

Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações

**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

Henrique Ajuz Holzmann

(Organizador)

Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações

Atena Editora
2019

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
T255	Técnicas de processamento de sinais e telecomunicações [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-449-8 DOI 10.22533/at.ed.498190807 1. Tecnologia da informação. 2. Telecomunicações. I. Holzmann, Henrique Ajuz. CDD 338.47
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações está organizada de maneira a atender a temas atuais sobre a área de telecom e processamento de sinais de maneira sucinta e otimizada, sendo dividido em 17 capítulos sequenciais.

A transmissão de dados juntamente com suas vertentes representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade, estando presente nos mais diversos setores. Desenvolve-la de maneira eficiente é uma busca constante de grandes empresas e pesquisadores, buscando otimizar e agilizar o processo de troca de informações.

Produzir conhecimento nestas áreas é de extrema importância, a fim de gerar desenvolvimento e ampliar possibilidades nos mais diversos campos. Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre temas referentes a comunicação e processamento de sinais em diferentes níveis de profundidade em pesquisas, envolvendo aspectos técnicos, científicos e humanos é trazido nesta obra.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANTENA DE MICROFITA RETANGULAR PARA APLICAÇÃO EM 2,5 GHZ UTILIZANDO SUBSTRATO METAMATERIAL	
Almir Souza e Silva Neto Bruno Pontes Alves da Silva Matheus Mesquita Correa Humberto César Chaves Fernandes Ronilson Mendes Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.4981908071	
CAPÍTULO 2	7
BANDWIDTH ENHANCEMENT OF AN ULTRA WIDE BAND PLANAR INVERTED F-ANTENNA	
Pedro Paulo Ferreira do Nascimento Glauco Fontgalland Raymundo de Amorim Júnior Tagleorge Marques Silveira Rodrigo César Fonseca da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4981908072	
CAPÍTULO 3	14
COMPORTAMENTO DE MODELOS DE DIFRAÇÃO SOBRE MÚLTIPLOS GUMES DE FACA EM VHF E UHF	
Lorenço Santos Vasconcelos Gilberto Arantes Carrijo	
DOI 10.22533/at.ed.4981908073	
CAPÍTULO 4	27
ON-CHIP KOCH FRACTAL ANTENNA ARRAY FOR 60 GHZ ISM BAND APPLICATION	
Paulo Fernandes da Silva Júnior Ewaldo Eder Carvalho Santana Mauro Sérgio Pinto Filho Almir Souza e Silva Neto Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Paulo Henrique da Fonseca Silva Alexandre Jean René Serres Raimundo Carlos Silvério Freire	
DOI 10.22533/at.ed.4981908074	
CAPÍTULO 5	36
PROJETO E ANÁLISE DE UM ARRANJO LINEAR DE ANTENAS UTILIZANDO A CURVA FRACTAL DE KOCH	
Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Pedro Carlos de Assis Júnior Marcelo da Silva Vieira Rodrigo César Fonseca da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4981908075	

CAPÍTULO 6	48
FINDING REPEATER PLACEMENT FOR P2P WIRELESS LINKS WITH NLOS IN EXTREMELY MOUNTAINOUS REGIONS	
Alvaro Javier Ortega	
DOI 10.22533/at.ed.4981908076	
CAPÍTULO 7	60
NOVA ARQUITETURA DE DEMODULADOR $\pi/3$ -BPSK PARA OS SATÉLITES DO SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS	
Flavia Vasconcelos Maia	
Antonio Macilio Pereira de Lucena	
Francisco de Assis Tavares Ferreira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4981908077	
CAPÍTULO 8	73
PROPOSTA DE UM NOVO ALGORITMO QOS-AWARE PARA O ESCALONAMENTO <i>DOWNLINK</i> LTE-A EM CENÁRIOS DE TRÁFEGO MISTO: UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO	
Júnio Moreira	
Éderson Rosa da Silva	
Paulo Roberto Guardieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4981908078	
CAPÍTULO 9	85
SERVIÇO DE L2VPN EM REDES DE <i>BACKBONE</i> IP: ESTUDO DE CASO DA REDECOMEP-RIO	
Pedro Henrique Diniz da Silva	
Natália Castro Fernandes	
Nilton Alves Jr.	
Márcio Portes de Albuquerque	
DOI 10.22533/at.ed.4981908079	
CAPÍTULO 10	101
SISTEMA DISTRIBUÍDO PARA DETECÇÃO DE AMEAÇAS EM REDES UTILIZANDO <i>DEEP LEARNING</i>	
Fábio César Schuartz	
Mauro Sérgio Pereira Fonseca	
Anelise Munaretto	
DOI 10.22533/at.ed.49819080710	
CAPÍTULO 11	113
UM MÓDULO DE DEFESA PARA ATAQUES DDOS NA CAMADA DE APLICAÇÃO USANDO ESTRATÉGIAS SELETIVAS	
Túlio Albuquerque Pascoal	
João Henrique Gonçalves Corrêa	
Vivek Nigam	
Iguatemi Eduardo da Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.49819080711	

CAPÍTULO 12	125
AN EMPIRICAL RATE BALANCED ALIEN XTALK MITIGATION METHOD FOR G.FAST SYSTEMS	
Diego de Azevedo Gomes	
Cláudio de Castro Coutinho Filho	
João Victor Costa Carmona	
Evaldo Gonçalves Pelaes	
DOI 10.22533/at.ed.49819080712	
CAPÍTULO 13	135
REPRESENTAÇÃO ESPARSA UTILIZANDO WAVELETS E VARIAÇÃO TOTAL APLICADOS AO PROCESSAMENTO DE SINAIS DE DESCARGAS PARCIAIS	
Paulo Vitor do Carmo Batista	
Hilton de Oliveira Mota	
DOI 10.22533/at.ed.49819080713	
CAPÍTULO 14	152
REDUÇÃO DE DIMENSÕES USANDO TRANSFORMADA DE KARHUNEN-LOÈVE EM SISTEMAS MIMO MASSIVO DISTRIBUÍDO COM <i>FRONTHAUL</i> LIMITADO	
Ricardo de Souza Cerqueira	
André Noll Barreto	
DOI 10.22533/at.ed.49819080714	
CAPÍTULO 15	167
WSN COVERAGE IMPROVEMENT WITH ROF IN BUS TOPOLOGY FOR SMART CITIES	
Raphael Montali da Assumpção	
Indayara Bertoldi Martins	
Frank Herman Behrens	
Omar Carvalho Branquinho	
Fabiano Fruett	
DOI 10.22533/at.ed.49819080715	
CAPÍTULO 16	179
MODELO ELETROMAGNÉTICO DE UM ARRANJO PLANAR DE NANODIPOLOS SOBRE PLANO DE OURO ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE GREEN 3D	
André Felipe Souza da Cruz	
Nadson Welkson Pereira de Souza	
Karlo Queiroz da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.49819080716	
CAPÍTULO 17	194
AVALIAÇÃO DE FADIGA MUSCULAR LOCALIZADA EM SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS UTILIZANDO TAXA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL NO TEMPO	
Jean Kevyn Correia Pessoa	
Pedro Henrique Melgaço de Oliveira Martins	
Thiago Raposo Milhomem de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.49819080717	
SOBRE O ORGANIZADOR	207

COMPORTAMENTO DE MODELOS DE DIFRAÇÃO SOBRE MÚLTIPLOS GUMES DE FACA EM VHF E UHF

Lorenço Santos Vasconcelos

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia – Minas Gerais

Gilberto Arantes Carrijo

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia – Minas Gerais

RESUMO: Neste trabalho, são comparados cinco diferentes métodos de cálculo de difração sobre múltiplos gumes de faca em áreas rurais. Os modelos de Bullington, Epstein-Peterson, Japonês, Deygout e Giovaneli foram implementados no MATLAB® e os seus resultados, analisados. Constatou-se que o comportamento relativo dos modelos tem estrita relação apenas com o número de gumes de faca do terreno e com a frequência de operação. Esses resultados fornecem uma base importante na escolha de métodos para se fazer análises de difração em enlaces de rádio em VHF e UHF.

PALAVRAS-CHAVE: difração, Giovaneli, gume de faca, terreno irregular

ABSTRACT: In this paper, we compared five different methods of multiple knife-edge diffraction calculation in rural areas. The Bullington, Epstein-Peterson, Japanese, Deygout and Giovaneli models were implemented in MATLAB® and the results analyzed. It is found that the relative behavior of the tested models is closely related to only the number of knife-edges and operating frequency. These results provide an important guidance in the choice of methods to do diffraction analysis in radio links in the VHF and UHF bands.

Deygout and Giovaneli models were implemented in MATLAB® and the results analyzed. It is found that the relative behavior of the tested models is closely related to only the number of knife-edges and operating frequency. These results provide an important guidance in the choice of methods to do diffraction analysis in radio links in the VHF and UHF bands.

KEYWORDS: diffraction, Giovaneli, irregular terrain, knife-edge

1 | INTRODUÇÃO

A propagação de ondas de rádio sobre terrenos irregulares envolve a atenuação causada pela difração nos vários obstáculos do terreno. Embora esses obstáculos sejam de formas e tamanhos muito variados, em frequências como VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*), eles podem ser representados, com alguma perda de fidelidade, por gumes de faca.

A perda por difração em um gume de faca é calculada analiticamente pelas equações de Fresnel-Kirchhoff ou pelas equações da UTD (Teoria Uniforme da Difração) e da GTD (Teoria Geométrica da Difração). No entanto, quando se deseja calcular a atenuação devido a uma série de gumes de faca, o cálculo torna-se muito mais complicado e de difícil solução.

Millington *et al.* [1] desenvolveram soluções analíticas para o caso de dois gumes de faca e Vogler [12], baseado no trabalho de Furutsu [6], desenvolveu uma complexa expressão para o caso de múltiplos gumes de faca.

Devido à alta complexidade dos cálculos analíticos, foram criados métodos simples, mas que não têm grandes comprovações teóricas do seu funcionamento. Esses modelos são utilizados em análises de enlaces de rádio com o intuito de se fazer previsões da atenuação do sinal e da área de cobertura. Os modelos mais difundidos são: Bullington [3], Epstein-Peterson [5], Japonês [1], Deygout [4] e Giovaneli [7].

Tendo em vista a existência de vários métodos diferentes, é interessante realizar estudos comparativos para compreender o seu comportamento e os fatores que influenciam os resultados. Tais estudos são ponto de partida para guiar projetistas de sistemas na escolha de quais métodos utilizar. Com isso, o objetivo deste trabalho é comparar os cinco métodos citados, aplicando-os em vários percursos reais de propagação em terreno irregular e utilizando diferentes frequências nas faixas de VHF e UHF.

Portanto, este artigo foi estruturado da seguinte maneira: a seção 2 trata de aspectos teóricos da difração em múltiplos gumes de faca e traz alguns comentários sobre os métodos estudados. A seção 3 apresenta a metodologia empregada nos testes e as seções 4 e 5 trazem os resultados obtidos e as conclusões, respectivamente.

2 | DIFRAÇÃO POR MÚLTIPLOS GUMES DE FACA

A UTD [9], com base na GTD [8], postula que o campo elétrico difratado por um gume de faca é dado por uma expressão do tipo da Equação :

$$E^d = E_0 \bar{D}(\cdot) A(\cdot) e^{-j(\cdot)}, \quad (1)$$

em que $\bar{D}(\cdot)$ é um coeficiente de difração que é função da geometria do gume e dos ângulos de difração; $A(\cdot)$ representa a variação em amplitude do campo difratado em função da geometria da difração e da onda incidente e $e^{-j(\cdot)}$ representa a variação em fase do campo difratado. Dessa maneira, pode-se dizer que a atenuação total é o produto de um fator de difração, \bar{D} , e um fator de propagação, A .

Pogorzelski [11] mostrou que a abordagem de Epstein-Peterson considera corretamente o fator de difração, mas é otimista em relação ao fator de propagação. Esse autor também mostrou que a solução de Deygout considera o fator de propagação correto, mas é pessimista com relação ao fator de difração. Já o método Japonês, de maneira semelhante ao de Epstein-Peterson, considera corretamente o fator de difração, porém corrige, parcialmente, o fator de propagação. Com isso, é natural que os resultados mais exatos estejam em algum ponto intermediário entre as soluções do método Japonês e do método de Deygout.

Por outro lado, a alternativa sugerida por Giovaneli corrige o fator de difração

incorreto do modelo de Deygout. Assim, essa abordagem considera corretamente os dois fatores e isso faz com que ela produza resultados mais consistentes com a UTD, GTD e com os resultados obtidos por Vogler.

Giovaneli comprovou a eficácia de sua abordagem ao encontrar erros menores que 0,9 dB entre as suas previsões e valores medidos experimentalmente. Bibb *et al.* [2] também mostraram que o modelo de Giovaneli se mantém mais próximo dos resultados de Vogler em várias situações.

Nesse sentido, esse trabalho considerou o modelo de Giovaneli como referência para os outros modelos. Assim, os resultados dos quatro primeiros modelos foram comparados com os resultados do modelo de Giovaneli.

3 I METODOLOGIA EMPREGADA

Para fazer a comparação entre os modelos, foi implementado um programa, em MATLAB®, capaz de realizar as seguintes tarefas: obter o perfil vertical do terreno; converter o perfil obtido em uma representação de gumes de faca; e realizar o cálculo da atenuação por difração utilizando os cinco métodos escolhidos.

A obtenção do perfil do terreno é feita, automaticamente, pelo programa utilizando-se o serviço Google Elevation API. O *software* faz uma requisição HTTP (Hyperext Transfer Protocol) ao servidor cuja resposta é um objeto JSON (JavaScript Object Notation) que contém as informações de altitude entre dois pontos escolhidos. Após a obtenção do perfil, o programa computa os gumes de faca, como é ilustrado na Figura 1.

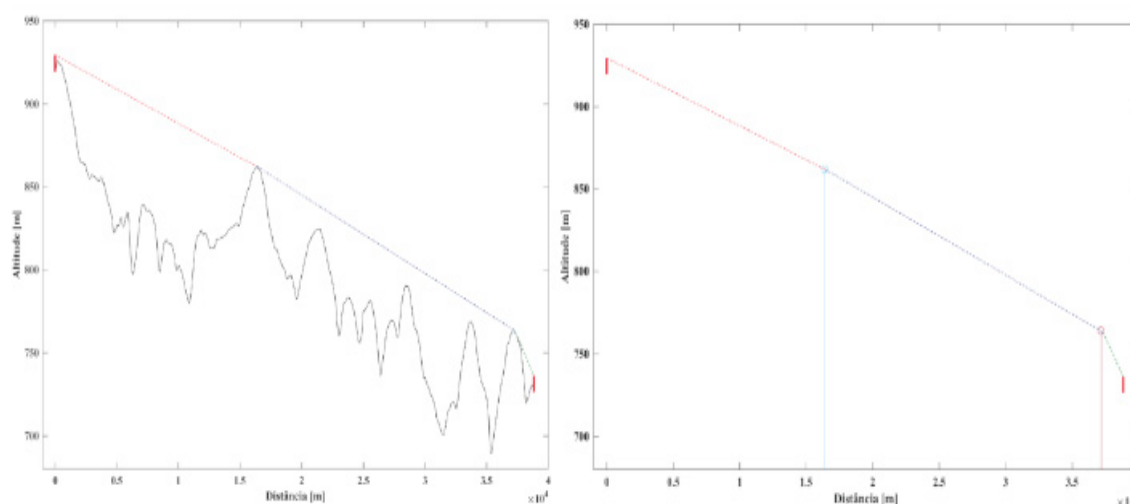


Figura 1: Conversão do perfil real em gumes de faca.

As análises feitas nesse trabalho seguiram, basicamente, dois procedimentos. O primeiro consistiu em avaliar os modelos apenas em função do terreno de propagação. Para isso, os cálculos foram realizados em diferentes regiões.

Definiu-se 6 áreas de teste distintas, compostas por 2401 pontos de recepção

diferentes. Para cada uma das 6 áreas, os cálculos foram feitos com 4 alturas diferentes de antena transmissora (10, 20, 50 e 100 m) e mesma frequência. A Tabela 1 resume as características das áreas de teste.

Área	Região/Cidade	Frequência [MHz]
1	Sul de Uberlândia	575,1428 (canal 31)
2	Noroeste de Uberlândia	
3	Nordeste de Frutal	
4	Sudoeste de Frutal	
5	Oeste de Patos de Minas	
6	Norte de Patos de Minas	

Tabela 1: Áreas de teste deste trabalho.

A Figura 2 mostra uma das regiões de teste analisadas. Nela, o ponto vermelho é o transmissor e os pontos azuis são os pontos de recepção.

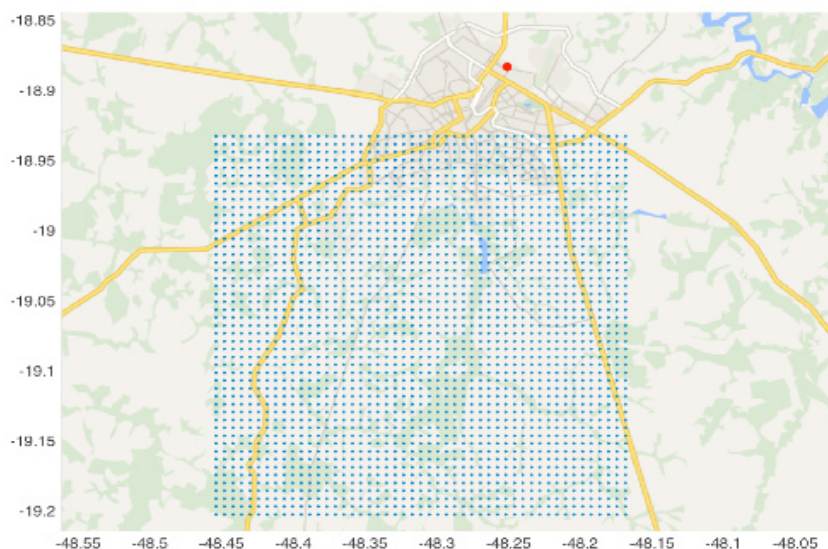


Figura 2: Área de teste 1 da Tabela 1.

O segundo procedimento consistiu em analisar o comportamento dos modelos selecionados em relação à frequência de operação. Para isso, os mesmos cálculos do primeiro procedimento foram realizados, mas para todos os 68 canais VHF e UHF (54 – 800 MHz).

4 | RESULTADOS

A primeira análise verificou o desvio de cada método em relação ao modelo de Giovaneli em função do terreno de propagação. Os Gráficos 1 a 4, a seguir, mostram os desvios para cada caso testado na área de teste 1 (a mesma da Figura 1).

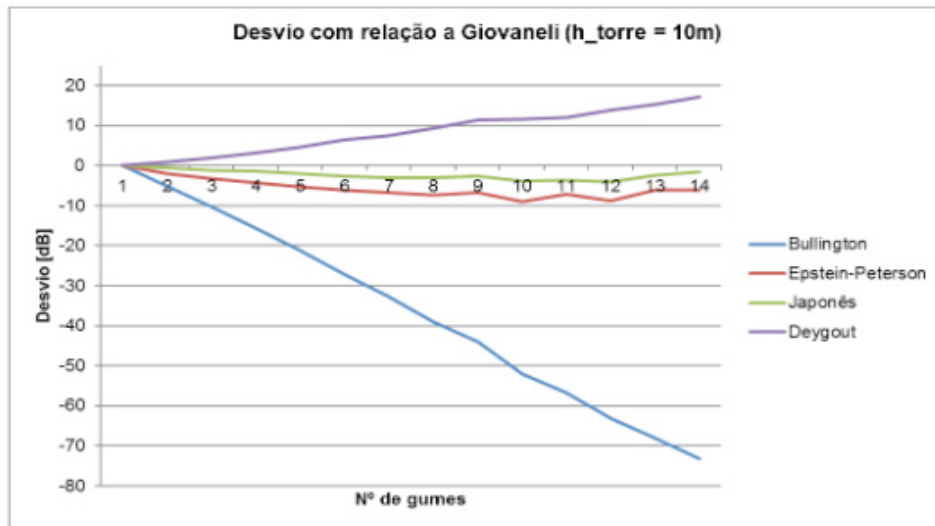


Gráfico 1: Desvio na área de teste 1 e para altura da antena transmissora = 10 m.



Gráfico 2: Desvio na área de teste 1 e para altura da antena transmissora = 20 m.

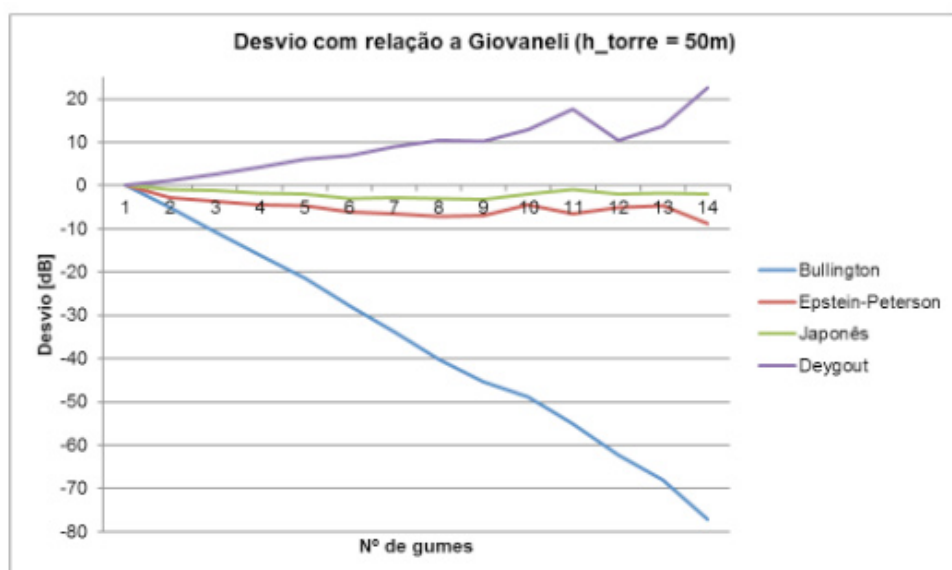


Gráfico 3: Desvio na área de teste 1 e para altura da antena transmissora = 50 m.

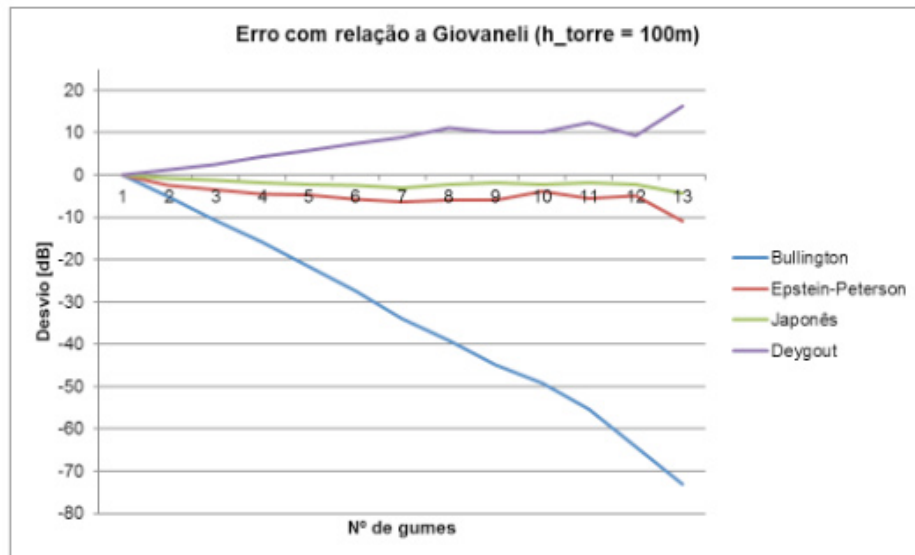


Gráfico 4: Desvio na área de teste 1 e para altura da antena transmissora = 100 m.

A partir desses resultados, verificou-se que a diferença entre os modelos segue um padrão, independentemente da altura da antena transmissora. Também foi possível perceber que, em todos os quatro casos, o modelo de Giovaneli (abcissa) ficou intermediário em relação aos modelos de Deygout (limite superior) e o Japonês (limite inferior), comprovando o que foi observado na Seção 2 deste trabalho.

Ao realizar as análises para as outras 5 áreas de teste restantes (Uberlândia, Patos de Minas e Frutal), verificou-se que o mesmo padrão se repetiu, embora os terrenos sejam completamente diferentes. Então, partiu-se para uma análise conjunta de todos os pontos, apenas em função do número de gumes de faca, independentemente da região analisada ou das alturas da antena transmissora. Isso é mostrado no Gráfico 5.

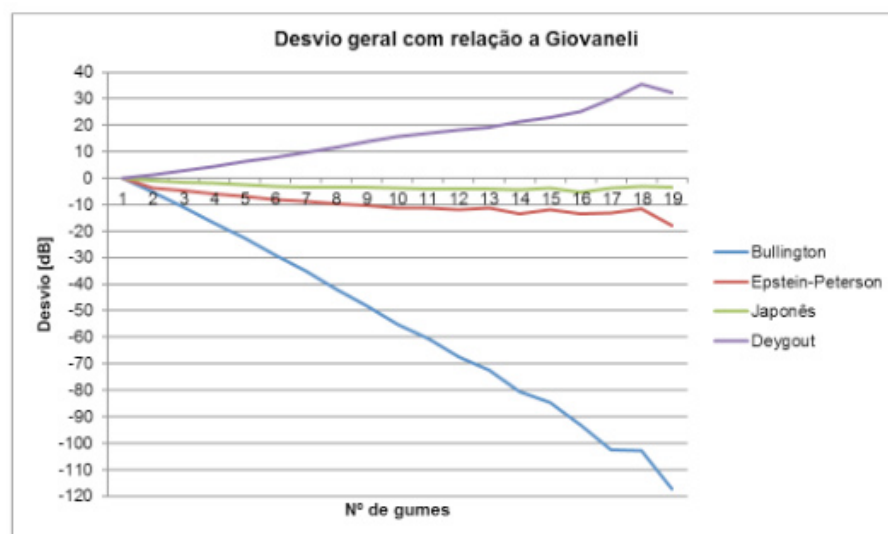


Gráfico 5: Desvio geral com relação a Giovaneli.

Observando o Gráfico 5, verifica-se que o mesmo padrão dos outros gráficos se repete. Então, isso sugere que a diferença entre os métodos de Bullington, Epstein-

Peterson, Japonês e Deygout, com relação ao método de Giovaneli, depende apenas da quantidade de gumes de faca no terreno.

O método de Bullington é o mais otimista e provê bons resultados apenas para um, ou, no máximo, dois gumes de faca. Quanto mais gumes há no terreno, mais ele se torna otimista, enquanto o modelo de Deygout torna-se pessimista, desviando-se bastante do modelo de Giovaneli.

Já o comportamento dos modelos de Epstein-Peterson e o Japonês é muito parecido. Eles se mantêm praticamente uniformes com relação ao número de gumes, mas o modelo Japonês é mais próximo do modelo de Giovaneli. Isso também pode ser observado na Figura 3, que traz as perdas por difração, em [dB], de todos os métodos.

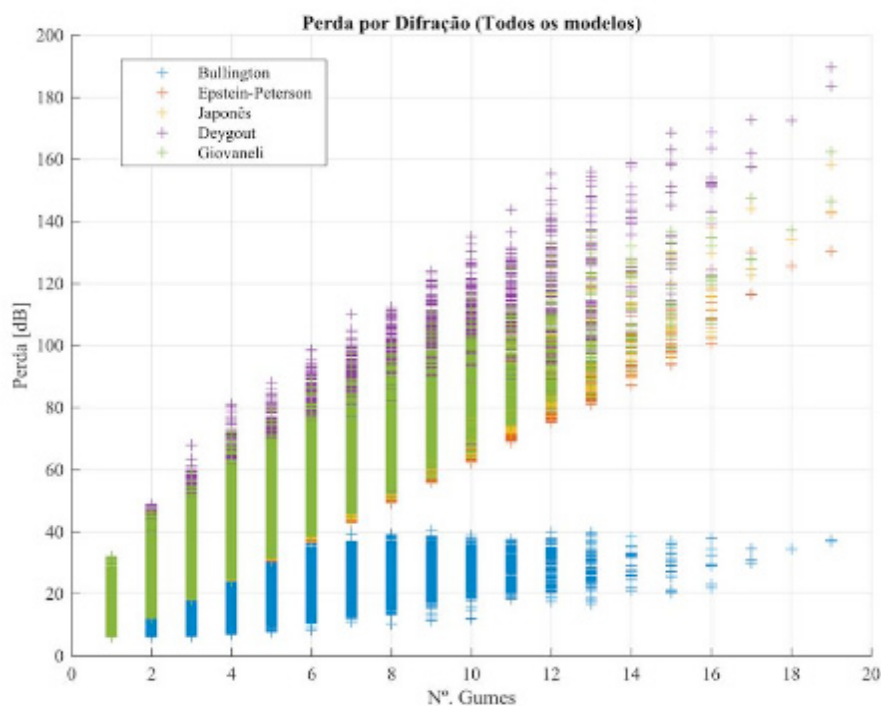


Figura 3: Perdas por difração de todos os métodos

O programa desenvolvido também foi feito para plotar, geograficamente, os dados calculados e isso é mostrado em seguida. A Figura 4 mostra o número de gumes de faca entre o transmissor e cada ponto da área de teste 1 para altura de antena transmissora de 100 m.

A Figura 5 ilustra o desvio padrão entre os modelos de Epstein-Peterson, Japonês e Deygout com relação ao modelo de Giovaneli nas mesmas condições da Figura 4. O modelo de Bullington foi omitido dessa análise para se ter uma boa escala de cores nas figuras, pois ele é muito divergente dos outros métodos.

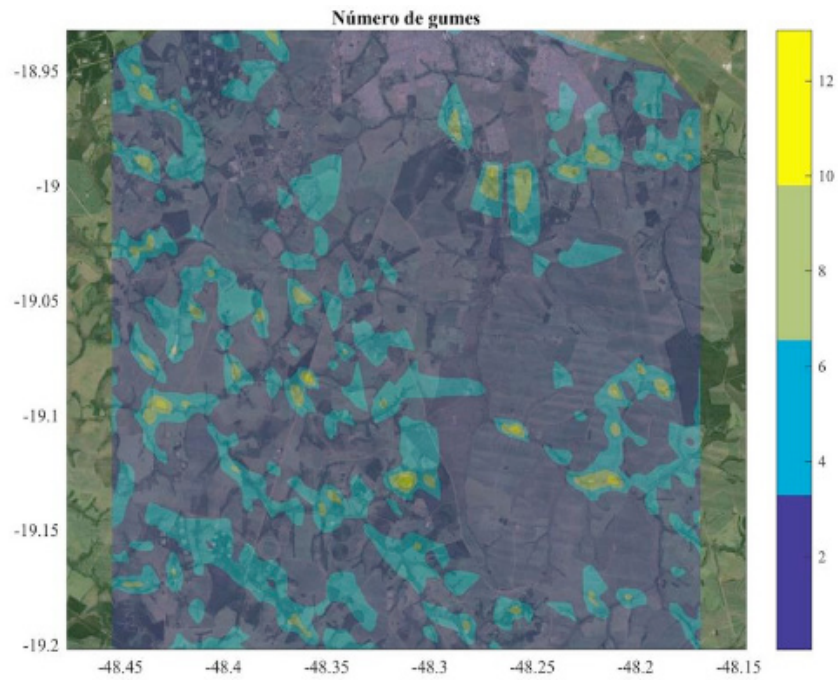


Figura 4: Número de gumes de faca entre o transmissor e cada ponto.

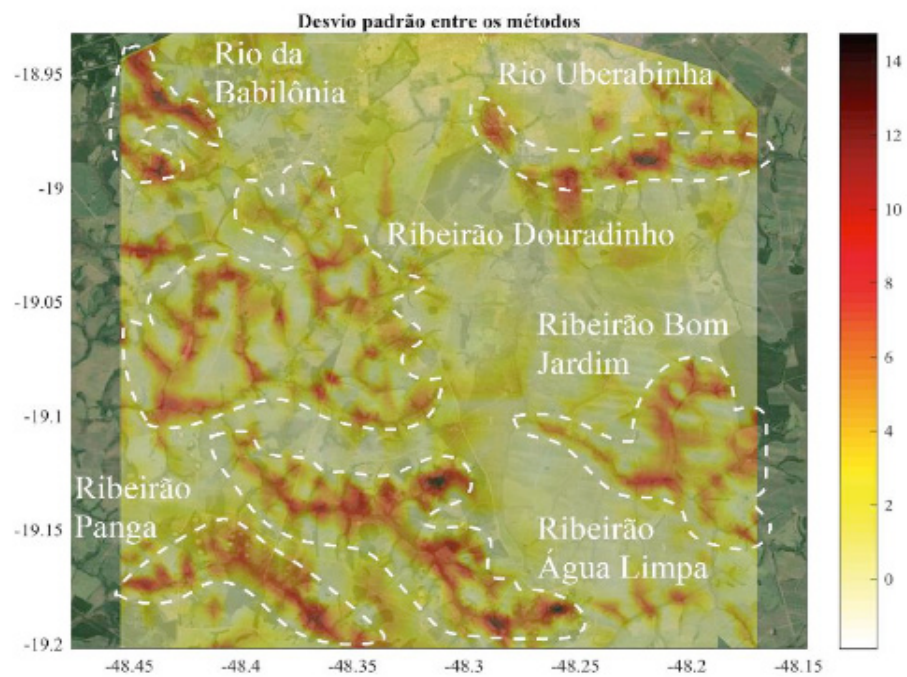


Figura 5: Desvio padrão entre os métodos com relação à Giovaneli.

Analisando as Figuras 4 e 5, é possível confirmar o que está mostrado nos Gráficos 1 a 5 e na Figura 3 (que a diferença entre os métodos e Giovaneli aumenta com o número de gumes). Nas mesmas regiões em que, na Figura 4, o percurso contém mais gumes, o desvio padrão entre os métodos é grande na Figura 5.

Curiosamente, se for feita uma análise hidrográfica, percebe-se que a maioria desses pontos são margens de pequenos rios e córregos, como foi identificado na Figura 5. Isso ocorre, pois, em geral, as margens desses componentes hidrográficos são formadas por vales e depressões. Assim, essas regiões de margens são sombreadas

por vários gumes de faca.

A segunda abordagem foi analisar o comportamento dos modelos de propagação em função da frequência de operação. Para isso, os cálculos foram realizados para todos os 68 canais VHF e UHF.

A Figura 6 mostra o comportamento dos modelos de Epstein-Peterson, Japonês e Deygout em relação ao modelo de Giovaneli em função da frequência e do número de gumes. A Figura 7 mostra o desvio padrão entre esses métodos e o de Giovaneli.

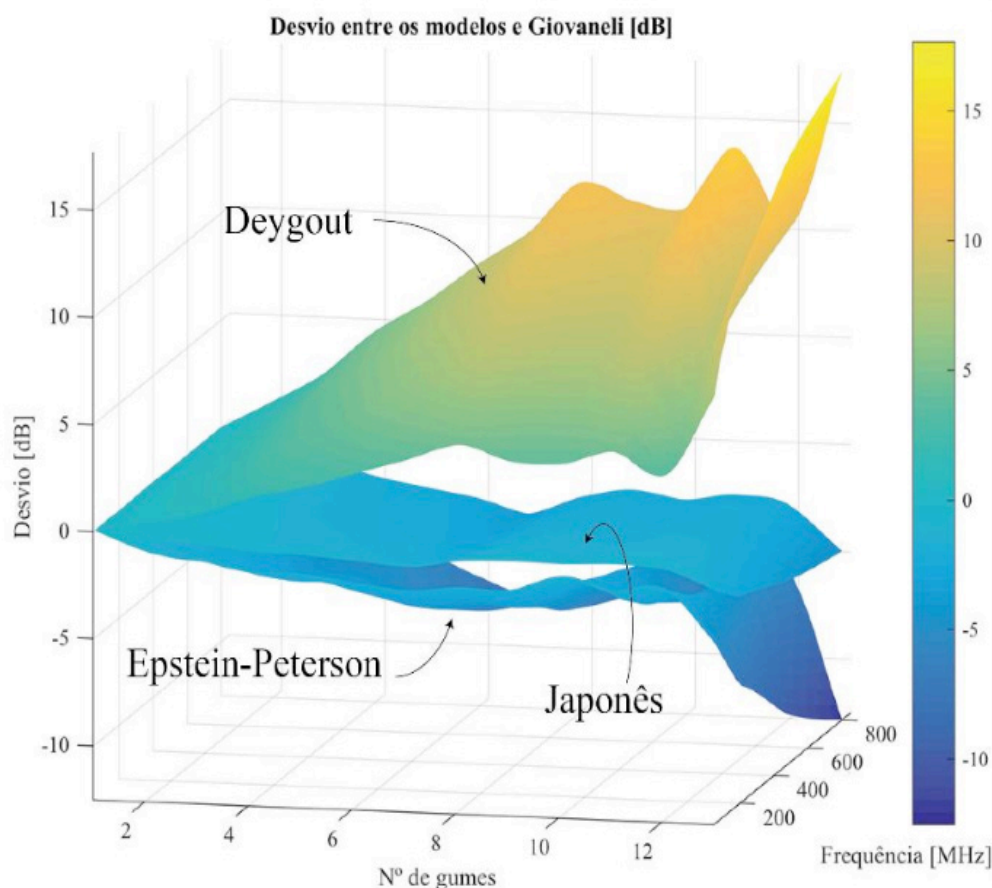


Figura 6: Comportamento dos modelos com relação a Giovaneli.

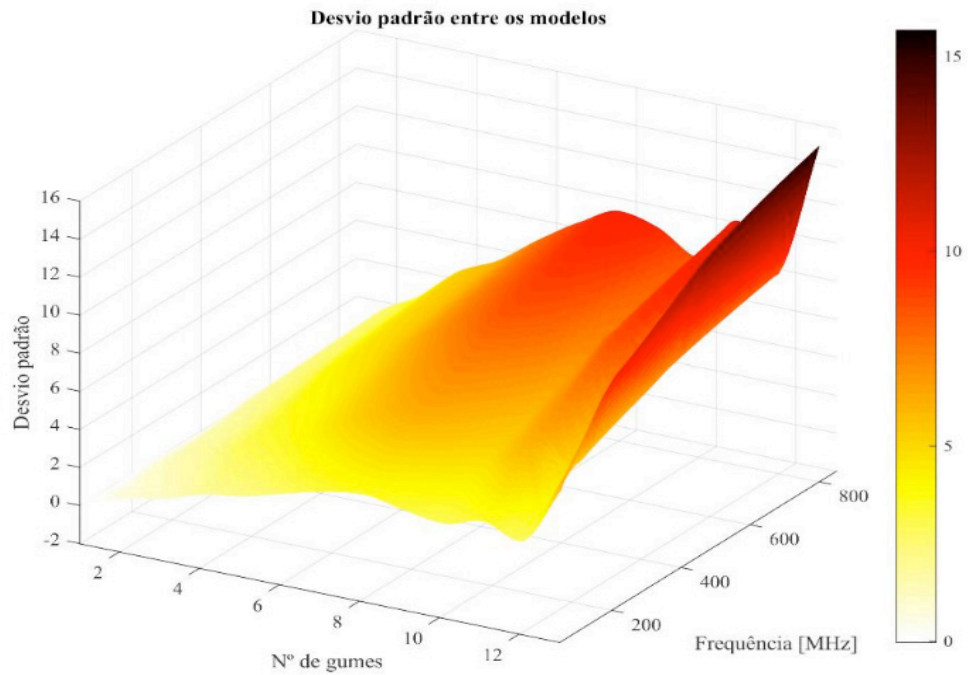


Figura 7: Desvio padrão entre os modelos e o método de Giovaneli.

Em concordância com os resultados anteriores, as Figuras 6 e 7 mostram que os métodos passam a divergir mais com o aumento do número de gumes de faca. Mas, ao introduzir o eixo das frequências, elas também mostram que as diferenças entre os métodos são acentuadas com o aumento da frequência, com exceção do modelo Japonês, que se manteve praticamente constante em relação ao modelo de Giovaneli.

Finalmente, foi avaliado o tempo de processamento dos cinco modelos estudados, como mostra o Gráfico 6.

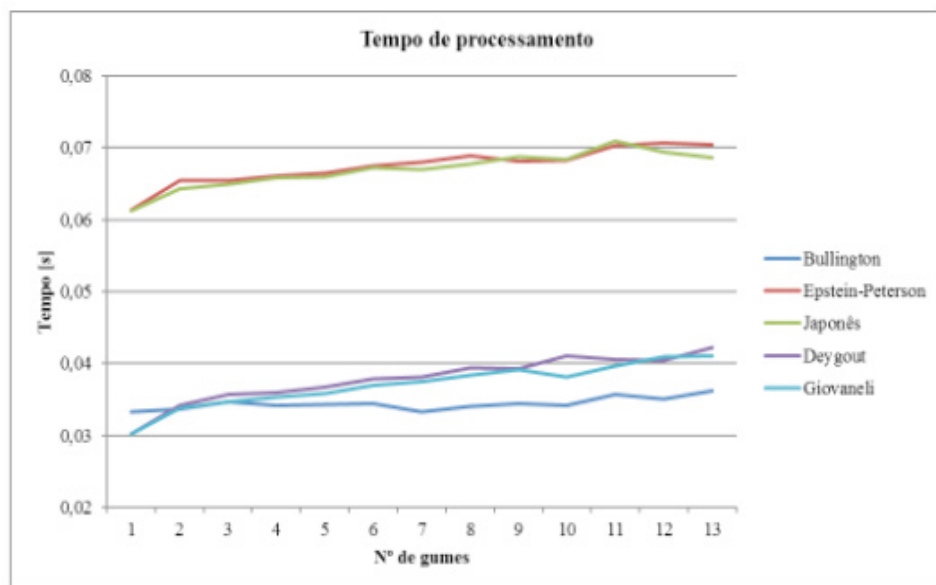


Gráfico 6: Tempo de processamento dos modelos.

Percebe-se que o modelo mais rápido é o de Bullington, o que era esperado devido à sua simplicidade. Observa-se, também que o seu tempo de processamento é

independente do número de gumes, pois esse modelo sempre utiliza, no máximo, dois gumes para realizar os cálculos.

Em seguida, aparecem o modelo de Giovaneli e o modelo de Deygout. Também era esperado que os tempos de processamento desses modelos fossem próximos, pois sua metodologia é bem parecida e isso realmente ocorreu.

Os modelos mais demorados foram os de Epstein-Peterson e o Japonês, o que também era esperado, pois eles realizam operações intensivas em todos os gumes de faca do terreno. Em geral, esses dois modelos são 1,8 vezes mais demorados do que o de Giovaneli.

5 | CONCLUSÃO

Este trabalho procurou realizar um estudo comparativo entre cinco diferentes métodos de cálculo de difração sobre múltiplos gumes de faca. Uma vez que o método de Giovaneli é considerado, por vários autores, como o mais exato na maioria das vezes (Seção 2 desse trabalho), então esse método foi considerado como referência para os outros quatro métodos analisados.

Os resultados apresentados nos Gráficos 1 a 5 e nas Figuras 3, 4 e 5 mostraram que a diferença entre os modelos de Bullington, Epstein-Peterson, Japonês e Deygout, com relação ao modelo de Giovaneli, são independentes da região analisada e da altura da antena transmissora, mas dependem apenas do número de gumes de faca. Ou seja, em geral, características como: distância entre gumes, altura média dos gumes, altura efetiva da antena transmissora, distância do enlace, entre outras, não interferem no comportamento dos modelos em relação a Giovaneli, conseqüentemente com relação à UTD, GTD e Vogler.

Ficou claro que o método de Bullington é o menos preciso e o que mais se desvia do modelo de Giovaneli. O método de Deygout fornece bons resultados quando são considerados dois ou três gumes, mas, a partir daí, desvia-se bastante de Giovaneli e passa a ser muito pessimista. O método de Epstein-Peterson forneceu resultados razoáveis e se manteve próximo do modelo de Giovaneli para toda a faixa de gumes testados. Isso mostra que, em geral, é um método confiável para ser utilizado em diversas situações, mas otimista. Já o modelo Japonês foi o que forneceu os melhores resultados. Ele se manteve muito próximo do modelo de Giovaneli em todos os casos e é ligeiramente otimista.

Além disso, as Figuras 4 e 5 mostraram que regiões de margens de pequenos rios e córregos devem ser cuidadosamente analisadas, pois os vales que podem estar presentes aumentam, consideravelmente, o número de gumes, elevando a divergência entre os métodos e o desvio com relação à realidade. Por isso, nessas áreas, é mais indicado utilizar os modelos de Giovaneli, Japonês e Epstein-Peterson.

A segunda análise levou em consideração a frequência de operação. As Figuras 6 e 7 mostraram que o comportamento dos modelos (em relação a Giovaneli) também

depende da frequência de operação. Em todos os casos, o aumento da frequência de operação acentuou o desvio dos modelos com relação ao modelo de Giovaneli, com exceção do modelo Japonês. O comportamento desse método se manteve aproximadamente constante para todas as quantidades de gumes de faca e para toda a faixa VHF e UHF.

Foi possível concluir, então, que, dentre os modelos analisados, o melhor é o Japonês. Uma vez que ele é mais próximo de Giovaneli, então ele também é mais próximo dos resultados de Vogler, da UTD e da GTD.

Como resultado geral deste trabalho, pode-se dizer que:

- para perfis de terreno com até três gumes de faca e frequências no começo da faixa de VHF, praticamente todos os cinco modelos podem ser utilizados;
- à medida que o número de gumes de faca aumenta, os modelos de Giovaneli, Epstein-Peterson e Japonês ainda podem ser utilizados, mas, a partir de, aproximadamente, 400 MHz, o modelo de Epstein-Peterson passa a prover piores resultados; e
- basicamente, os modelos de Giovaneli e Japonês podem ser utilizados para uma grande gama de gumes de faca e toda a banda de VHF e UHF.

REFERÊNCIAS

Atlas of radio wave propagation curves for frequencies between 30 and 10,000 Mc/s. Radio Research Lab, Ministry of Postal Services, Tokyo, Japan, pp. 172–9, 1957.

BIBB, D. A; DANG, J; YUN, Z; ISKANDER, M. F. **Computational accuracy and speed of some knife-edge diffraction models.** Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), IEEE, pp. 705-706, 2014.

BULLINGTON, K. **Radio propagation at frequencies above 30 Mc.** Proc IRE, 35(10), pp. 1122–36, 1947.

DEYGOUT, J. **Multiple knife-edge diffraction of microwaves.** IEEE Trans., AP14(4), pp. 480–9, 1966.

EPSTEIN, J; PETERSON, D. W. **An experimental study of wave propagation at 850 MC.** Proc. IRE, 41(5), pp. 595–611, 1953.

FURUTSU, K. **On the theory of radiowave propagation over inhomogeneous earth.** J. Res. NBS, 67D, pp. 39–62, 1963.

GIOVANELI, C. L. **An analysis of simplified solutions for multiple knife-edge diffraction.** IEEE Trans., AP32(3), pp. 297–301, 1984.

KELLER, J. B. **Geometrical theory of diffraction.** J. Opt. Soc. Am., 52, pp. 116–30, 1962.

KOUYOUJIAN, R. G; PATHAK, P. H. **A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface.** Proc. IEEE, 62(11), pp. 1448–61, 1974.

MILLINGTON, G; HEWITT, R; IMMIRZI, F. S. **Double knife-edge diffraction in field-strength**

prediction. IEE Monograph 507E, pp. 419–29, 1963.

POGORZELSKI, R. J. **A note on some common diffraction link loss models.** Radio Science, 17, pp. 1536–40, 1983.

VOGLER, L. E. **The attenuation of electromagnetic waves by multiple knife-edge diffraction.** NTIA Report 81–86. Available as PB82-139239, National Technical Information Service, Springfield VA, 1981.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-449-8



9 788572 474498