro propagação e oferecendo uma saída de resposta a sua incitação inicial.

Quando trabalhamos com sistemas que utilizam as *RNA*, obtemos ferramenta poderosas capazes de receber, modelar e distribuir de maneira organizada diversas informações que são armazenadas e compartilhadas pela sua unidade de processamento. Durante o processo de aprendizagem, os pesos das conexões entre as respostas ao estímulo inicial são ajustados, proporcionando uma flexibilidade a modelagem de informação apresentada, distribuídas por meio da rede. A manipulação dessas informações por meio de interações nas unidades de processamento produzindo saídas.

O treinamento é supervisionado quando o ajuste dos parâmetros é feito com base na apresentação de um conjunto de pares de entrada e saídas padrão, nesse processo, uma entrada padrão é apresentada à rede e uma saída é calculada. O dimensionamento de uma rede neural depende de fatores como a quantidade de camadas e de neurônios que ela deve possuir, esses ajustes devem ser previamente definidos pelo especialista, uma vez que, o número de camadas e a quantidade de neurônios por camada é conhecido. As camadas intermediárias estão diretamente relacionadas a eficiência do treinamento, na qual o número de neurônios que a ela pertencem são determinantes para o seu funcionamento correto na solução de problemas. É proposto via o estudo, uma metodologia que relaciona as características de aprendizagem e treinamento das redes neurais para modelar um sistema capaz de reconhecer o padrão de potabilidade e auxiliar o operador a obter uma ferramenta confiável para tomada decisória acerca do resultado final do processo de tratamento de água.

3.3 Identificação de sistemas

Identificação de Sistemas são definidos como uma área de modelagem matemática que estuda técnicas alternativas para descrever sistemas do tipo caixa branca, ou seja, quando é necessário o conhecimento das leis físicas que influenciam o seu funcionamento. No entanto, nem todos os sistemas analisados são conhecidos o seu comportamento conceitual pela física ou natureza, os estudos de modelagem e identificação quando se conhece o processo de atuação de forma parcial ou desconhece as características do sistema em questão, podemos analisá-lo com a abordagem do tipo caixa preta (AGUIRRE, 2015).

Para sistemas não lineares como as Redes Neurais Artificiais, a modelagem do tipo caixa preta é aplicada, pois os neurônios utilizados fazem a ponderação dos pesos sinápticos e o operador necessita apenas inserir os dados de entrada e saída do sistema, cabendo a ele determinar apenas a estrutura ou arquitetura de rede, o número de camadas, conexões necessárias e que dados irão ser utilizados no processo de aprendizagem e treinamento da *RNA*.

O estudo de identificação de sistemas decorre da ausência de informações prévias do sistema de análise, seja por limitações de conhecimento, tempo, recursos para a estimação de parâmetros necessários para entendimento do conjunto de dados apurados. Nesse sentido, o uso das técnicas se mostraram essenciais para o desenvolvimento do presente projeto.

4 | METODOLOGIA

O funcionamento da Rede Neural Artificial proposta para o estudo do padrão de potabilidade da água baseia-se no seguinte processo. A água em seu estado inicial é conduzida as Estações de Tratamento, nas quais os processos físicos e químicos são realizados como captação, coagulação ou floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação, após essa etapa, ou seja, na fase de análise final da água antes de ser destinada ao consumidor, onde são realizadas as verificações dos *VMP* via análise químico-física, a metodologia proposta é inserida, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão acerca do padrão da qualidade da água analisada pelos laboratórios especializados (ANA, 2003).

O estudo contempla o desenvolvimento de uma ferramenta auxiliar, que irá atuar após a fase de tratamento, uma vez que, o interesse dos autores é oferecer uma metodologia de análise, cujo intuito é buscar a uniformidade do resultado final de tratamento, com uma metodologia a ser aplicada no processo final dos processos realizados pelas ETAs, respeitando os *VMP* estabelecidos pela Agencia Nacional de Águas – ANA.

Por meio do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), a ANA por meio do Índice de Segurança Hídrica assegurar a análise integrada para solucionar os riscos de contaminação, preservação das propriedades originais e promover o respeito ao padrão de qualidade da água. A RNA irá graduar por meio de um Índice de Potabilidade se os valores de padrões microbiológicos estão de conforme com os predeterminados pelos órgãos de controle regulamentados por lei (ANA, 2019). Caso a amostra verificada estar em conformidade com o texto que regulamenta o padrão hídrico aceitável, ela poderá ser encaminhada à distribuição, caso contrário, esta amostra será conduzida a fase de tratamento, com intuito de corrigir algum erro que ela possua. Ver Figura 2.

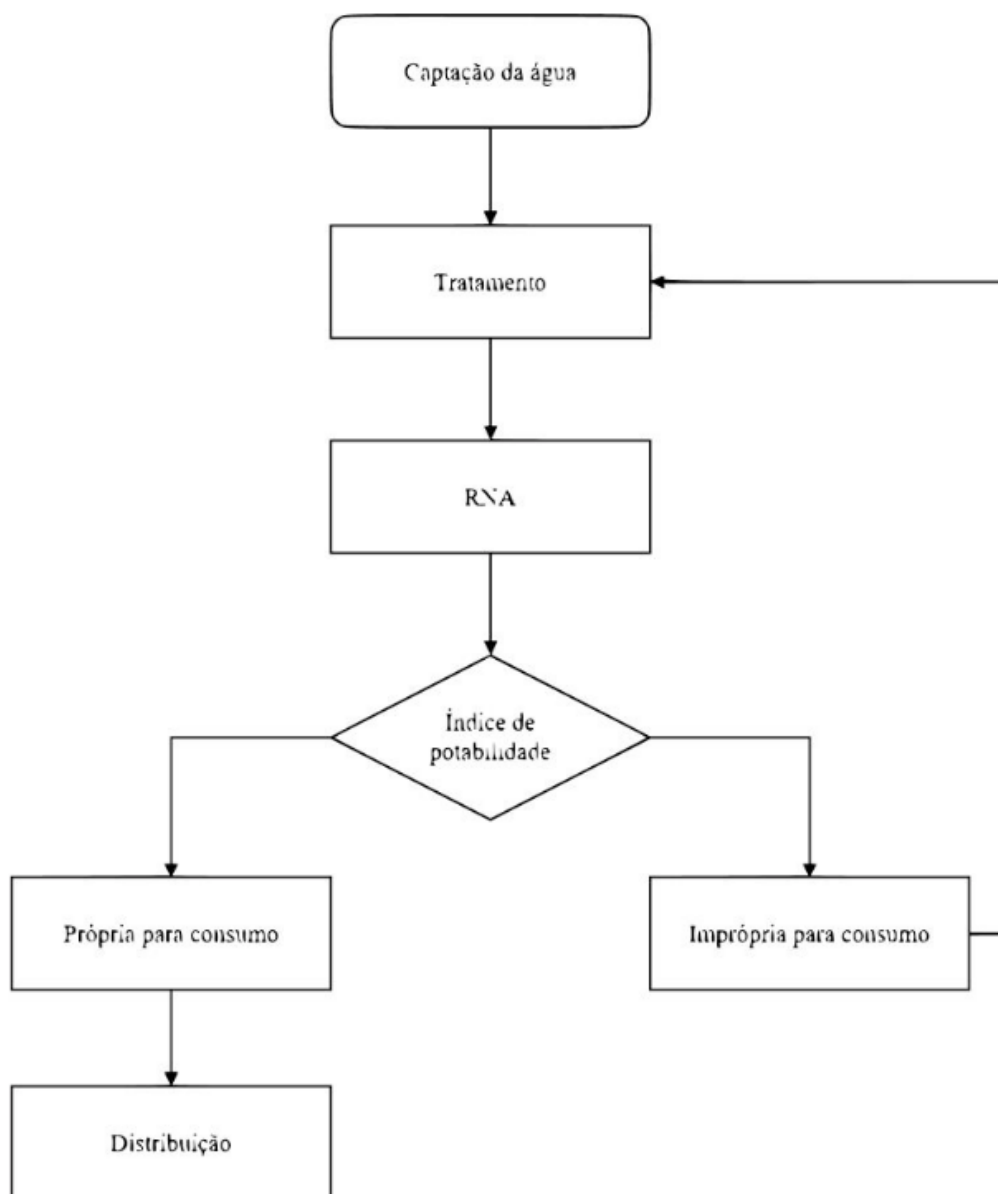


Figura 2 – Fluxograma da metodologia proposta.

Fonte: arquivo pessoal.

5 | RESULTADOS COMPUTACIONAIS

No desenvolvimento da Rede Neural Artificial foram utilizadas as arquiteturas de rede Cascade forward e Feedforward. Quando tratamos dados com valores muito próximos um do outro, o primeiro tipo de arquitetura de rede se mostra mais adequada, pois no seu processo de iteração, ela padroniza todas as entradas para uma matriz de dados de mesma ordem, proporcionando uma maior uniformidade nos dados e com isso oferecendo uma medida de regressão linear melhor distribuída e facilitando o seu entendimento. A arquitetura do tipo Feedforward se torna mais aplicável após o tratamento inicial dos dados obtidos da rede do tipo Cascade forward, uma vez que, após a matriz e os pesos sinápticos estarem uniformizados, as iterações feitas pela Rede Neural se mostram mais eficientes para a análise, reduzindo erros e ruídos no processo de ponderação dos sinais de entrada e saída do sistema.

Utilizou-se os dados tabelados coletados da Agencia Nacional de Águas onde os parâmetros estão descritos e quantificados, esses dados foram modelados através de uma RNA com arquitetura Cascade forward com duas camadas, sendo a primaria com 24 neurônios definidos pelo operador com 1000 epochs durante o seu treinamento e validação dos dados e a segunda camada com dois neurônios, cujo o intuito é a validação dos dados da camada anterior. A RNA apresentou uma característica de associação de padrão e oferecendo uma análise confiável para o estudo uma vez que a segunda camada é responsável pela caracterização da saída do sistema, podendo ser própria ou impropria ao consumo.

A metodologia se deu pela seguinte forma, os dados extraídos da Índice de Qualidade de Águas do Ministério da Saúde foram analisados criticamente, definido o seu comportamento e identificados os parâmetros decisórios para o funcionamento da rede. Os valores dos parâmetros são mostrados na Tabela 1.

	Mínimo	Máximo
Temperatura	5° C	30° C
Turbidez	0 μ T	0,5 μ T
pH	1	14

Tabela 1 - Parâmetros de entrada da simulação.

Fonte: ANA - Agencia Nacional de Águas.

Os valores dos sinais de entrada correspondem aos valores delimitados entre os valores máximos e mínimos. A saída do sistema corresponde à média das dos valores de entrada. Como mostrados na Tabela 2.

	Mínimo	Máximo
Temperatura	20° C	30° C
Turbidez	0 μ T	0,15 μ T

Tabela 2 – Parâmetros de saída da simulação.

Fonte: elaboração própria.

Embasado pelo Plano Nacional da Segurança Hídrica (ANA, 2019), com diretrizes que buscam por meio de estudos, planos e projetos assegurar reduzir os riscos de exposição e vulnerabilidade a contaminação por materiais nocivos ao consumo humano, causadores de doenças, como é o caso dos particulados abrangidos pela análise da turbidez. Para o consumo humano, o Potencial de Hidrogênio (pH) assim como a temperatura dever ser normatizado, respeitando o padrão considerado próprio para sua utilização em seus diversos fins. A escolha por esses parâmetros de análise deu-se pela sua disponibilidade do mercado de encontrarmos sensores industriais capazes de realizar essas leituras com o intuito de realizar prototipagem.

Definidos as entradas e saídas, os vetores de pesos foram ajustados e obtido as seguintes regressões lineares, medidas que tomamos como variável para a análise das simulações obtidas, as figuras a seguir demonstram o comportamento entre as entradas e saídas, referidas com targets, a princípio analisadas de forma individualmente com o intuito de verificar o comportamento computacional das entradas e saídas. Ver Figuras 3, 4 e 5.

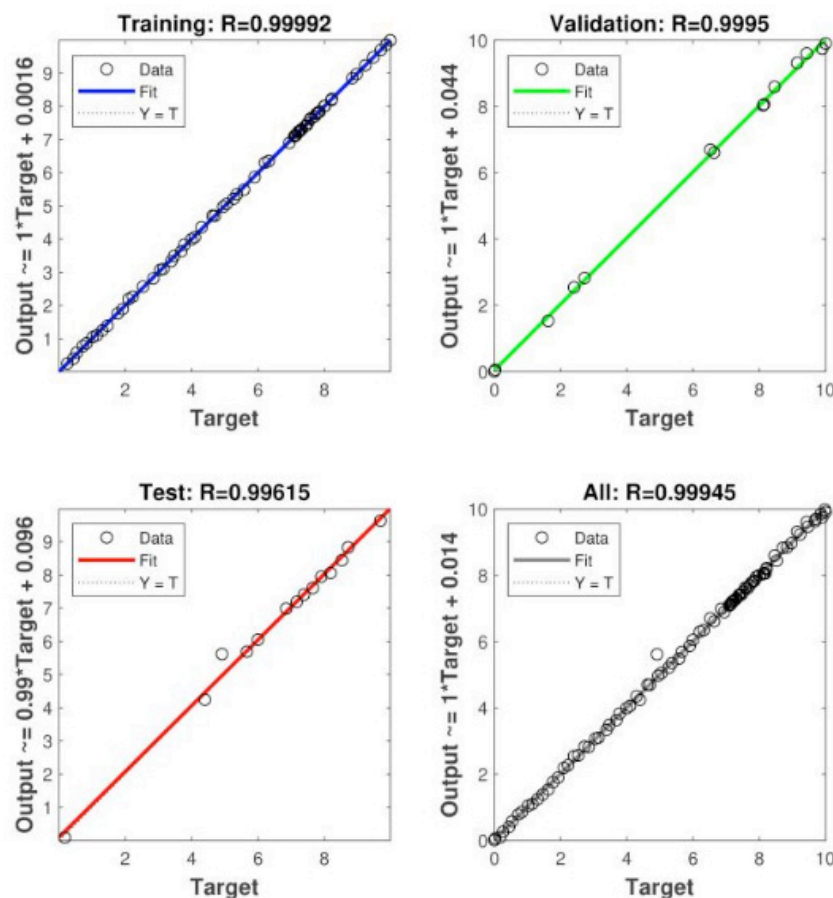


Figura 3 – Regressão linear do parâmetro pH.

Fonte: arquivo pessoal.

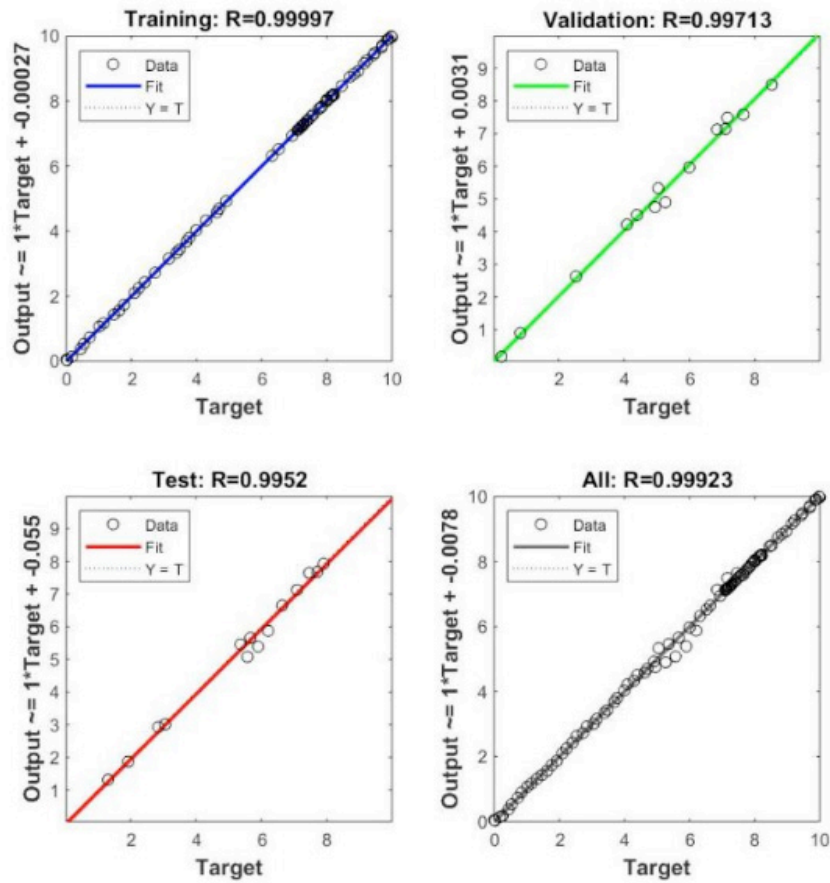


Figura 4 - Regressão linear do parâmetro Temperatura.

Fonte: arquivo pessoal.

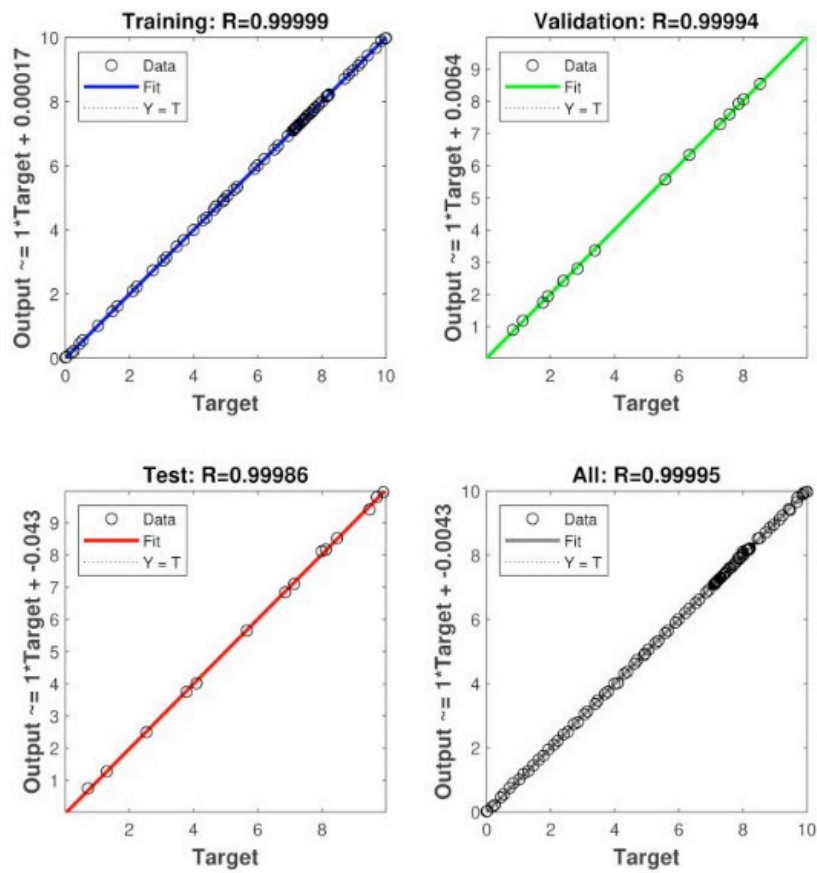
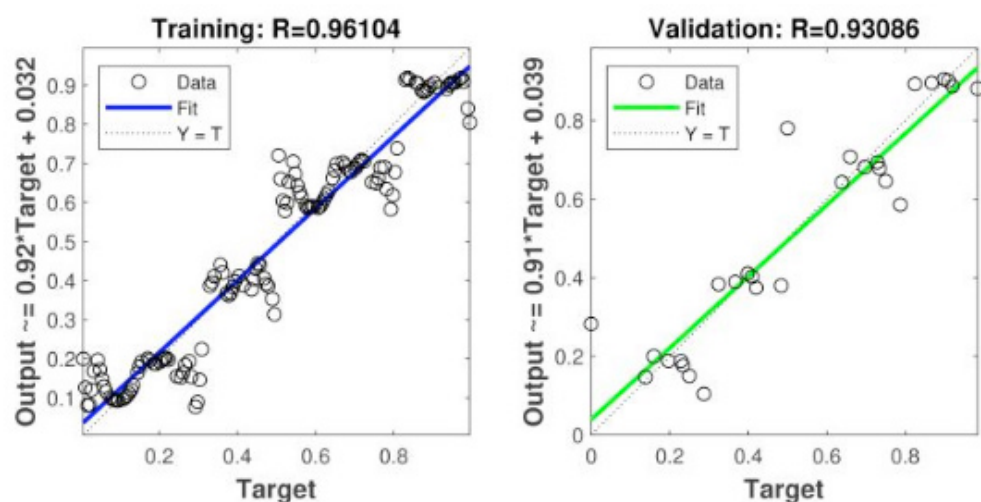


Figura 5 - Regressão linear do parâmetro Turbidez.

Fonte: arquivo pessoal.

Observa-se que no sistema estudado, para os dados colhidos pela Índice de Qualidade de Águas, os comportamentos dos parâmetros individuais se mostraram linearmente modelados e apresentando índices de performance consideráveis eficientes e confiáveis com índice de performance da rede de 0,88 utilizando 1000 iterações, representando um erro aceitável de aproximadamente 0,1 para sistemas de engenharia. Os valores da regressão linear relacionam os dados do vetor de entrada com os do vetor de *target*, a *RNA* utiliza estes dados para a fazer as iterações matemáticas e oferecer uma saída ao estímulo de entrada. Quando os valores obtidos se aproximam de valores iguais a 1, as regressões lineares que mais se aproximam, mostram-se mais relevantes e melhores ponderados de acordo com a aprendizagem e treinamento da *RNA*. A arquitetura *Cascade forward* apresenta como vantagem a normalização dos vetores de entrada e de saída, que serão transformados em matrizes para então serem apresentados para a rede neural com todas as entradas e as saídas de igual ordem de elementos.

Após a verificação individual dos parâmetros, podemos avaliar seu comportamento em conjunto, observação suas características e particularidades, foi-se então desenvolvido uma *RNA* com três entradas e duas saídas, ou seja, um sistema MIMO – multiples inputs and multiples outputs – que contém duas camadas de processamento neuronal, a primeira com 24 neurônios e a segunda com 2 neurônios. A primeira camada tem por objetivo realizar o aprendizado e treinamento, necessitando de um número maior de neurônios, a segunda, é encarregada de realizar a validação dos dados da camada anterior, necessitando de um número menor de neurônios para tal função. Podemos analisar o resultado da simulação realizada, ver Figura 6.



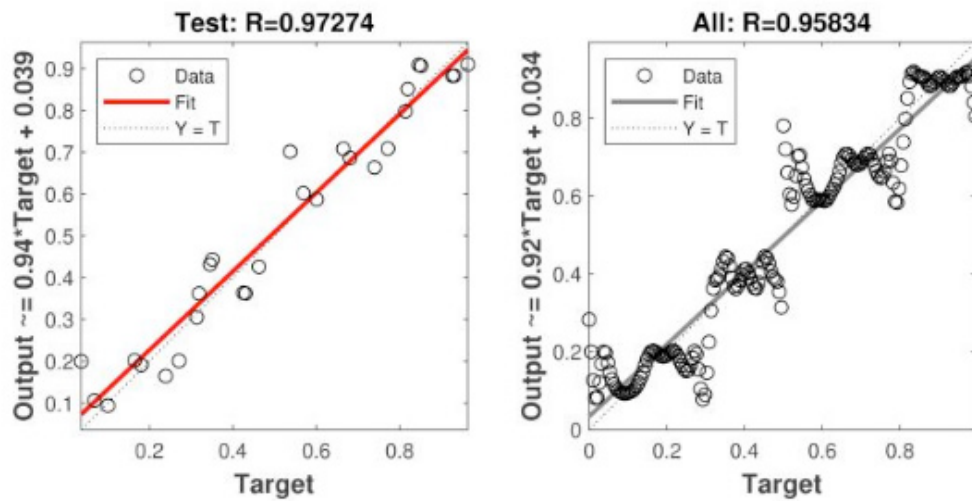


Figura 6 – Rede neural com os parâmetros analisados em conjunto.

Fonte: arquivo pessoal.

A escolha das variáveis deu-se em recorrência de estudos acerca da disponibilidade de sensores e equipamentos a serem utilizados na indústria para sua implementação. Estes podem ser facilmente instalados e operados, garantindo confiabilidade aos processos de tratamento e análise da qualidade da água, os índices de performance e garantem a verossimilhança do comportamento das variáveis utilizados aplicado a modelagem caixa preta do sistema de análise virtual da qualidade de água após as etapas de tratamento.

Observamos que os resultados da regressão linear para a proposta se apresentam como uma metodologia eficiente, uma vez que, os dados obtidos na simulação demonstram a eficiência para a modelagem de sistemas do tipo não linear, oferecendo confiabilidade e robustez ao sistema de análise do tratamento da água.

6 | CONCLUSÃO

O presente estudo se apresenta como uma metodologia que busca uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão acerca da análise do padrão de potabilidade da água após o tratamento realizados nas Estações de Tratamento de Água. O uso da ferramenta computacional para a maior interação homem-máquina se configura uma mudança nos paradigmas de sistemas de análise e previsão para a área de controle.

Os dados obtidos via simulação virtual indicam a precisão e convergência dos sinais de entrada e resposta do sistema. Os algoritmos desenvolvidos se mostram eficazes no agrupamento de padrões durante os processos de aprendizagem, treinamento e validação. Os testes das simulações mostram a eficiência das Redes Neurais Artificiais para tratar dados de forma dinâmica, para sistemas do tipo on-

line, quando o operador pode atuar diretamente na alteração de parâmetros. A abordagem utilizada se mostra bastante promissora para a problemática estudada para o reconhecimento de padrão da qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Monte Castelo e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro e fomento para este presente estudo.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luís Antônio. **Introdução à identificação de Sistemas**. Minas Gerais: Editora UFMG, 2013.

ANA, Agencia Nacional de Águas -. **Indicadores de Qualidade**: Índícios de Qualidade de Água. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

ANA, Agencia Nacional de Águas -. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BOND, Alan; GASSER, Les. **Reading in Distributed Artificial**. Eua: Morgan Kaufmann Pub., 1998.

BRAGA, A P; CARVALHO, A P L F; LUDERMIR, T B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: Ltc, 1998.

COPPIN, Ben. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e prática**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

A O JUNIOR, H et al. **Inteligência Computacional Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em MATLAB**. São Paulo: Thomson Learning Edições Ltda, 2007.

REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. Barueri: Manole, 2003.

RUSSEL, S; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2013.

SAGE, A P. **Concise Encyclopedia of Information Processing in Systems and Organization**. UK: Elsevier Science And Technology Books, 1990.

SPERLING, M. **Indicação do estado trófico de lagos e reservatórios tropicais**. Rio de Janeiro: Revista Bio, 2017.

WANG, L X. **A course in fuzzy systems and control**. Eua: Prentice Hall, 1997.

WANG, Yuanyuan et al. **Water quality prediction method based on LSTM neural network**. Nanjing, China: IEEE, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

Adesão 23, 31, 32

Ajuste automático 72, 190

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

Aprendizado de máquina 12

Aprendizagem de máquinas 58, 176

Arquitetura paralela 83, 84

Autoleitura 11, 12, 13, 14, 21

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

Avaliação experimental 96, 109

B

Barreiras 23, 32, 33

C

Calorímetro de alta pressão 96

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

Consumo de energia 12, 13, 14

Controlador fuzzy 135, 142, 143, 145, 146

Controlador PI 1, 99, 124, 131

Controlador PID 72, 74, 75, 79, 81

Controle de processos 135, 136

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

Controle PID 74, 78, 83

E

Energia eólica 1, 2, 4

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

Estabilidade transitória 36

F

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

G

Gás natural 58, 59, 69, 70

H

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

I

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

L

Ladder 135, 136, 144, 145

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

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

M

Máquinas de ensaio 49, 51

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

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

P

Países desenvolvidos 23, 24, 26, 28, 29

Países emergentes 23, 27, 28, 29, 31

Processamento de imagens 12, 21

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

R

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

Refrigeração com dióxido de carbono 96

Robô delta 83, 93, 94

S

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

Sistema de posicionamento 83

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

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

T

Tomada de decisão inteligente 58

Turbina eólica 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10

V

Válvulas automáticas industriais 95, 96

 **Atena**
Editora

2 0 2 0