

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

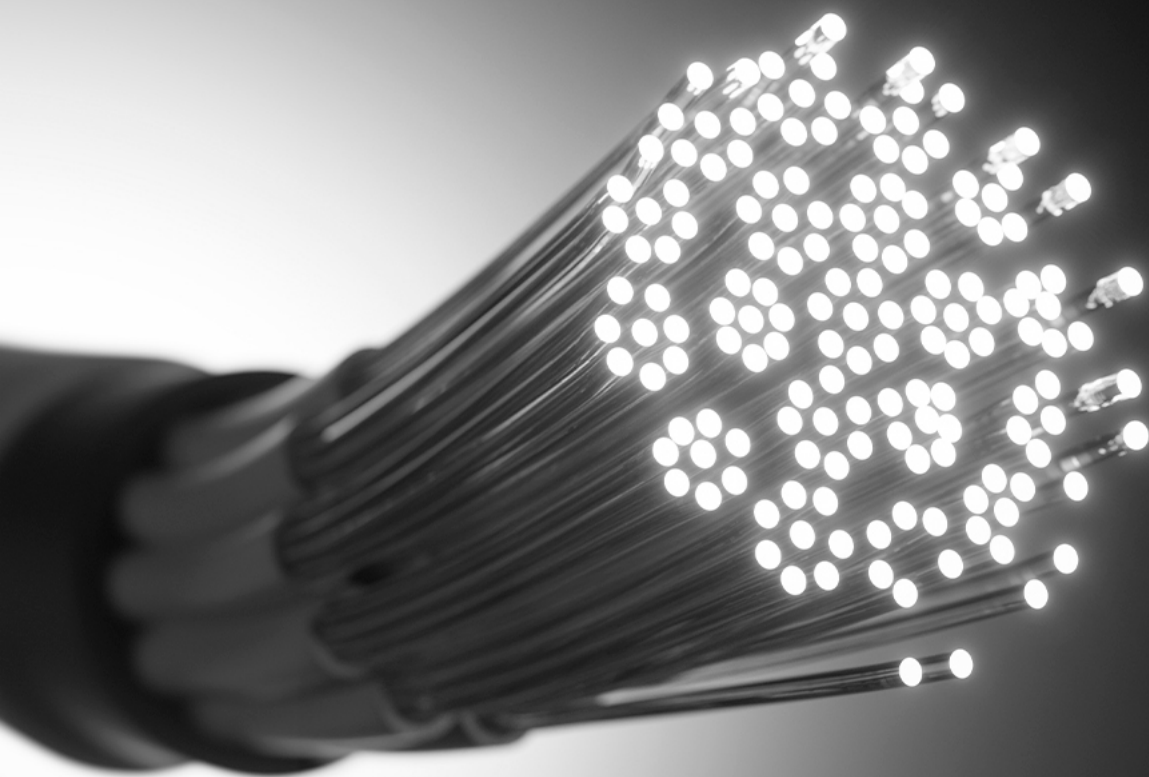


JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica 2 /
Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz
Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-556-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.560211910>

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.
Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

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


João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PHOTODETECTOR OPTIC POWER OPTIMIZATION TO INCREASE THE GAIN ON SUB-OCTAVE MICROWAVE PHOTONIC LINK


Naiara Tieme Mippo
Paulo Henrique Kiohara Acyoli Bastos
Felipe Streitenberger Ivo
Olympio Lucchini Coutinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119101>

CAPÍTULO 2..... 14

OPTOELECTRONIC SENSOR APPLIED TO FLOW RATE MEASUREMENTS ON OIL AND GAS INDUSTRY


Alexandre Silva Allil
Fabio da Silva Dutra
Cesar Cosenza de Carvalho
Regina Célia da Silva Barros Allil
Marcelo Martins Werneck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119102>

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISE DO ENVELHECIMENTO, PRECISÃO E EXATIDÃO EM SENSORES ÓTICOS FBG E RFBG QUE MEDEM TEMPERATURAS ENTRE 5 °C E 60 °C POR 16 SEMANAS


Karoline Akemi Sato
Camila Carvalho de Moura
Antonio Carlos Ribeiro Filho
Luis Camilo Jussiani Moreira
Valmir de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119103>

CAPÍTULO 4..... 38

EVALUACIÓN PARA INVERSIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIÓN CONDUCTOR Y TENSIÓN DE DISTRIBUCIÓN. APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS DEL LEY DE KELVIN


Christian Arturo Ramirez Osorio
Enrique Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119104>

CAPÍTULO 5..... 55

STRATEGIES OF VOLTAGE CONTROL BASED IN FUZZY LOGIC ALGORITHMS WITH ALTERNATIVE, CLEAN AND RENEWABLE GENERATION OPERATING WITH ANOTHER CONVENTIONAL ELECTRIC GENERATION IN WITH RADIAL LOADS IN POWER SYSTEMS STABILITY


Rodney Damián Fariña Martínez
Antonio Carlos Zambroni de Souza
Eliane Valença Nascimento de Lorenci

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119105>

CAPÍTULO 6..... 72

ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑICOS” DA ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYOLAS-VILLA HAYES SEM REATOR DESDE A CENTRAL HIDRELÉTRICA ITAIPÚ


Elisandro Rodriguez Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez
Antônio Carlos Zambroni de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119106>

CAPÍTULO 7..... 86

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO POR MEIO DE ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE COM METAMATERIAIS CONVENCIONAIS E SUPERCONDUTORES


Arthur Henrique de Lima Ferreira
Lucas Douglas Ribeiro
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119107>

CAPÍTULO 8..... 96

DEGRADAÇÃO POR POTENCIAL INDUZIDO (PID): REVISÃO


Hellen Ferreira Barreto Miranda
Luan Peixoto da Costa
Stefhany Oliveira Soares
Jonathan Velasco da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119108>

CAPÍTULO 9..... 108

CAPACITOR BANK ALLOCATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS USING THE DISCRETE PSO ALGORITHM


Luís Henrique Chouay Dall’ Agnese
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119109>

CAPÍTULO 10..... 119

DESIGN OF A TRANSMISSION-LINE METAMATERIAL WITH A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION AT S-BAND

Lucas Douglas Ribeiro
Juscelino Júnior de Oliveira
Arthur Henrique de Lima Ferreira
Rose Mary de Souza Batalha


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191010>

CAPÍTULO 11 129

RADIO PROPAGAÇÃO E MODELAGEM PARA UMA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS

PARA LTE


Alaim de Jesus Leão Costa
Thiago Eleuterio da Silva
Diego Kasuo Nakata da Silva
Leslye Estefania Castro Eras

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191011>

CAPÍTULO 12..... 141

TESTES DE IMUNIDADE CONTRA SURTOS ELÉTRICOS EM ELETRODOMÉSTICOS


Gustavo Oliveira Cavalcanti
Marcílio André Félix Feitosa
Kayro Félyx Henrique Pereira
Manoel Henrique da Nóbrega Marinho
Antonio Samuel Neto
Lucas de Carvalho Sobral
Pollyana Maria Ramos Gonçalves
Douglas Thiago Moreira Lara
Thiago Francisco Gomes
Renato Jardim Teixeira
Wagner Almeida Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191012>

CAPÍTULO 13..... 152

AUTOMAÇÃO DA ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - O SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO DALI: UM ESTUDO DE CASO


Marcos Noboru Kurata
Ênio Carlos Segatto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191013>

CAPÍTULO 14..... 163

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CONSTRUTIVAS NO EIXO DO ROTOR EÓLICO


Leonardo Pavan
Evandro André Konopatzki
Cristiane Lionço de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191014>

CAPÍTULO 15..... 172

VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA

Gabriel Garcia Bastos de Almeida
Luanna Valéria Sousa Fonseca
Andréa Jaqueira da Silva Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191015>

SOBRE OS ORGANIZADORES 183

ÍNDICE REMISSIVO..... 184

RADIO PROPAGAÇÃO E MODELAGEM PARA UMA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS PARA LTE

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 06/07/2021

Alaim de Jesus Leão Costa

Faculdade de Computação e Engenharia
Elétrica-UNIFESSPA
Marabá-PA, Brasil
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7004553241837188>

Thiago Eleuterio da Silva

Faculdade de Computação e Engenharia
Elétrica-UNIFESSPA
Marabá-PA, Brasil
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5022204715870652>

Diego Kasuo Nakata da Silva

Faculdade de Computação e Engenharia
Elétrica-UNIFESSPA
Marabá-PA, Brasil
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1479780657551515>

Leslye Estefania Castro Eras

Faculdade de Computação e Engenharia
Elétrica-UNIFESSPA
Marabá-PA, Brasil
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0910041673709270>

RESUMO: Este artigo descreve um modelo de perda de propagação para o Sistema Long-Term Evolution (LTE), em uma ponte sobre o Rio Tocantins na Cidade de Marabá – PÁ. Os dados sobre a intensidade do sinal recebido foram obtidos em campanhas de medição sobre a Ponte. Um

sistema Neuro-Fuzzy é usado para desenvolver o modelo proposto. O cenário estudado foi em uma região com cidade e rio, ambiente bastante comum no Norte do Brasil e é pouco estudado. Um modelo adequado para a tecnologia LTE é de grande importância para o fornecimento de um serviço eficiente, especialmente em regiões que tem características únicas como no Norte do Brasil. Os resultados confirmam a aplicação do modelo proposto com erro RMS não superior a 2 dB.

PALAVRAS-CHAVE: Perda de propagação; LTE; Neuro-Fuzzy; Rádio Propagação sobre pontes.

RADIO PROPAGATION AND MODELING FOR A BRIDGE OVER THE TOCANTINS RIVER FOR LTE

ABSTRACT: This paper describes a model of propagation loss for the Long-Term Evolution (LTE) system on a bridge over the Tocantins River in the city of Marabá-PA. Data on the received signal strength is obtained in a measurement campaign. A Neuro-Fuzzy system is used to develop the proposed model. The studied scenario is a region with the city and river, a very common environment in northern Brazil and, a few studied. An appropriate propagation model for LTE technology is of great importance to providing an efficient service, especially in a region of unique climate and characteristics. The results confirm the applicability of the proposed model with RMS error no greater than 2 dB.

KEYWORDS: Propagation Loss; Long-Term Evolution (LTE); Neuro-Fuzzy, Radio Propagation Over Bridges, Recovery Effect.

1 | INTRODUÇÃO

Um modelo adequado de predição de propagação é essencial para a cobertura móvel em cidades localizadas no entorno dos rios amazônicos, no qual o deslocamento de pessoas, bens e serviços se dará por meio de pontes trafegáveis sobre regiões hidrográficas. A ponte de Marabá sobre o rio Tocantins tem a função de permitir o cruzamento do transporte ferroviário pela Estrada de Ferro Carajás e o cruzamento da BR-155, sendo responsável pela ligação de cidades do sudeste paraense, como Marabá, até a costa norte brasileira [1]. Logo, a mobilidade nesse trajeto se dará em ambiente misto de cidade e rio. Com isso, um modelo adequado de predição de propagação de dados móveis, nas estações bases, são cruciais no planejamento de rádio propagação para esse cenário [2].

O LTE é um dos sistemas de rádio frequência de celular mais importante baseado nos padrões desenvolvidos pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). O sistema foi criado com a função de fornecer taxas de dados mais altas para aplicações de dispositivos móveis através da rede de rádio [3]. O LTE é também conhecido como a tecnologia de Acesso à Rádio Terrestre UMTS Evolved (E-UTRA), tendo como principal objetivo prover maior taxa de dados e escalabilidade na largura de banda [4].

Com o avanço da tecnologia, o aumento do número de usuários e novos serviços, faz-se necessário estudos de predição de propagação em redes sem fio. Tais estudos podem permitir o funcionamento adequado de sistemas de celular, sem a interferência entre as células que venham a utilizar as mesmas frequências em ambiente que envolva terrenos suburbanos e sobre rios. Com isso, as discussões sobre modelos de perda de propagação para várias faixas de frequências, tipos de trajetos, correções para perfis do terreno, alturas das antenas transmissora e receptora entre outros são frequentes para adequação de novas tecnologias de transmissão [5]-[8].

A seleção de um modelo de propagação de rádio adequado para a tecnologia LTE é de grande importância para os serviços de comunicação e de tráfego de dados nas regiões do norte do Brasil. No entanto, quando se trata de perda de propagação em ambientes de terra e rios, poucos modelos têm sido desenvolvidos como em [6] e [9-10]. Adicionalmente, encontram-se poucos estudos de propagação sobre pontes, como o descrito em [11].

Um modelo de propagação descreve o comportamento do sinal enquanto ele é transmitido e proporciona uma relação entre a distância transmitida pelo transmissor em direção ao receptor e a potência recebida. A partir dessa relação, pode-se projetar a perda de potência no trajeto caminho e o máximo intervalo entre as células de transmissão. A perda de propagação depende da condição do ambiente, frequência de operação e condições atmosférica [4]. Poucos trabalhos têm demonstrado que o uso de ANFIS (Redes Neuro Fuzzy) tem sido eficaz na predição da intensidade do sinal, nas faixas de UHF e VHF [12-13]. Nestes trabalhos foram mostraram ambientes outdoor, mas não incluía pontes sobre rio.

Este trabalho propõe um modelo de propagação em ambientes misto de cidade e rio

adequado para o sistema LTE. Os dados são coletados através de uma campanha de medição e organizados através de ferramentas computacionais. São apresentadas simulações de rede feita com o sistema *Neuro-Fuzzy* para predição da perda de percurso.

Este artigo está dividido em cinco seções. Na seção II está descrita a campanha de medição realizada na ponte de Marabá sobre o rio Tocantins. Na seção III é exposto o desenvolvimento do modelo de propagação utilizando rede Neuro-Fuzzy. Na seção IV são apresentados os resultados da campanha de medição e, na seção V, as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2 | CAMPANHA DE MEDIÇÃO

a. Cenário

A Campanha de Medição foi realizada na cidade de Marabá, a qual está situada na região do sudeste paraense, a 554 km da capital do Estado [1], dentro da Região Amazônica. A cidade possui um clima tropical úmido e se encontra as margens do rio Tocantins. As medições se concentram ao longo da ponte que passa sobre o rio Tocantins [14], sendo este um trajeto misto composto por estrada sobre a terra com 600 m de comprimento e a ponte sobre o rio de 1.75 km de comprimento, conforme mostrado na Fig. 1. O cenário de medição, onde vários pontos de recepção foram coletados sobre a ponte é apresentado na Fig. 2. Não foram considerados os pontos de recepção perto do transmissor, localizado na cidade, pois eles não fazem parte da ponte.



Figura 1 - Percurso da campanha de medições.

O cenário de medição, onde vários pontos de recepção foram coletados sobre a ponte é apresentado na Fig. 2, em que: D é a distância do receptor e o transmissor; d é a distância total horizontal e d_0 é a distância sobre a terra.

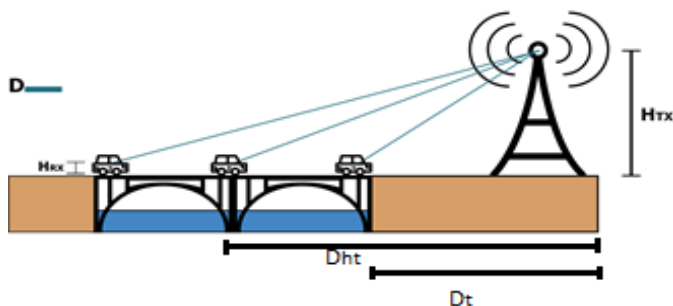


Figura 2 - Cenário de medições.

b. Equipamento e coleta de dados

A antena transmissora está localizada após a ponte sobre o rio Tocantins, com se observa na Fig.2. A altura da antena é de 40 metros, possui um ganho de 15.5 dBi, a potência de transmissão é de 40 dBm e a frequência de transmissão é de 783 MHz. Estes dados foram fornecidos pela operadora, sendo que o modelo da antena faz parte da confidencialidade de dados dela. Não entanto isto não influencia no desenvolvimento do modelo de propagação com redes neuro-fuzzy, devido a que os dados necessários para os cálculos foram os antes mencionados.

Na recepção foi utilizado um celular Huawei PLITE 9, o mesmo que possui uma antena interna omnidirecional, com ganho de 2 dBi, com polarização circular. Para comprovar a polarização foram feitas medidas com o celular na posição horizontal e vertical, e não foram observadas mudanças significativas. A unidade de recepção foi colocada dentro do veículo, sendo assim a altura do receptor é de 1.28 m em relação do nível do solo. A velocidade média do veículo de 40 km/h. O software G-Net Track Pro [15] foi instalado no receptor, para fazer a coleta dos níveis da potência de recepção e das coordenadas de latitude e longitude.

c. Tratamento dos Dados Medidos

Após a campanha de medição, os dados coletados foram organizados para calcular a distância entre o transmissor e o receptor e o cálculo de perda de percurso [16], considerando que foi medida a potência de recepção.

A distância horizontal, entre dois pontos, é calculada usando a fórmula de Haversine [17], na qual usa a latitude e longitude entre dois pontos em uma esfera, com raio R (neste caso o raio da terra em metros), latitudes Lat_{RX} e Lat_{TX} (respectivamente, receptor e transmissor), longitudes $Long_{RX}$ e $Long_{TX}$ (respectivamente, receptor e transmissor). Os ângulos são em radianos e a distância, $DIST_{HAVERSIN}$, entre dois pontos da esfera (neste caso o globo terrestre) é relacionada as suas localizações. A fórmula (1) demonstra a equação utilizada.

$$\begin{aligned}
 \text{Dist. Haversin} &= 6371000 \cdot \text{acos}(\cos(90 - \text{Lat}_{TX}) \\
 &\quad \cdot \cos(90 - \text{Lat}_{RX}) \\
 &\quad + \text{seno}(90 - \text{Lat}_{TX}) \\
 &\quad \cdot \text{seno}(90 - \text{Lat}_{RX}) \\
 &\quad \cdot \cos(\text{Long}_{RX} - \text{Long}_{TX}))
 \end{aligned} \tag{1}$$

Com a distância horizontal ($DIST_{\text{HAVERSIN}}$) entre a torre de transmissão e os pontos de coleta de dados obtidos, foi possível calcular a distância real entre a antena transmissora e a antena receptora através do teorema de Pitágoras, como mostrado na Fig. 3 a seguir.

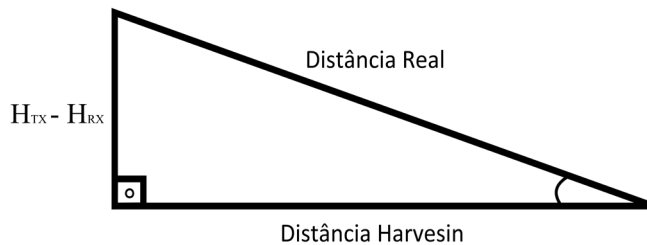


Fig. 3. Cálculo da distância real.

Para o cálculo da distância real ($DIST_{\text{HAVERSIN}}$), adaptou-se o teorema de Pitágoras, através da diferença entre a altura H_{TX} do transmissor, de 40 m, a altura H_{RX} do receptor, de 1.28 m e a distância de Haversive $DIST_{\text{HAVERSIN}}$, deixando o teorema da maneira representada abaixo na equação (2).

$$(H_{TX} - H_{RX})^2 + DIST_{\text{HAVERSIN}}^2 = DIST_{\text{REAL}}^2 \tag{2}$$

Foram coletados dados de 234 pontos. Os valores da distância real e a potência recebida são apresentados na Fig. 4.

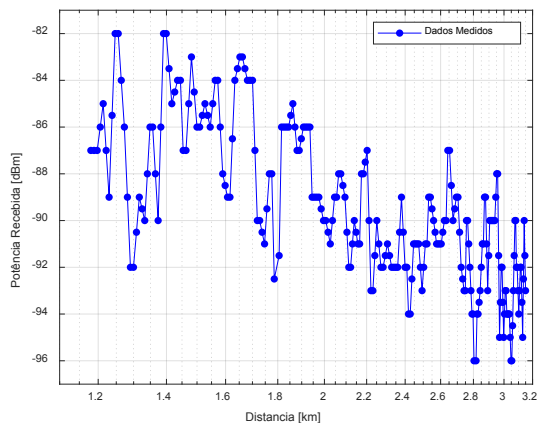


Fig.4. Gráfico da Distância e Potência Recebida, de todos os pontos coletados.

Pode-se observar o *Recovery Effect* [8], verificado em trajetos mistos, a partir da distância de 1.6 km até 1.7 km porque é observado um reforço do sinal, isto é, quando o sinal passa da estrada para a ponte sobre o rio. Em seguida, em 1.8 km, o sinal decresce devido à proximidade de um arco de metal sobre a ponte, mostrado na Fig. 5. A proximidade com o arco claramente causa somatório em contra fase do sinal. Por outro lado, quando o receptor está posicionado de 1.9 km até 2 km, o sinal apresenta um acréscimo, justamente na frente do arco de metal.



Fig. 5. Arco de ferro presente na ponte.

d. Redes Neuro Fuzzy

Um Sistema Neuro-Fuzzy (SNF) é um sistema híbrido e constituído pela junção de duas técnicas de modelagem: as Redes Neurais (RN) e a Lógica Fuzzy (LF). Essas técnicas combinadas tornam-se de grande interesse para aplicações principalmente na área de engenharia [7].

Neste trabalho foi usada a SNF é do tipo Sugeno, o método de treinamento híbrido, que combina *Least Squares* e *Back Propagation* com *Downward Gradient*. Outros dados importantes são o valor do raio de influência da base da função gaussiana que foi 1, o fator multiplicador 1,5, o raio de aceitação no agrupamento 0,75 e raio de rejeição 0,25.

Para o desenvolvimento do modelo de propagação utilizou-se um total de 234 amostras. Estas amostras são a potência recebida coletadas na campanha de medição, que posteriormente foram transformadas a perda de percurso. As amostras foram misturadas aleatoriamente e divididos em 3 grupos: 70 % para treino, 15 % para validação e 15 % para teste. Para a criação do modelo baseado em uma rede Neuro Fuzzy foi utilizado o software *Matlab*.

As entradas para a rede foram três: distância entre transmissor e receptor, perda de espaço livre [16] e a distância somente sobre a água. A saída da rede é a perda de percurso. Estes parâmetros são detalhados a seguir:

Entradas:

- **Distância entre transmissor e receptor:** Esta entrada permite que a rede possa diferenciar que é o cenário é um trajeto misto, devido que considera a distância total e posteriormente somente a distância sobre a água. Para calcular a distância entre transmissor e receptor, foi usada a equação (1).
- **Perda por espaço livre:** A maioria de modelos de propagação tem como base a perda pela distância sem considerar obstáculos. Isto porque as atenuações causadas pelo ambiente são adicionadas posteriormente, seja como fatores de correção ou variáveis de atenuação, que dependem do tipo de modelagem. Neste estudo a rede calculará os parâmetros adicionais de perda baseada nos dados medidos usados para o treinamento. Esta metodologia poderia ser comparada a modelos como Close in [18] ou Floating Intercept [19]. A perda de espaço livre é calculada como a seguinte fórmula.

$$L_p = 32.44 + 20 \log d(\text{km}) + 20 \log f(\text{MHz}) \quad (3)$$

onde:

- L_p : Perda de percurso no espaço livre;
- d : Distância entre transmissor e receptor em km;
- f : Frequência em MHz.

- **Distância somente sobre o rio:** No caso de modelos de propagação de trajetos mistos, estes consideram a distância somente sobre a água, como se verifica nos modelos clássicos como Okumura [20] e ITU-1546-5[21], assim como também na modelagem com técnicas de aprendizagem de máquina [22]. As distâncias usadas na equação (4) podem ser observadas na Fig. 2.

$$D_r = D_{ht} - D_t \quad (4)$$

onde:

- D_r : Distância sobre o rio ou distância somente sobre a água;
- D_{ht} : Distância horizontal total.
- D_t : Distância sobre a terra.

Saída:

- **Perda de percurso:** Usando as entradas antes mencionadas e o treinamento da rede, é possível obter a predição da perda de percurso para um trajeto misto que considera cidade e rio. Para calcular a saída foram feitas várias simulações com diferentes números de iterações. A rede que obteve melhores resultados precisou de 1000 iterações, isto porque o parâmetro de avaliação para selecionar a rede neuro-fuzzy, foi o erro médio quadrático (ERMSE), sendo selecionada a rede que obteve o menor valor de ERMSE.

3 | RESULTADOS

A precisão do modelo proposto é avaliada na comparação dos dados medidos no entorno da ponte e os dados preditos pela rede Neuro Fuzzy. É importante mencionar que os dados de teste são totalmente desconhecidos pela rede. Estes dados estão ilustrados na Fig.6, sendo que os vermelhos são dados da rede e os pontos da cor preta é o modelo proposto para a rede. Pode-se observar que há coerência entre os dados medidos e os dados preditos, mostrando que a técnica de Redes Neuro Fuzzy é satisfatória para a elaboração de modelos de propagação, no entanto, está limitado para o cenário no qual foi criado.

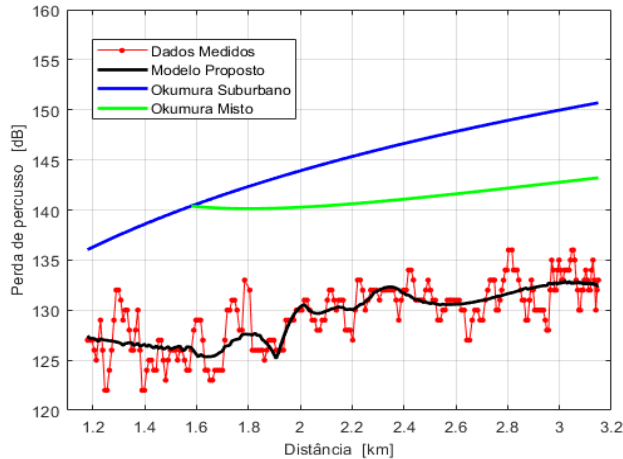


Figura 6 - Gráfico dos dados medidos, modelo proposto, modelo Okumura-Hata Suburbano e modelo Okumura-Hata para trajeto misto.

O modelo Okumura-Hata é originalmente usado em ambientes urbanos, mas pode ser adaptado para cenários suburbanos. As equações (4) e (6) mostram os cálculos de perda de percurso utilizados para o modelo Okumura-Hata para ambientes urbanos e suburbanos, respectivamente.

$$\begin{aligned}
 L_{urb} = & 69.55 + 26.16 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(H_{TX}) \\
 & - (1.1 \cdot \log(f) - 0.7) \cdot H_{RX} - 1.56 \cdot \log(f) - 0.8 \\
 & + (44.9 - 6.55 \cdot \log(H_{TX})) \cdot \log(d)^b
 \end{aligned} \tag{5}$$

onde:

$$b = 1 \text{ para } d < 20 \text{ km} \tag{6}$$

$$L_{surb} = L_{urb} - 2 \cdot \log\left(\frac{f}{28}\right)^2 + 5.4 + PCO \tag{7}$$

onde:

$$PCO: \text{Correção da ERP, porque o modelo é feito para 1 Kw de ERP} \tag{8}$$

O erro RMS obtido é de 2 dB entre os dados medidos e os dados preditos pelo modelo proposto, o que indica que o modelo apresenta um bom desempenho para uma ponte sobre o rio. Outros trabalhos apresentaram erros de 3 a 3.7 dB para trajetos sobre pontes como detalha em [11], embora esta ponte não foi sobre o rio, porém permite reforçar a ideia de que o modelo de propagação proposto é válido e fiável para o cenário no qual foi desenvolvido.

Adicionalmente, na Fig. 6 é mostrado que a partir da distância de 1.5 km até 1.7 km,

os dados medidos mostram o *Recovery Effect*, que se produz ao passar da estrada para a ponte. Tal efeito é acompanhado pelo modelo proposto. Uma segunda característica do sinal que é acompanhada pelo modelo é diminuição da perda em 1.9 km na frente do arco de metal sobre a ponte que se observa na Fig. 4. A partir da distância de 2 km o sinal diminui com a distância.

Na fig. 6 são apresentados os resultados entre o modelo de Okumura misto, suburbano e o modelo proposto em cenário de cidade e rio. O modelo proposto se apresenta como uma importante alternativa para ambientes de cidade e rio, pois tem a menor perda de percurso se comparado aos demais modelos presentes na figura conforme é mostrado na Tabela I.

Modelo	Erro RMS
Okumura-Hata Suburbano	16.95
Okumura-Hata Misto	13.14
Modelo Proposto	1.98

TABELA I – Erro RMS dos Modelos

4 | CONCLUSÃO

Para avaliação dos resultados obtidos no método de predição de perda de propagação sobre a ponte de Marabá no Rio Tocantins, a métrica utilizada para avaliar o modelo de propagação foi o erro médio quadrático. Dessa forma, o modelo proposto conseguiu predefinir a perda de percurso com um erro de RMSE 1.98 dB.

Os resultados da predição de perda de percurso no trajeto misto estrada sobre terra e ponte sobre o rio, foram obtidos através do processamento dos dados no sistema *Neuro-Fuzzy*. Com isso, os resultados foram consistentes para um sistema de comunicação móvel no cenário tipicamente amazônico, pois conseguiram acompanhar os dados medidos com menor perda de percurso e dessa forma, torna-se essencial para atender de forma satisfatório o sistema (LongTerm Evolution) LTE em ambientes não homogêneos.

Adicionalmente, como forma de otimização do sistema de comunicação, faz-se necessário novas propostas de medição para o aprimoramento de estudos de perda de propagação para adequação de novas tecnologias, como a LTE-Advanced e o 5G. Adicionalmente, para trabalhos futuros serão consideradas as características do rio Tocantins, visto que o mesmo tem uma variação de nível do rio de até 10 m.

REFERÊNCIAS

1. F. Schnaider, T. Schnaider, “**Ponte mista de Marabá**”, Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/tsomineiro/5873829601/>>. Acessado em março de 2020.
2. S.Nkordeh, “**LTE Network Planning using the Hata-Okumura and the COST-231 Hata Pathloss Models**” World Congress on Engineering, London, 2014.
3. M. Suneetha, S. Behara, K. Suresh, “**Comparison of standard propagation model (SPM) and Stanford University Interim (SUI) Radio propagation models for long term evolution (LTE)**”, Department of ECE, Chaitanya Engineering College Visakhapatnam, A.P. INDIA. ISSN: 2278-7844, INDIA 2012.
4. N. Shabbir, M. Sadiq, H. Kashif, R. Ullah, “**Comparison of radio propagation models for long term evolution (lte) network**”, International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.3, No.3, September 2011.
5. P. Muñoz, O. Sallent, P. Romero, “**Self-Dimensioning and Planning of Small Cell Capacity in Multitenant 5G Networks**,” in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 5, pp. 4552-4564, May 2018.
6. Y. Junyi, W. Chen, B. Zhang, J. Zhang, “**4G TD-LTE Radio coverage model optimization design under complex inland river environment**”, The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety, 2015, Wuhan, China.
7. R. Jang, “**Anfis: Adaptive-network based fuzzy inference system**”, IEEE Trans.on systems, man, and cybernetics, 23 (03):665-685, may, 1993.
8. L. Carter, T.Maclean, “**Recovery effect in cellular radio systems**”, IEEE, 1990.
9. Eras, L. E. C., da Silva, D. K., Barros, F. B., Correia, L. M., & Cavalcante, G. P. S. (2018). **A Radio Propagation Model for Mixed Paths in Amazon Environments for the UHF Band. Wireless Communications and Mobile Computing**, 2018.
10. da Silva, D. K. N., Eras, L. E. C., Moreira, A. A., Correia, L. M., Barros, F. J. B., & dos Santos Cavalcante, G. P. (2018). **A Propagation Model for Mixed Paths Using Dyadic Green’s Functions: A Case Study Over the River for a City–River–Forest Path**. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 17(12), 2364-2368.
11. Guan. K, Zhong. Z, Ai. B, Kürner. T, “**Propagation measurements and modeling of crossing bridges on high-speed railway at 930 MHz**”, IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 63, no. 2, February 2014.
12. Faruk, N., Popoola, S. I., Surajudeen-Bakinde, N. T., Oloyede, A. A., Abdulkarim, A., Olawoyin, L. A., ... & Atayero, A. A. (2019). Path Loss Predictions in the VHF and UHF Bands within Urban Environments: Experimental Investigation of Empirical, Heuristics and Geospatial Models. IEEE Access, 7, 77293-77307.
13. Cruz, H. A. O., Nascimento, R. N. A., Araujo, J. P. L., Pelaez, E. G., & Cavalcante, G. P. S. (2017, August). **Methodologies for path loss prediction in LTE-1.8 GHz networks using neuro-fuzzy and ANN**. In 2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics

Conference (IMOC) (pp. 1-5). IEEE.

14. Agência Nacional de Água, Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/tocantins/saiba-mais-tocantins>>, Acessado em março de 2020.

15. Gyolov Solutions. G-Net Track Manual <<https://www.gyokovsolutions.com/G-NetTrack%20Android.html>>Acessado em março de 2020.

16. T. William, K. Shanmuan, S. Rappaport, K. Kurt, **Principles of communication systems simulation with wireless applications**, s. 16, Upper Saddle River, 2004.

17. H. Charles, Versines and haversines in nautical astronomy, Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S0373463300029337>>, Acessado em maio de 2020.

18. F. Anderson, S. J. Arismar, “**Caracterização da Perda de Percurso Indoor De Redes 5g Em Ondas Milimétricas**” XXXV Simpósio Brasileiro De Telecomunicações E Processamento De Sinais – Sbrt2017, 3-6 De Setembro De 2017, São Pedro, SP.

19. S. Sun et al., “**Investigation of Prediction Accuracy, Sensitivity, and Parameter Stability of Large-Scale Propagation Path Loss Models for 5G Wireless Communications**,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 5, pp. 1-18, May 2016.

20. Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, “**Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service**,” Rev. Elec. Commun. Lab, 1968, 16(9): 825-73.

21. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz. RECOMMENDATION ITU-R P.1546-5.

22. A. D. S. Braga et al.: “**Radio Propagation Models Based on Machine Learning Using Geometric Parameters for a Mixed City-River Path**” IEEE ACESS publication July 29, 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acoplamento magnético ressonante forte 84

Automação de iluminação 150

C

Cálculo de perdas de energia 39

Composto direito/esquerdo (CRLH) 117

Controle da iluminação 150

Correlação-cruzada 15

Custos anuais de construção de linhas de distribuição 39

D

Detecção 94, 154

Durabilidade de rede de Bragg 25

E

Eficiência energética 7, 150, 151, 153, 160

Encapsulamento 25, 27, 29, 30, 31, 32, 35

Energia eólica 161, 162, 168

Enlace analógico a fibra óptica 1, 13

Enlace fotônico sob baixa polarização 1

Estruturas periódicas 117

F

FBG 5, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37

Fotovoltaico 7, 94, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180

Fuzzy Logic 5, 54, 55, 65, 68

I

Índice de refração negativo 117

Inteligência artificial 55

L

Lei de Kelvin 38, 39

LTE 7, 118, 125, 127, 128, 129, 136, 137

M

Metamateriais 6, 84, 117

N

Neuro-Fuzzy 127, 129, 130, 133, 134, 136, 137

O

Otimização estática 39

P

Perda de propagação 127, 128, 136

Permeabilidade negativa 117

Permissividade negativa 117

PID 6, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Planejamento de potência reativa 106

Proteção contra surtos 139, 140

R

Rádio propagação sobre pontes 127

Rede de fibra de Bragg (FBG) 15

Refrigerador 139, 140, 141, 146, 147, 148

Reversão 94

Revisão literária 94

RFBG 5, 25, 26, 27, 28, 31, 32

RF em fotônica 1

Rotação 161, 162, 164, 166, 167, 168, 169

S

Sensor à fibra óptica 15

Sistema DALI 150, 154, 155

Sistemas de alívio 15

Sistemas de distribuição 106, 115, 141

Sistemas de potência 106

Supercondutividade 84

Surtos elétricos 7, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 149

T

Televisor 139, 140, 141, 144, 145

Transmissão de energia sem fio 6, 84

V

Vazão 14, 15






Velocidade do vento 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168

Vida útil 47, 139, 140, 141, 147, 148, 170

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br