

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora

Ano 2020

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



**ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)**

Atena
Editora

Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatiany Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Tecnologias, métodos e teorias na engenharia de computação 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Maiara Ferreira
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T255	Tecnologias, métodos e teorias na engenharia de computação 2 / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-945-5 DOI 10.22533/at.ed.455211604 1. Engenharia de Computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título. CDD 621.39
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia de Computação é a área que estuda as técnicas, métodos e ferramentas matemáticas, físicas e computacionais para o desenvolvimento de circuitos, dispositivos e sistemas. Assim, este segundo volume busca apresentar a matemática e a computação com foco no desenvolvimento de soluções de software e na solução de problemas de Engenharia.

Dentro deste contexto, esta obra apresenta diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: um software que reúna informações científicas sobre vacinas e doenças imunopreveníveis de forma lúdica; um modelo preditivo com objetivo de identificar a correlação entre o valor predito e o preço de fechamento das ações listadas na bolsa de valores brasileira; ensino de programação para crianças; o algoritmo genético e o método da evolução diferencial; uma modelagem matemática para o cenário de um ciclo de desenvolvimento do Scrum; simulações computacionais; um sistema háptico sonoro para auxiliar a navegação e locomoção de deficientes visuais em ambientes fechados; uma solução ótima de despacho de geração de energia elétrica para 4 usinas térmicas, através de simulação no software MATLAB; uma rede neural perceptron multicamadas para previsão de séries temporais de nível de água de uma bacia hidrográfica; uma rede neural artificial (Multilayer Perceptron) para a classificação de perfis de passageiros no setor aéreo brasileiro; um modelo de aprendizado de máquina que combina diferentes técnicas de regressão; a complexidade na inteligência artificial dos mascotes virtuais.

Sendo assim, esta obra é composta por trabalhos pertinentes da área, que permitem aos leitores, analisar e discutir assuntos importantes. Por fim, agradecemos aos autores pelas significativas contribuições, e desejamos aos nossos leitores uma excelente leitura, repleta de reflexões significativas.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

VACINA.COM: A SOFTWARE FOR TEACHING AND PROFESSIONAL UPDATING ABOUT VACCINES AND IMMUNO-PREVENTABLE DISEASES

Paôla de Oliveira Souza
José Maria Parente de Oliveira
Letícia Helena Januário
Daniel Moraes dos Reis
Paula Luciana Gonçalves Pereira
André Almeida Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.4552116041

CAPÍTULO 2..... 13

UMA ANÁLISE DE VANTAJOSIDADE EM MODELOS DE PREVISÃO EM SÉRIES TEMPORAIS

Rafael Diniz Toscano de Lima
Sérgio Murilo Maciel Fernandes
Sidney Marlon Lopes de Lima
Ricardo Paranhos Pinheiro
Sthéfano Henrique Mendes Tavares Silva

DOI 10.22533/at.ed.4552116042

CAPÍTULO 3..... 24

SENTECH: UM COMBINADOR DE ANÁLISE TÉCNICA E DE SENTIMENTO PARA O MERCADO DE AÇÕES

Isabela Nunes Caetano
Érica Ferreira de Souza
Giovani Volnei Meinerz

DOI 10.22533/at.ed.4552116043

CAPÍTULO 4..... 34

PROGRAMAÇÃO DE JOGOS COM SCRATCH PARA AUXÍLIO À ALFABETIZAÇÃO DE CRIANÇAS

Rute Vitorino Oliveira
Jemima Vitorino de Oliveira
Luciene Cavalcanti Rodrigues
Ana Paula Garrido de Queiroga

DOI 10.22533/at.ed.4552116044

CAPÍTULO 5..... 46

OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DAS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL

Rafael Romão da Silva Melo

DOI 10.22533/at.ed.4552116045

CAPÍTULO 6..... 59

OTIMIZAÇÃO DO SPRINT BACKLOG COM O PROBLEMA DA MOCHILA 0/1

Michel Willian Alves
Elisa de Fátima Andrade Soares
Thalia Katiane Sampaio Gurgel
José Weliton de Vasconcelos Filho
Dario José Aloise

DOI 10.22533/at.ed.4552116046

CAPÍTULO 7..... 68

MODELOS EPIDÊMICOS: PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA NO CONTEXTO DA COVID-19

Vinícius R. da Silva
Felipe Y. Hatanaka
Olavo H. Menin

DOI 10.22533/at.ed.4552116047

CAPÍTULO 8..... 78

GUIDE2BLIND: SISTEMA HÁPTICO-SONORO DE ORIENTAÇÃO PARA DEFICIENTES VISUAIS EM AMBIENTES FECHADOS - FASE 2

Lucas Rafael da Silva Martins
Mikael Tolotti da Silva
Bernardo Moreira
Diego Afonso da Silva Lima
Carlos Francisco Soares de Souza
Luis Gustavo Fernandes dos Santos
Carlos Arthur Carvalho Sarmanho Junior

DOI 10.22533/at.ed.4552116048

CAPÍTULO 9..... 96

DESPACHO DE GERAÇÃO ÓTIMA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS PONTOS INTERIORES VERSÃO PRIMAL-DUAL

Jean Ferguson Pimentel
João Vitor Gerevini Kasper
Juliana Almansa Malagoli
Thelma Solange Piazza Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.4552116049

CAPÍTULO 10..... 105

COMBINING RAINFALL AND WATER LEVEL DATA FOR MULTISTEP HIGH TEMPORAL RESOLUTION EMPIRICAL HYDROLOGICAL FORECASTING

Cintia Pereira de Freitas
Michael Macedo Diniz
Glauston Roberto Teixeira de Lima
Marcos Gonçalves Quiles
Stephan Stephany
Leonardo Bacelar Lima Santos

DOI 10.22533/at.ed.45521160410

CAPÍTULO 11	118
CLASSIFICAÇÃO DE PASSAGEIROS DOMÉSTICOS DE LINHAS AÉREAS UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS DO TIPO MLP	
Sidnei Gouveia Junior	
Narciso Ferreira dos Santos Neto	
Nilton Alves Maia	
DOI 10.22533/at.ed.45521160411	
CAPÍTULO 12	129
APRENDIZADO CONJUNTO APLICADO NA PREDIÇÃO DO MERCADO DE AÇÕES BRASILEIRO	
Alvaro Pedroso Queiroz	
Giovani Volnei Meinerz	
Érica Ferreira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.45521160412	
CAPÍTULO 13	138
INFORMATIZAÇÃO DE PROCESSOS GERENCIAIS EM UM SETOR DE ASSISTÊNCIA ESTUDANTIL: ESTUDO DE CASO NO IFMG – CAMPUS BAMBUÍ	
Eduardo Cardoso Melo	
Gabriel da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.45521160413	
CAPÍTULO 14	151
A SIMULAÇÃO DE EMOÇÕES EM JOGOS DIGITAIS	
Pedro Henrique Senkiio Cardoso	
DOI 10.22533/at.ed.45521160414	
SOBRE O ORGANIZADOR	158
ÍNDICE REMISSIVO	159

COMBINING RAINFALL AND WATER LEVEL DATA FOR MULTISTEP HIGH TEMPORAL RESOLUTION EMPIRICAL HYDROLOGICAL FORECASTING

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 22/01/2021

Cintia Pereira de Freitas

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -
INPE
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/9232847817073786>

Michael Macedo Diniz

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/3186705419723846>

Glauston Roberto Teixeira de Lima

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de
Desastres Naturais
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/7867516471353997>

Marcos Gonçalves Quiles

Universidade Federal de São Paulo
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/8867164774240536>

Stephan Stephany

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -
INPE
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/1446664587151293>

Leonardo Bacelar Lima Santos

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de
Desastres Naturais
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/9147853693310634>

ABSTRACT: This work proposes a multilayer perceptron neural network to forecast temporal series of water level at the outlet of a watershed located in a mountain region in the Brazilian state of Rio de Janeiro with up to a 2-hour antecedence, which is the time of concentration that measures the response of the watershed. This particular watershed was chosen due to previous natural disasters that affected that area, causing floods and landslides. Input data was collected by a set of hydrological monitoring stations in the considered watershed and is composed by water level and/or rainfall measures acquired with a 15-minute resolution. The neural network was implemented using the Python language, the Tensorflow library and the Keras API. Prediction results were evaluated by the Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) and by the root mean square error, showing a good agreement between predicted and observed values of the water-level temporal series, specially when combining both water level and rainfall data. In such case, values of NSE reached 0.994 for prediction antecedence of 15 minutes, and 0.9016, for 120 minutes.

KEYWORDS: Watershed, Artificial Neural Network, Water Level, Hydrological Monitoring Station.

COMBINAÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL DE ÁGUA PARA PREVISÃO HIDROLÓGICA EMPÍRICA DE ALTA RESOLUÇÃO TEMPORAL

RESUMO: Este trabalho propõe uma rede neural perceptron multicamadas para previsão de séries temporais de nível de água de uma bacia

hidrográfica localizada em uma região serrana do estado do Rio de Janeiro com até 2 horas de antecedência, que é o tempo de concentração que mede a resposta da bacia hidrográfica. Essa bacia em particular foi escolhida devido a desastres naturais anteriores que afetaram aquela área, causando enchentes e deslizamentos de terra. Dados de entrada foram coletados por um conjunto de estações de monitoramento hidrológico na bacia considerada sendo composto por medidas de nível da água e/ou precipitação adquiridas com resolução de 15 minutos. A rede neural foi implementada usando linguagem Python, a biblioteca Tensorflow e a API Keras. Os resultados da previsão foram avaliados pelo coeficiente Nash-Sutcliffe (NSE) e pela raiz do erro quadrático médio, mostrando uma boa concordância entre valores previstos e observados na série temporal do nível da água, especialmente quando combinados dados de nível de água e precipitação. Nesse caso, os valores de NSE atingiram 0.994 para previsão com antecedência de 15 minutos, e 0.9016 para 120 minutos.

PALAVRAS - CHAVE: Bacia Hidrográfica, Rede Neural Artificial, Nível de Água, Estação de Monitoramento Hidrológico.

1 | INTRODUCTION

Occurrences of natural disasters are increasing every year, due to climatic changes and man-induced susceptibilities and vulnerabilities. Among these disasters are the floods, which are frequent in many countries, and have an obvious potential of causing injuries, fatalities and damages. However, such effects can be eventually mitigated by forecasts issued with a minimum antecedence. This work proposes the forecast of water level at the outlet of a watershed in the city of Nova Friburgo, located in the mountain region of the state of Rio de Janeiro in Brazil, which has been affected by floods and landslides.

A neural network is proposed to forecast temporal series of water level at the outlet of the watershed with up to a 2-hour antecedence. Input data was collected by a set of hydrological monitoring stations in the Grande river watershed. It is composed of temporal series of water level and rainfall measures acquired with a 15-minute resolution. The programming environment includes the Python language, the Tensorflow library and the Keras API. Three different sets of predictions tests were performed, using only temporal series of water level, rainfall and water level and rainfall. Results show that temporal series of water level at the watershed can be predicted with acceptable accuracy for up to two hours antecedence, using at least temporal series of water level as input for the neural network.

A multitude of forecast schemes for variables related to floods, such as water level or discharge/flow of rivers, have been proposed in the last decades. Mathematical models can be applied but depend on the knowledge of physical parameters and also accurate initial and boundary conditions. On the other hand, the so-called data-driven models are based on algorithms that can be trained using known post-mortem data in order to “learn” and thus make predictions or classifications from new data. These are the machine-learning algorithms applied to hydrological forecasting and are discussed in Section 2.

It is difficult to conclude what is the better method/approach since each prediction depends on the implementation of the proposed method, the availability of data, and the particular geographical and physical scenario. Therefore, a good method/approach is possibly the one that achieves a prediction performance that is acceptable for operational use in terms of issuing warnings of disasters for the civil defense.

The current work is a development of a former prediction approach for the water level at the outlet of the same watershed at Lima et al. (2016), using a neural network, but not applied to time series.

2 | LITERATURE REVIEW OF HYDROLOGICAL PREDICTION

An extensive review of flood prediction using machine learning was presented in Mosavi et al. (2018) showing multiple methods for short-term and long-term predictions. The review started with thousands of articles, but selected almost two hundred original research articles, which were then analyzed and compared. These methods are mostly based on artificial neural networks (ANN), but also included neuro-fuzzy or adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS), and support vector machine (SVM), among other methods. Different classes of neural networks are discussed. Hybrid approaches combining different methods and ensemble prediction systems were also presented. Most articles propose a given method, in order to compare it to another one that appeared before in a literature reference. According to the considered article, different variables can be predicted: there are continuous variables like river water level (stage level), river water flow, rainfall, rainfall-runoff, or categorical variables like flood, urban flood and flash flood. According to this review, there is an increasing trend in the use of neural networks, in comparison to other methods along the years, intended for an antecedence of a few hours, as in this work, but some works consider in this class an antecedence of a few days. In tropical countries, many of these events start and end in a short period of time, so hydrological forecast based on observed data is hard to be done. In the case of high temporal resolution flood prediction, multilayer perceptron (MLP) neural networks seems to be often employed, despite the difficulty of optimizing its architecture and choosing suitable activation functions. New architectures, like recurrent the neural networks (RNN, Elman (1990)) and one of their variants, the long short-term memory neural networks (LSTM Hochreiter & Schmidhuber (1997); Gers et al. (2000)), began to be more employed in recent years for the prediction of temporal series. RNNs are neural networks where the connections between neurons/nodes form a directed graph along a temporal sequence, making them suitable to deal with time series.

The review contains a general comparison of methods considering the complexity of the related algorithm, easiness of use, processing time, accuracy, and input dataset. Short-term prediction usually employs historical datasets as input, i.e. a temporal series with resolution of minutes, hours or days for each variable. In addition, the survey compare the

prediction performance of the different methods by means of the mean square error and the correlation coefficient between predicted and actual values. However, it is a 2018 survey, and new approaches have been proposed more recently, with a wide variety of approaches as exemplified Lugt & Feelders (2020); Zhu et al. (2020); Choi et al. (2020).

Besides machine learning approaches, there are deterministic approaches, based on mathematical models, but they are out of the scope of this work. As an example, besides Weather Research and Forecasting (WRF), which is a mesoscale numerical model for weather prediction, there is the WRF-Hydro modeling system (https://ral.ucar.edu/projects/wrf_hydro/overview), an ensemble of models that include the WRF itself, land and hydrological models, developed by the National Center for Atmospheric Research (NCAR). WRF-Hydro was written in Fortran-90, and it was parallelized to be executed in clusters and supercomputers. Users can select a given area of the USA territory and ask for hydrological predictions, like streamflow for the watersheds contained in that area (<https://water.noaa.gov/tools/nwm-image-viewer>). However, it is stated as an experimental service, and it is difficult to know if its accuracy can be assessed.

Early warning centers have been interested in empirical hydrological models as well. Lima et al. (2016) proposed an ANN for estimating the level on the station Conselheiro Paulino in the Mountain Region of Rio de Janeiro, Brazil and reached a NSE index of approximately 0.98 (for prediction antecedence of 15 min) and 0.87 (for 120 min). On the other hand, Silva et al. (2016) developed an ANN to forecast the discharge in the river “rio Claro” in Caraguatuba, São Paulo, Brazil and reached an efficiency in their alerts about 0.91 considering a critical flow threshold.

The work Zhu et al. (2020) is about forecasting streamflow (volume of water per time) in the huge watershed of the Chinese Yangtze river using only a few hydrological monitoring stations on this river or its tributaries. Authors propose to use a hybrid approach based on a LSTM neural network embedding Gaussian process regression in order to perform a probabilistic daily streamflow forecasting, which yields a varying prediction interval for the time series. They state that the proposed approach associates the inductive biases of the LSTM network while retaining the non-parametric, probabilistic property of the Gaussian process. They performed predictions with other approaches such as a “pure” LSTM or an ensemble using standard neural networks, stating that this hybrid LSTM is more suitable for water resources management and planning.

Another recurrent neural network is proposed in Lugt & Feelders (2020) for predicting water level temporal series at some hydrological monitoring stations using a RNN that has a encoder/decoder with exogenous variables (precipitation and flow rates). These stations are placed in rivers around a Dutch polder, a piece of land below sea level that require water level management by pumping. This particular RNN is said to predict more accurately captures high temporal resolution fluctuation of the water level.

In Choi et al. (2020), authors compare some implementations of machine learning

algorithms to predict water level temporal series in a Korean wetland, with emphasis in water level peaks. They tested algorithms like neural network, decision tree random forest and support vector machine concluding that the random forest had the better prediction performance. Input data was composed of upstream water level temporal series and some meteorological variables like rainfall, temperature and wind.

3 I DATA AND METHOD

The area of study of this work is the Grande River watershed, located in the mountainous region of the state of Rio de Janeiro, in Nova Friburgo city (Figure 1). This is an area susceptible to natural disasters like floods or landslides, with a potential of causing serious harm to the local population (Lima et al., 2016). The Grande river watershed was delineated using the software TerraHidro (Abreu et al., 2012) and a 30-meter resolution Digital Elevation Model (DEM), obtained by an on-board radar of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). TerraHidro is a free software for distributed hydrological modeling written in C++ developed by National Institute for Space Research (INPE) and written in the C++ language. TerraHidro employs INPE's TerraView GIS for manipulating maps, which includes the Terralib library and a spatial database.

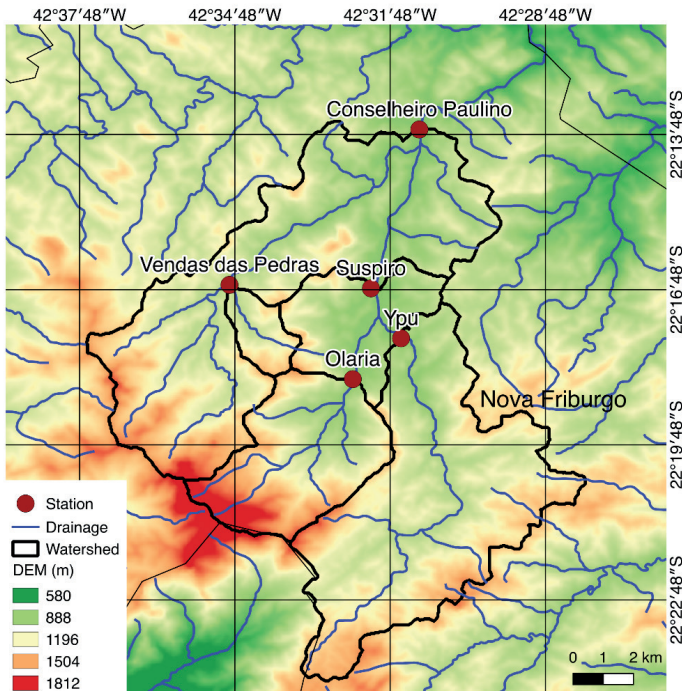


Figure 1 - Area of study - Grande river watershed.

The data for this study was collected from five hydrological monitoring stations of the State Environmental Institute (INEA), as listed in Table 1. These stations are located in Nova Friburgo, being the Conselheiro Paulino station located in the pour point (outlet) of the Grande river watershed. All the stations provide rainfall and water level data, with a 15-minute temporal resolution. Data was collected between December 1, 2011 and March 24, 2013, amounting to 46,080 samples for each station.

Name	Longitude	Latitude
Conselheiro Paulino	42°31'12.49"W	22°13'42.47"S
Olaria	42°32'31.96"W	22°18'31.83"S
Suspiro	42°32'05.36"W	22°16'46.43"S
Venda das Pedras	42°34'53.51"W	22°16'42.47"S
Ypu	42°31'35.41"W	22°17'45.09"S

Table 1 - Hydrological monitoring stations used in this study.

The related data-driven model was implemented in the Python language using Tensorflow, an open library developed by Google using the Keras API (Chollet et al., 2015), which is also open, modular and user-friendly. This model is based on a Multilayer Perceptron (MLP) neural network. Such network architecture is composed of multiple layers that allow to solve complex problems related to non-linearly separable datasets in several areas of study as Meteorology, Medicine, Cryptography, etc. (Rumelhart et al., 1986). The Keras API is employed in much complex neural networks than the MLP, such as convolutional and recurrent neural networks, typical of Deep Learning implementations, but it was adopted in this work anticipating the use of such neural networks in the ensuing work. On the implemented MLP network, the input layer has one neuron for each input parameter, one hidden layer with 5 neurons and the output layer has one neuron, as shown in Figure 2. It employs the Rectified Linear Unit (ReLU) activation function for the hidden layer, and the linear function for the output layer. The ReLU function is a non-linear activation function, commonly used in Deep Learning. The advantage of this activation function over the other ones is not to activate all the neurons at the same time since, when an input is negative, its value is converted to 0, not activating the corresponding neuron. This MLP neural network with a single hidden layer using the ReLU activation function achieved a good prediction performance, as shown ahead, and thus a more complex multiple-hidden layer MLP neural network was not required.

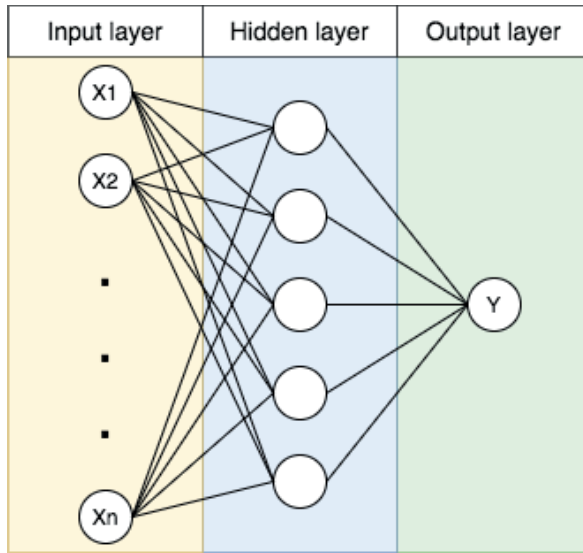


Figure 2- The architecture of the proposed MLP network.

The adopted loss function for the MLP network was the mean absolute error (MAE) and the optimization algorithm was Adam (Adaptive Moment Estimation), used instead of the classical stochastic gradient descent procedure to update the network weights. The training process was limited by a total of 100 epochs. The source code and the dataset used in this work are available for download on the git repository (https://github.com/cpfreitas/redes_neurais).

This work employs two metrics to evaluate the prediction performance of the proposed neural network. The first one is the Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE), commonly used for hydrological models, and defined as:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_p^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2},$$

where \bar{Q}_o is the mean of the actual discharges in the time interval $[1, T]$ that contains T discrete values, Q_p^t is the predicted discharge at time t , and Q_o^t is the actual discharge at time t . The NSE is equivalent to the correlation coefficient between predicted and actual data. In this work, instead of the water discharge, the NSE was calculated in terms of the water level. The better the prediction, the higher is the NSE above the threshold value of 0.5, but it is difficult to reach the top value of 1.0 that corresponds to a perfect prediction. The second metric is the well known root mean square error (RMSE), which is the standard deviation of the prediction errors. It is also calculated here for the discrete times in the interval $[1, T]$, and its value should be close to zero for a good prediction. RMSE is defined

by the following equation:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (Q_p^t - Q_o^t)^2}{T}},$$

where Q_p^t and Q_o^t are respectively the predicted and observed discharge values at time t , as in the former equation for NSE.

4 | RESULTS AND DISCUSSION

In this work, a neural network is proposed to predict a water level temporal series at the outlet of the watershed using as input temporal series of water level and/or rainfall at different hydrological monitoring stations. The prediction is done for antecedences ranging from 15 to 120 minutes.

Input data was split as follows: 70% for the training, 17.5% for the validation, and 12.5% for the test of the neural network. Data in the period from December 2011 to January 2013 with randomly sorted samples was used for training and validation, while data from the months of February and March 2013 was used for test.

Three set of tests were performed, based on different combinations of the available input datasets. The first test employs only water level data, the second one uses only rainfall data, while the third one inputs both water level and rainfall data. All tests were devised for the prediction of the water level at the Conselheiro Paulino station for up to 2 hours antecedence using as input the datasets from the five hydrological monitoring stations described above.

Predicted and actual/observed temporal series of the water level at the Conselheiro Paulino station with an antecedence of 15 and 120 minutes is shown in Figure 3 for a period of nearly 5,000 time intervals, corresponding to about 52 days of the months of February and March 2013. More detailed curves of the same predicted and actual/observed temporal series are shown in Figure 4 for time intervals 60 to 600 and in Figure 5 for time intervals 2500 to 2800, but in this case, for all five antecedences from 15 to 120 minutes. Input data included water level and rainfall temporal series. These figures show a good agreement between predicted and actual values.

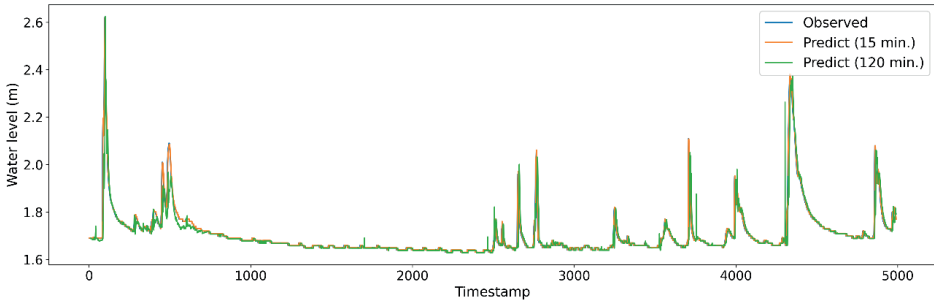


Figure 3 - Observed and predicted values of water level at the outlet for 15 and 120 minutes of antecedence considering all the 5,000 time intervals.

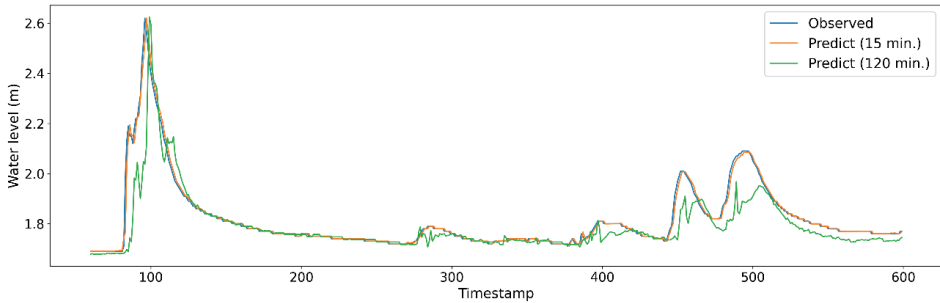


Figure 4 - Observed and predicted values of water level at the outlet for 15 and 120 minutes of antecedence considering time intervals 60 to 600.

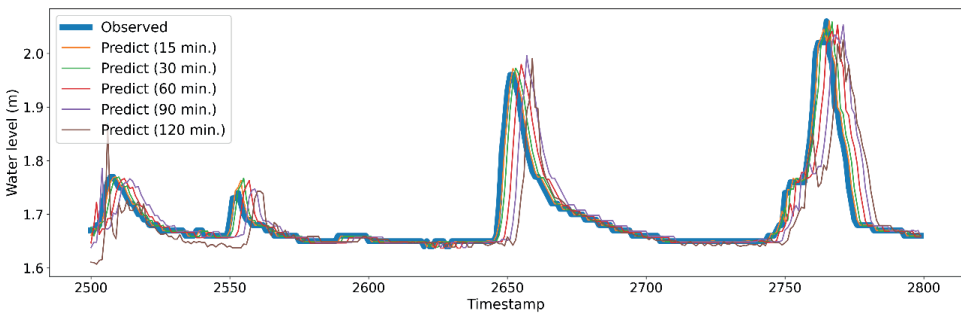


Figure 5 - Observed and predicted values of water level at the outlet for 15, 30, 60, 90 and 120 minutes of antecedence considering time intervals 2500 to 2800.

The agreement between observed and predicted values is substantially better for 15 than for 120 minutes antecedence as show in Figure 3. The mismatch is more accentuated when the variation of the water level is high, especially when the water level is increasing.

As seen in Figure 5, the prediction curve is delayed in relation to the observed one, with the delay increasing as the antecedence of prediction increases. However, the delay is rather small, being all the observed water level peaks at the outlet reproduced by the predictions.

The performance of the three sets of predictions can be evaluated in Table 2 for the NSE and Table 3 for the RMSE. Both tables show the values of these two metrics for antecedences from 15 to 120 minutes and for the three different sets of input time series: only water level, only rainfall and water level and rainfall.

According to Table 2 and 3, the test with only rainfall inputs did not succeed, showing very low values of NSE and higher values of RMSE in comparison to other two sets of predictions. When only water level inputs were considered, the performance was good, the RMSE did not exceed 0.0066 and the NSE was at least 0.8858. Adding rainfall inputs besides the water level ones, the performance slightly improves for all regarded antecedences, raising these values to 0.0063 (RMSE) and 0.9016 (NSE). As expected, on these two sets of tests, the quality of the prediction decreases as the antecedence increases.

Antecedence	Water level	Rainfall	Water level + Rainfall
15 min.	0.9941	0.0692	0.9944
30 min.	0.9827	0.082	0.9842
45 min.	0.9682	0.1007	0.9715
60 min.	0.9537	0.1135	0.9589
75 min.	0.9381	0.1202	0.947
90 min.	0.9182	0.1343	0.9301
105 min.	0.902	0.1377	0.9159
120 min.	0.8858	0.1406	0.9016

Table 2 - Values of NSE for the different predictions.

Antecedence	Water level	Rainfall	Water level + Rainfall
15 min.	0.0013	0.0353	0.0013
30 min.	0.0022	0.0352	0.0022
45 min.	0.0031	0.0351	0.0031
60 min.	0.0039	0.0351	0.0038
75 min.	0.0047	0.0349	0.0046
90 min.	0.0054	0.0348	0.0052
105 min.	0.006	0.0347	0.0057
120 min.	0.0066	0.0346	0.0063

Table 3 - Values of RMSE (in meters) for the different predictions.

The scatter plot between the predicted and observed values of the water level (in meters) at the outlet of the watershed, for 15 and 120 minutes of antecedence, is shown in Figure 6. In general, the models for 15 and 120 minutes of antecedence have no bias to overestimate or underestimate the prediction. The mean errors (mean difference between observed and predicted values) of both models were close to zero, 0.0002 and 0.0044 respectively, which confirms this fact.

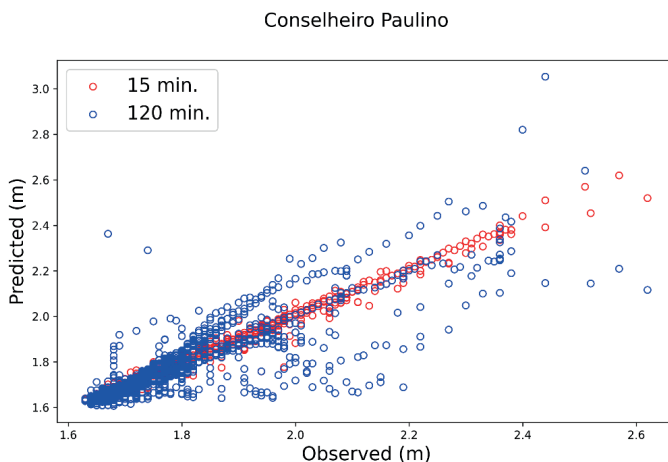


Figure 6 - Scatter plot between predicted and observed values of water level at the outlet of the watershed for 15 and 120 minutes of prediction antecedence.

5 | CONCLUSIONS

This work proposed the use of a neural network to predict temporal series of water level at the outlet of a watershed with antecedences ranging from 15 to 120 minutes using as input data temporal series of (i) water level or (ii) rainfall or (iii) both, collected by five hydrological monitoring stations in the watershed.

The neural network was trained and validated using temporal series of water level and rainfall data comprising 14 months of data with a temporal resolution of 15 minutes and tested using 2 months of data. A good agreement was found between the predicted and actual time series for an antecedence of 15 minutes using the neural network trained with water level and rainfall data. The quality of the predictions was assessed with the NSE and RMSE metrics. Naturally, higher antecedences resulted in prediction with lower accuracy, but NSE was above 0.94 for up to a 75-minute antecedence using water level and rainfall data, or up to 60-minute antecedence using only water level data. In both cases, RMSE was very low. On the other hand, predictions using only rainfall data did not succeed.

The proposed approach was tested for a case of study, showing the possibility of its

use in an operational scenario. As future work, we propose to compare these results to the results obtained by other hydrological prediction models, and to perform further prediction tests for other Brazilian watersheds. In addition, it is intended to perform an operational test of this forecasting tool using data from the network of hydrological monitoring stations of the Brazilian Centre for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters (CEMADEN).

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thank the following funding: São Paulo Research Foundation (FAPESP) grant#2015/50122-0, DFG-IRTG grant #1740/2 and CNPq grant #420338/2018-7.

REFERENCES

- Abreu, E.; Rosim, S.; Rennó, C.; Oliveira, J. R.; Jardim, A.; Ortiz, J.; Dutra, L., **Terrahidro - A Distributed Hydrological System to delimit large basins**, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012.
- Choi, C.; Kim, J.; Han, H.; Han, D.; Kim, H. S., **Development of Water Level Prediction Models Using Machine Learning in Wetlands: A Case Study of Upo Wetland in South Korea**, Water, vol 12, no. 93, 2020.
- Chollet, F. and others, **Keras**. Available: <https://keras.io>, 2015.
- de Lima, G. R. T.; Santos, L. B. L.; de Carvalho, T. J.; Carvalho, A. R.; Cortivo F. D.; Scofield, G. B.; Negri, R. G., **An operational dynamical neuro-forecasting model for hydrological disasters**, Modeling Earth Systems and Environment, vol 2, 94, 2016.
- Silva, M. R.; Santos, L. B. L.; Scofield, G. B.; Cortivo, F. D., **Utilização de Redes Neurais Artificiais em alertas hidrológicos: estudo de caso na bacia do rio Claro em Caraguatatuba-SP**. Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. IMPRESSO), v. 39, p. 23-31., 2016.
- Elman, J. L., **Finding Structure in Time**. Cognitive Science, vol 14, 179-211, 1990.
- Gers, F. A.; Schmidhuber, J.; Cummins, F., **Learning to Forget: Continual Prediction with LSTM**. Neural Computation, vol 12, no. 10, 2451-2471, 2000.
- Hochreiter, S.; Schmidhuber, J., **Long short-term memory**. Neural Computing, vol 9, no. 8, 1735-80, 1997.
- Lugt, B.; Feelders, A., **Conditional Forecasting of Water Level Time Series with RNNs**. AALTD@PKDD/ECML, 2020
- Mosavi, A.; Ozturk, P.; Chau, K. W., **Flood prediction using machine learning models: literature review**, Water, vol 10, no. 11: 1536, 2018.

Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E.; Williams, R. J., **Learning representations by back-propagating errors**, *Nature*, vol 323, 533–536, 1986.

Zhu, S.; Luo, X.; Yuan, X.; Xu, Z., **An improved long short-term memory network for streamflow forecasting in the upper Yangtze River**, *Stoch Environ Res Risk Assess*, vol 34,1313–1329, 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alfabetização 6, 34, 35, 36, 37, 38, 44, 45

Algoritmo Genético 5, 18, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57

Algoritmos 17, 19, 70, 130, 132, 151

Android 4, 79, 82, 87, 88, 89, 94

Aprendizado do computador 129

Aprendizagem 34, 35, 36, 38, 45, 69, 76, 124, 127

C

Classificação 5, 8, 18, 24, 118, 120, 125, 126, 127

Computador 24, 80, 129

Correlação 5, 24, 25, 30, 31, 32, 80

D

Dados 2, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 34, 46, 47, 51, 53, 56, 63, 71, 80, 81, 83, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 118, 119, 120, 121, 122, 125, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 136, 138, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 158

E

Educação 1, 35, 36, 37, 45, 68, 81, 105, 158

Evolução Diferencial 5, 46, 47, 50, 52, 54, 55, 56, 57

F

Framework 1, 2, 5, 59, 60, 61, 76, 92, 143

G

Gamificação 36, 38

H

Hardware 19, 20

I

Inteligência Artificial 5, 24, 151

J

Jogo 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 154

L

Linguagem de programação 35, 36, 89, 91, 131

M

Machine Learning 21, 25, 107, 108, 116, 129, 130, 132, 134, 137

Método dos Pontos Interiores 7, 96

Método Numéricos 96

Modelagem 5, 13, 15, 16, 18, 20, 21, 26, 27, 29, 30, 57, 59, 66, 68, 69, 76, 94, 118

Modelo 5, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 46, 47, 48, 57, 59, 60, 63, 64, 66, 70, 71, 72, 73, 75, 94, 120, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 143, 148, 152, 153, 154, 156

Modelos Compartimentais 68, 69

N

Network 23, 33, 68, 76, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 128

O

Otimização 6, 7, 18, 19, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 64, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 140

P

Perceptron 5, 105, 107, 110, 118, 120, 127, 128

Previsão 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 33, 105, 106, 119, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136

Primal-Dual 7, 96, 97, 98, 101, 103

Programação 5, 6, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 63, 84, 89, 91, 119, 123, 131, 158

R

Rede Neural Artificial 5, 106, 118, 120, 123, 124

Redes Randômicas 68, 72

Regressão Linear 16, 20, 130

S

Scratch 6, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45

Scrum 5, 59, 60, 61, 66, 67, 138, 141

Simulações Computacionais 5, 68, 70, 76

Sistemas Elétricos de Potência 96, 103

Softwares 38, 60, 63, 139, 148

Sprint 7, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 143, 144

Substituição Sensorial 79, 80, 81, 82, 83, 84, 95

T

Tecnologia 35, 59, 62, 68, 79, 80, 82, 95, 105, 127, 139, 141, 144, 149, 150, 158

Tecnologias Assistivas 80, 81

Twitter 21, 24, 25, 26, 27, 33

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2020

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2020