

# MODELOS DE PROPAGAÇÃO EM RADIOFREQUÊNCIA EM SOFTWARES DE PREDIÇÃO DE ENLACES: Um estudo comparativo e suas possibilidades

## RADIO FREQUENCY PROPAGATION MODELS IN LINK-PREDICTION SOFTWARES: A comparative study and its possibilities

Capitão COM Carlos Eduardo<sup>1</sup>  
2ºTen (QC-FN) Lucas Martins Rimolo<sup>2</sup>

### RESUMO

O presente estudo tem a finalidade de realizar um estudo acerca do modelo de propagação de sinal chamado Longley-Rice, um modelo de previsão de enlace para transmissão de telecomunicações que varia na faixa de 20 MHz a 20 GHz, e verificar se o mesmo ainda é eficiente nos dias de hoje, mesmo tendo sido empregado em 1960, e se não for, qual seria seu substituto eventual na década atual.

Como método, utilizaremos a pesquisa exploratória através do empenho na busca de pesquisa bibliográfica no que facilite a compreensão do tema. Através dos resultados atingidos poderemos inferir se o modelo acima pode ou não ser substituído.

Palavras-chave: propagação, longley-rice; telecomunicações.

### ABSTRACT

The purpose of this study is to carry out a study on the signal propagation model called Longley-Rice, a link prediction model for telecommunications transmission that varies in the range from 20 MHz to 20 GHz, and to verify whether it is still efficient today, even though it was used in 1960, and if not, what would be its eventual replacement in the current decade.

As a method, we will use exploratory research through efforts to search for bibliographical research that facilitates understanding of the topic. Through the results achieved we can infer whether or not the model above can be replaced.

Keywords: propagation, longley-rice; telecommunications.

Artigo recebido em xx/xx/2024 e aceito para publicação em xx/xx/2024

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma transmissão em radiofrequência (RF), dado um sistema de comunicação, é primordial levar em consideração o perfil do terreno sobre o qual a mesma busca prevalecer. Este se faz importante devido à atenuação de potência até o sinal chegar, ou não, ao outro lado da fonia. A simples presença de árvores, prédios e demais obstáculos na linha de visada já podem tornar o terreno irregular a ponto de impedir o estabelecimento das comunicações (Dos Santos, 2015).

Vislumbrando tal cenário, *softwares* focados em determinar a qualidade da comunicação buscam minimizar o tempo perdido com a instalação de antenas e rádios em posições fadadas ao silêncio-rádio, ao predizer se o enlace pretendido pelo usuário é

---

<sup>1</sup> Aluno do Curso C Bas GE Of 2024 no Centro de Instrução de Guerra Eletrônica, Bacharel em Ciências Militares e cardoso.carloseduardo@eb.mil.br

<sup>2</sup> Aluno do Curso C Bas GE Of 2024 no Centro de Instrução de Guerra Eletrônica, Bacharel em Engenharia Elétrica e lucas.rimolo@marinha.mil.br

próspero, ou não, alimentados previamente, por este último, com todas as especificações necessárias para a simulação.

Destes *softwares*, um dos mais utilizados pelas Forças Armadas brasileiras (FFAA), bem como por pesquisadores e entusiastas do rádio, o Radio Mobile conta com o modelo de propagação RF datado da década de 1960: O Longley-Rice (LR), também conhecido por *Irregular Terrain Model* (ITM), do português Modelo de Terreno Irregular.

Dessa forma, o estudo realizado neste artigo objetiva utilizar da comparação entre o LR e outros modelos mais atualizados, até a data presente, e ver se os modelos mais atuais apresentam níveis de perda do sinal menores para, conseqüentemente, substituir o LR.

Conseguir atualizar teorias já bem estabelecidas, sob o ponto de vista das tecnologias mais atuais, tem potencial para fazer com que as FFAA consigam se desdobrar no terreno, em casos de guerras ou outros conflitos armados, com uma maior segurança uma vez que a comunicação pode representar a fronteira da linha tênue entre a vida e a morte de um combatente quando este se encontra em perigo.

Ao ler este artigo o leitor encontrará uma seção que versará sobre as dificuldades de se comunicar em terrenos irregulares, seguida por outra que descreve e analisa os diferentes modelos de propagação estudados.

A metodologia utilizada vocaciona por avaliar de forma comparativa os resultados obtidos, utilizando-se da análise de pesquisa em caráter explicativo e observando-se sempre o preceito básico, e científico, entre causa e efeito. Por fim, espera-se que o artigo venha a ter alguma contribuição no campo da predição de enlaces, bem como na análise quanto à confiabilidade de um sistema de comunicações em RF.

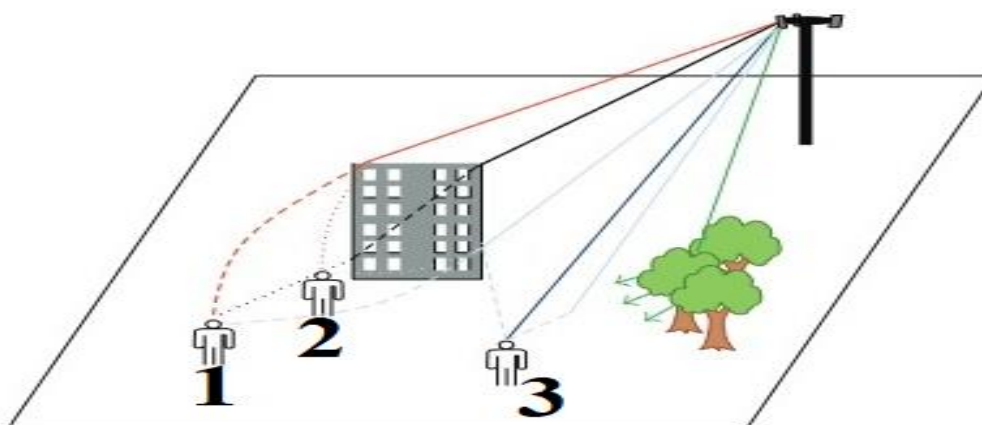
## **2 O TERRENO E AS COMUNICAÇÕES**

Para uma avaliação adequada da atenuação que ocorre com o trajeto das ondas de rádio, os modelos de propagação devem considerar adequadamente as principais características que impactam o sistema sem fio, como frequência, altura da antena e ambiente. De forma a melhor prever uma cobertura eficiente, deve-se escolher um modelo de propagação que se adapte e seja adequado as condições de propagação da localidade onde se planeja executar o enlace.

Numa transmissão de ondas eletromagnéticas, os modelos de propagação presente nos softwares de enlace são ferramentas matemáticas que conseguem descrever a forma como o sinal é irradiado entre um transmissor e um receptor. O trajeto percorrido pela onda eletromagnética pode apresentar diversos tipos de obstrução, tais com o relevo do terreno em si, montanhas e vegetação.

A figura abaixo demonstra um cenário onde uma fonte de rádio frequência tenta estabelecer um enlace com três indivíduos distintos. O prédio acima tem incidência de grande parte da emissão da onda eletromagnética. Parte do sinal dessa onda vai ser refletida, e parte dela vai penetrar e atravessar o prédio, sofrendo ao mesmo tempo absorção e refração. A parte do sinal que atravessar o prédio alcançará os indivíduos 1 e 2 e terá uma atenuação no sinal maior do que a do indivíduo 3. O indivíduo 3, no espaço livre, vai ter menos atenuação no sinal pois o mesmo vai ter visada direta com o emissor da rádio frequência. Só nesta figura temos uma representação dos mecanismos de propagação e como a atenuação os afeta (reflexão, difração, refração e absorção). (Frangos; Jaggard; Sautbekov; Georgiev; Savov, 2014.)

Figura 1: Exemplo de reflexão, difração, refração e absorção



Fonte: Frangos; Jaggard; Sautbekov; Georgiev; Savov, 2014.

### 3 SOFTWARES PARA PREDIÇÃO DO ENLACE

Para a obtenção e análise de dados provenientes das emissões eletromagnéticas de interesse, é essencial que os sinais emitidos pelo transmissor sejam recebidos pelo receptor com a mínima perda possível. Para alcançar esse objetivo, é necessário um planejamento detalhado utilizando softwares de predição de enlace, que têm a função de destacar a efetividade da cobertura do sinal. Um planejamento bem-executado aumenta significativamente o nível de confiabilidade das informações obtidas, assegurando que elas sejam mais próximas da realidade dos enlaces.

Ao escolher o software de predição, é crucial considerar a quantidade e qualidade das informações inseridas. Quanto mais detalhadas e precisas forem essas informações, mais realista será a predição realizada. Entre os fatores considerados estão o tipo de ambiente, gases atmosféricos, dados meteorológicos e geoclimáticos, construções, vegetação e uma base de dados detalhada de elevação, superfície e tipos de terreno. Esses elementos são fundamentais para aprimorar a precisão na compreensão das perdas de sinal entre as antenas receptoras e transmissoras.

Além disso, a escolha dos softwares para a pesquisa comparativa deve levar em conta a capacidade de inserir as características técnicas dos equipamentos e a disponibilidade de uma base de dados completa do terreno. Nesse contexto, foram selecionadas duas ferramentas de predição de enlace: o HTZ *Warfare*, utilizado pelo Exército Brasileiro desde 2012, foi desenvolvido pela empresa francesa ATDI e permite aplicações para fins militares tais como: simular redes fixas, redes móveis, definir aliados, definir inimigos e a visualização da cobertura eletromagnética. (ATDI, 2005)

O HTZ *Warfare* é conhecido por sua precisão e confiabilidade, sendo amplamente utilizado em cenários de defesa e segurança. Ele permite a modelagem detalhada de ambientes complexos, levando em conta fatores como topografia, edificações e vegetação, e é capaz de simular diversos cenários de propagação de sinal. Também conta com uma lista de modelos de propagação baseados nas recomendações da União Internacional de Telecomunicações (ITU), entidade ligada à Organização das Nações Unidas (ONU), responsável por definir os padrões globais de telecomunicações.

E o Rádio Mobile, um software livre que permite determinar a área de cobertura de um sistema de comunicações, oferecendo uma alternativa robusta e acessível para análise de cobertura de sinal.

O Rádio Mobile, por sua vez, é uma ferramenta gratuita que também oferece funcionalidades avançadas de predição de enlace, sendo especialmente útil para todos que necessitam de uma solução acessível e eficiente para determinar uma cobertura eletromagnética. Os dados digitais de elevação do terreno são utilizados para elaborar um perfil detalhado do trajeto entre o transmissor e o receptor. Esses dados, em

conjunto com as características técnicas do equipamento, fornecem as informações necessárias ao modelo de propagação conhecido como *Irregular Terrain Model*, fundamentado no algoritmo de Longley-Rice. Dessa forma, torna-se viável determinar a área de cobertura do enlace entre o transmissor e os receptor. (Ibáñez, 2009)

Em suma, o uso combinado dessas ferramentas pode proporcionar uma análise abrangente e precisa da propagação de sinais eletromagnéticos, garantindo que o planejamento e a execução de enlace entre transmissor e receptor sejam otimizados e confiáveis. Dessa forma, é possível assegurar uma maior fidelidade das informações aos parâmetros reais dos enlaces.

### 3.1 MODELOS DE PROPAGAÇÃO OUTDOOR

Na escolha de um modelo outdoor deve-se levar em consideração um que considere o espalhamento de energia eletromagnética acima dos efeitos da reflexão, refração e da difração. (Ribeiro, 2004)

O modelo Longley-Rice, ou *Irregular Terrain Model* (ITM), foi desenvolvido inicialmente na década de 1960, o Longley-Rice é capaz de levar em conta uma variedade de fatores que influenciam a propagação de sinais, incluindo a difração, reflexão e dispersão causadas por obstáculos naturais e artificiais no terreno, como montanhas, edifícios e outras estruturas. Uma das características mais destacadas do modelo Longley-Rice é sua capacidade de integrar dados detalhados de elevação do terreno, o que permite uma análise precisa das condições topográficas que afetam a propagação dos sinais de rádio. Além disso, o modelo considera a variabilidade temporal e espacial dos sinais, ajustando-se às diferentes condições atmosféricas e características do terreno. Baseia-se em cálculos das perdas que ocorrer na transmissão da onda eletromagnética. Em linha de visada, o modelo considera a refração na troposfera e reflexão em terreno liso ou irregular. Se houver uma obstrução, ou ainda, houverem múltiplos obstruções no terreno, considera a difração. (RICE, P. L.; LONGLEY, A. G, 1965)

O modelo ITU-R 525/526, atualizado recentemente 2019, também chamado de "*Propagation by diffraction*", baseia-se em cálculos das perdas que ocorrerem na transmissão da onda eletromagnética. Em uma linha de visada, esse método considera o espalhamento da energia eletromagnética. Este modelo oferece métodos para calcular a perda por difração em obstáculos únicos, como um pico isolado ou uma borda, e múltiplos obstáculos, como uma série de colinas. Ele também abrange a difração por uma superfície curva, como a da Terra, vital para comunicações de longa distância. (ITUR P.526-15, 2019)

O modelo ITU-R P.1546, atualizado recentemente em 2019, baseia-se em análises estatísticas de dados experimentais, levando em consideração variáveis como a altura da antena, a frequência do sinal e as características do terreno. Ele leva em conta diferentes condições climáticas e topográficas, utilizando um banco de dados digital do terreno para obter perfis de enlace preciso entre o transmissor e o receptor. (ITU-R P.1546-6, 2019)

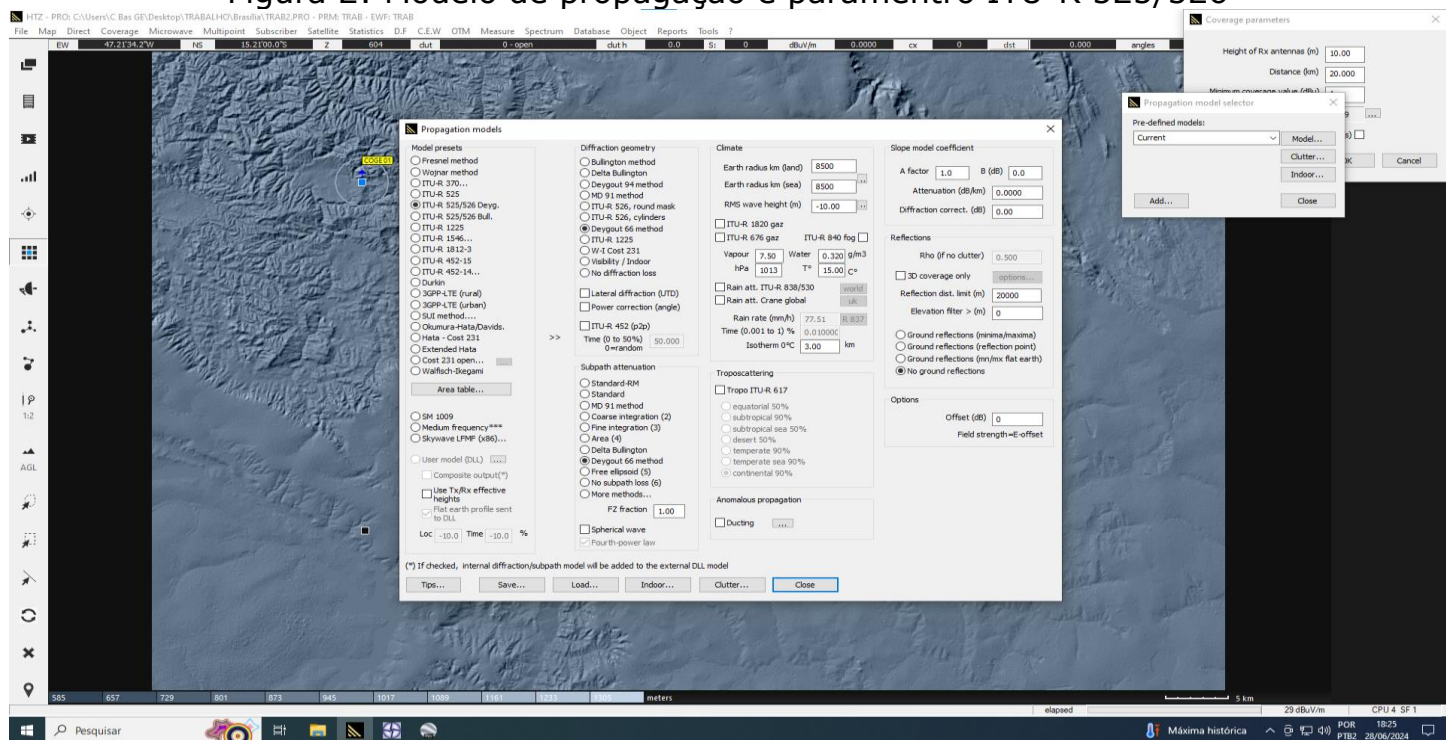
## 4 ESTUDO DE CASO: APRESENTAÇÃO E COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS EM SIMULAÇÃO

Através de predições no HTZ *Warfare* e no Radio Mobile, será feita uma comparação dos modelos, avaliando-se as perdas em dB que ocorrerão entre o enlace de um transmissor e receptor na faixa de 129 Mhz (VHF), nos 3 modelos, no intuito de compara-los.

## 4.1 USUÁRIO DESCRIÇÃO DAS PREDIÇÕES

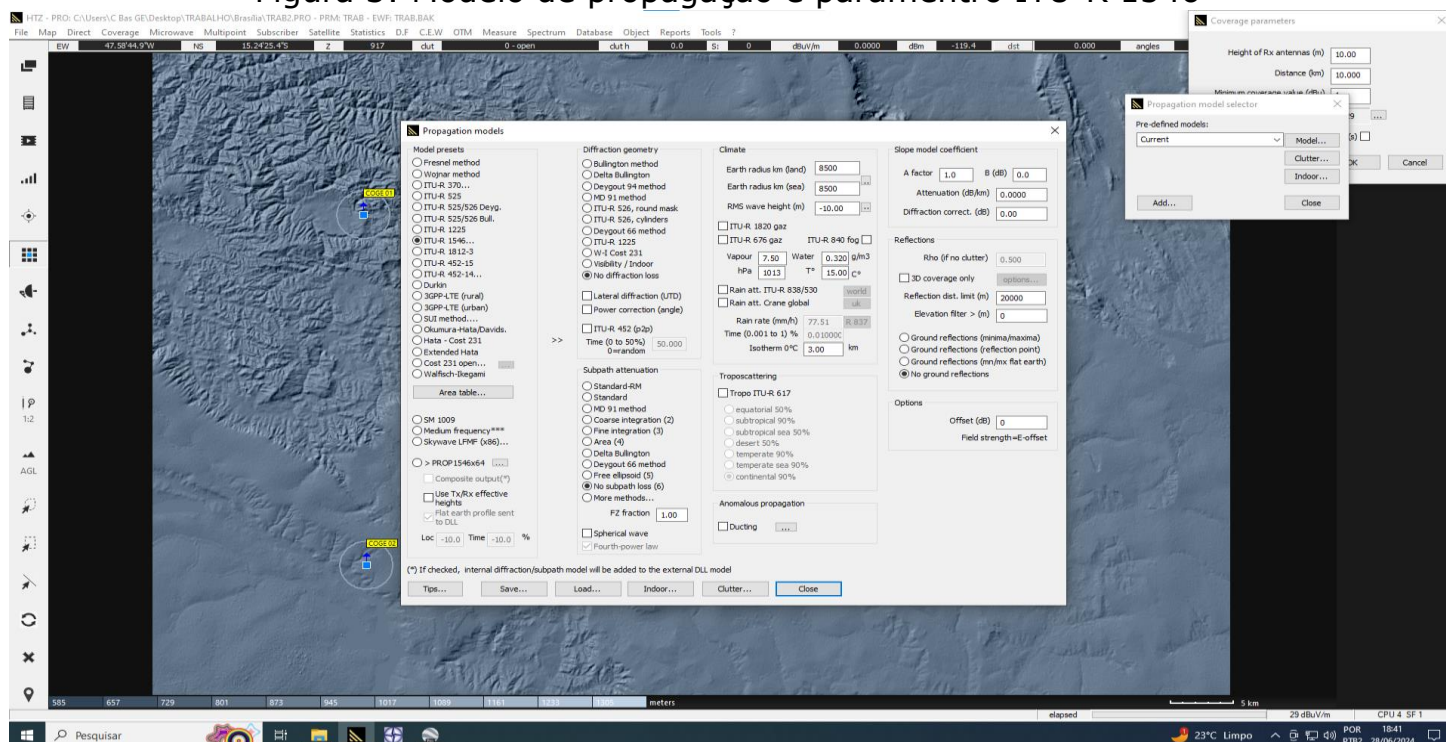
Para atingir o objetivo principal desta pesquisa iremos realizar um estudo comparativo entre modelos de propagação em softwares de predição de enlace, como o HTZ Warfare, atuando na faixa de frequência de 129 Mhz (VHF), com os parâmetros a seguir definidos:

Figura 2: Modelo de propagação e parâmetro ITU-R 525/526



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 3: Modelo de propagação e parâmetro ITU-R 1546



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 4: Configuração Radio Mobile modelo ITM

**Propriedades de rede**

Lista de todas as redes

- COGE 5
- Rede 2
- Rede 3
- Rede 4
- Rede 5
- Rede 6
- Rede 7
- Rede 8
- Rede 9
- Rede 10
- Rede 11
- Rede 12
- Rede 13
- Rede 14
- Rede 15
- Rede 16
- Rede 17
- Rede 18
- Rede 19
- Rede 20
- Rede 21
- Rede 22
- Rede 23
- Rede 24
- Rede 25
- Rede 26
- Rede 27
- Rede 28
- Rede 29

Parâmetros padrão Copiar rede Colar rede Cancelar OK

**Parâmetros** Topologia Membros Sistemas Estilo

Nome da rede: COGE 5

Frequência mínima (MHz): 129

Máxima frequência (MHz): 129

Polarização:  Vertical  Horizontal

Modo estatístico:  Ponto (50% de tempo),  Acidental (50% de locais),  Móvel (70% de situações),  Radiodifusão

Refratividade da superfície (N-Units): 301

Condutividade do solo (S/m): 0,005

Permissividade média do solo: 15

Clima:  Equatorial,  Sub-tropical continental,  Sub-tropical marítimo,  Deserto,  Temperado continental,  Temperado marítimo sobre a terra,  Temperado marítimo sobre o mar

Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 5: Configuração Radio Mobile modelo ITM

**Propriedades de rede**

Lista de todos os sistemas

- MAGE05
- Sistema 2
- Sistema 3
- Sistema 4
- Sistema 5
- Sistema 6
- Sistema 7
- Sistema 8
- Sistema 9
- Sistema 10
- Sistema 11
- Sistema 12
- Sistema 13
- Sistema 14
- Sistema 15
- Sistema 16
- Sistema 17
- Sistema 18
- Sistema 19
- Sistema 20
- Sistema 21
- Sistema 22
- Sistema 23
- Sistema 24
- Sistema 25

Parâmetros padrão Copiar rede Colar rede Cancelar OK

Parâmetros Topologia Membros **Sistemas** Estilo

01 Selecionar de Radiosys01.dat

Nome do sistema: MAGE05

Potência de transmissão (Watt): 1 (dBm) 30

Limiar do receptor ( $\mu$ V): 7,0795 (dBm) -90

Perda de linha (dB): 0 [ Cabo+cavidades+conectores ]

Tipo de antena: omni.ant Visualizar

Ganho da antena (dBi): 0 (dBd) -2,15

Altura da antena (m): 1,5 [ Acima do solo ]

Perda de cabo adicional (dB/m): 0 [ se a altura da antena difere ]

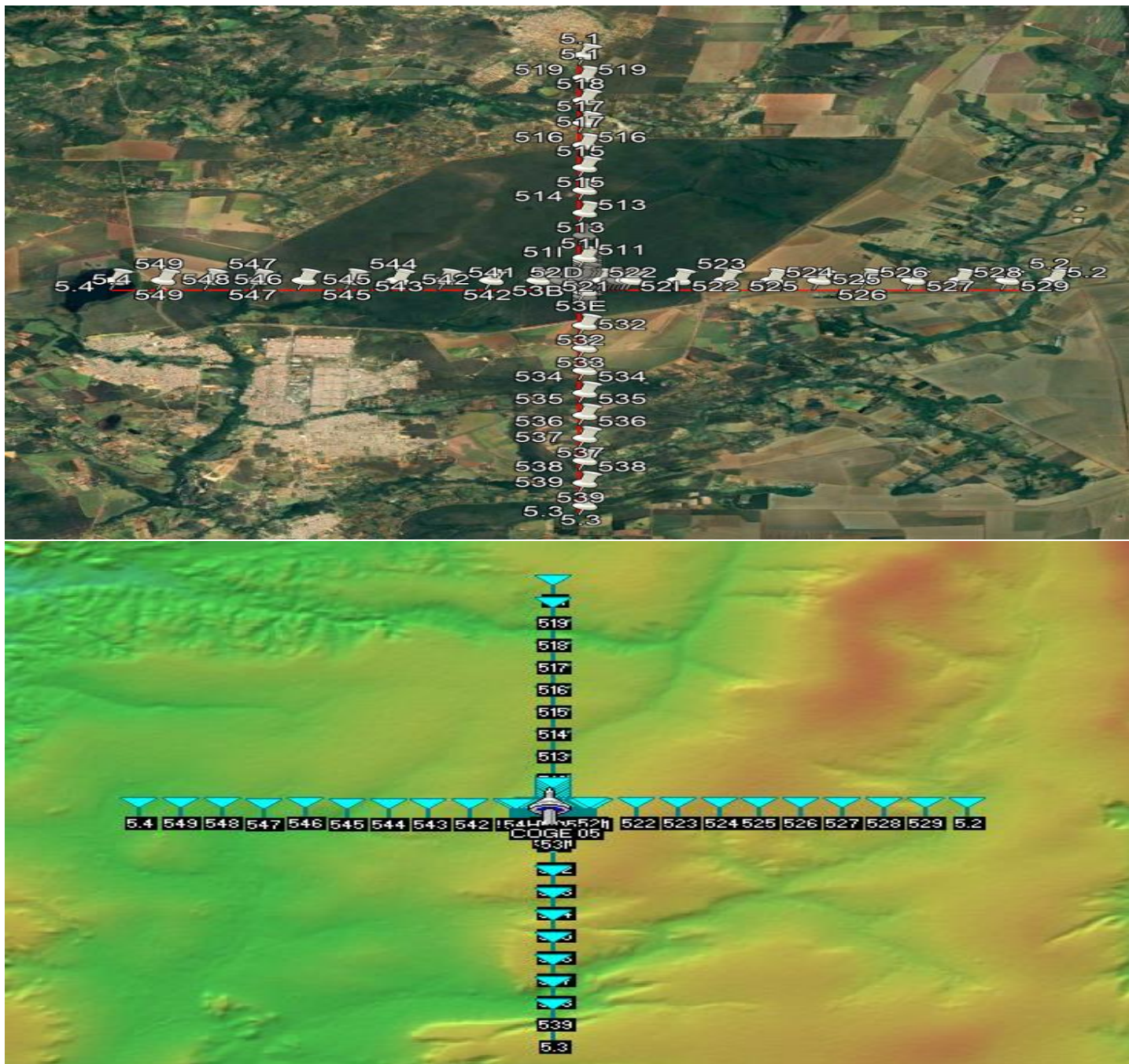
Inserir em Radiosys01.dat Remover de Radiosys01.dat

Fonte: Autoria própria, 2024.

## 4.1 MEDIÇÕES REALIZADAS

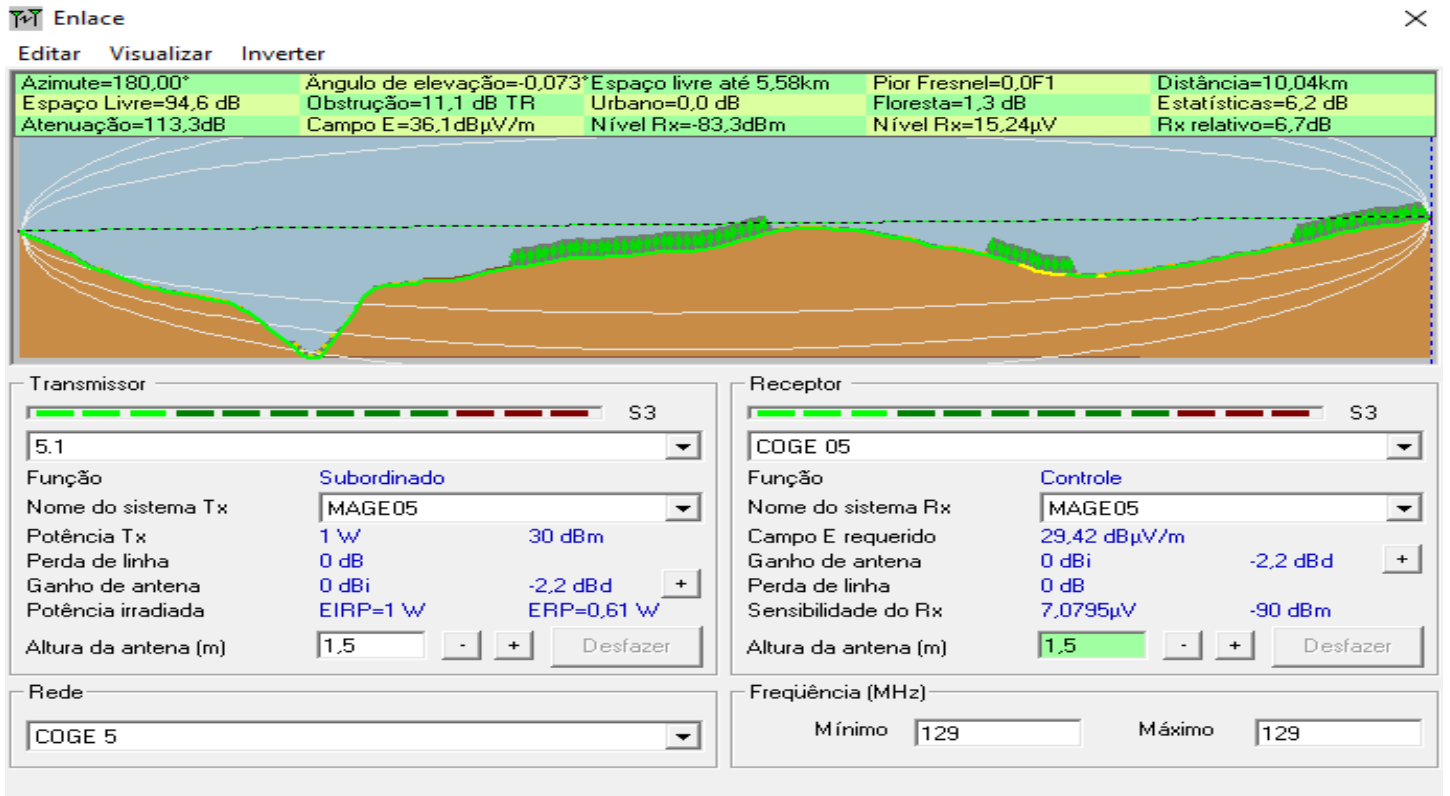
Utilizando-se do HTZ Warfare e do Rádio Mobile, pode-se aferir níveis de recepção estimados dos pontos de recepção espalhados no terreno em relação ao posto de transmissão.

Figura 6: Distribuição dos postos Rx e posto Tx no Google Earth e no Radio Mobile



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 7: Recepção do sinal transmitido do posto Rx 5.1 para o posto Tx

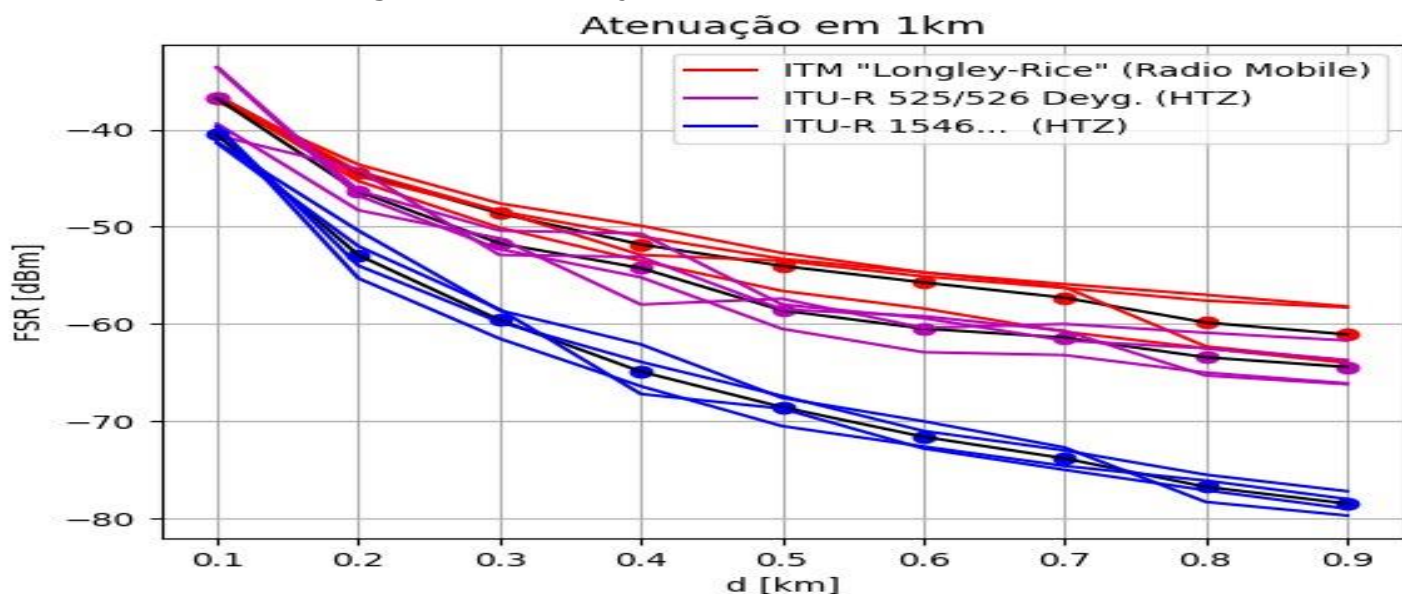


Fonte: Autoria própria, 2024.



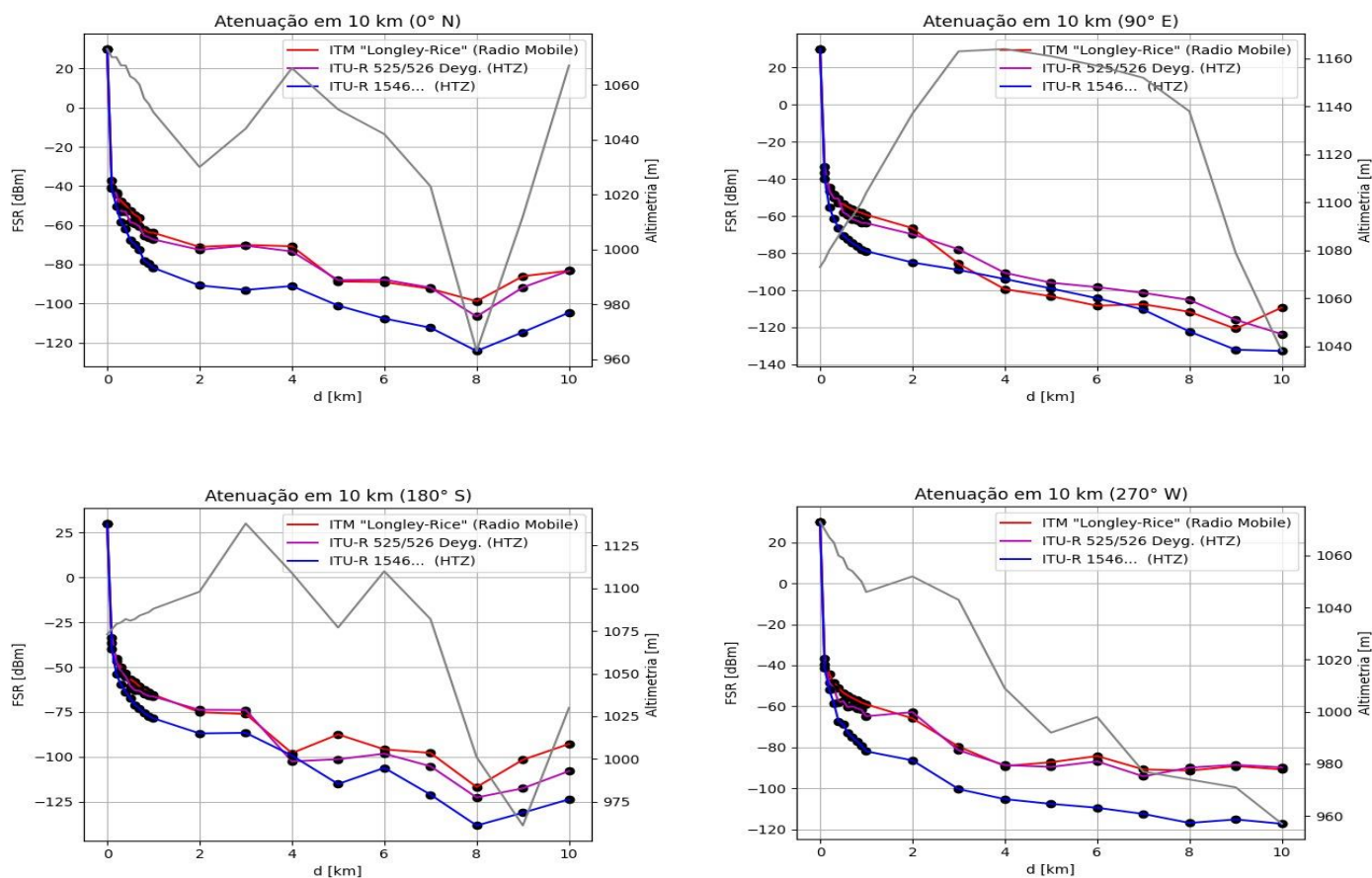
## 4.2 COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS

Figura 8: Atenuação nos 3 modelos em 1 Km



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 09: Atenuação nos 3 modelos em 10 Km



Fonte: Autoria própria, 2024.

Baseando-se nos resultados apresentados na Figura 8, que ilustra a atenuação do sinal em 1 km, e na Figura 9, que demonstra a atenuação do sinal em 10 km, tanto para as previsões dos modelos HTZ *Warfare* quanto do Radio Mobile, observa-se que os

modelos Longley-Rice, também conhecido como *Irregular Terrain Model* (ITM) do Radio Mobile, e o modelo ITU-R P.525/526 do HTZ *Warfare* exibem resultados similares quanto à atenuação do sinal.

Essa constatação é corroborada pela Figura 7, onde o enlace realizado pelo posto de recepção 5.1 em relação ao posto de transmissão mostra-se idêntico nos dois softwares. Por outro lado, o modelo ITU-R P.1546 do HTZ *Warfare* apresenta resultados divergentes em comparação aos outros dois modelos, tanto na Figura 8 quanto na Figura 9.

Ao observar o FSR (*Free Space Range*), notamos o seguinte:

a) Na Figura 8, a discrepância entre Longley-Rice e ITU-R P.525/526 é inferior a -10 dBm. Na Figura 9, essa variação oscila entre menos de -10 dBm em alguns casos e um máximo de -15 dBm.

b) Na Figura 8, os resultados fornecidos pelo modelo ITU-R P.1546 diferem em -20 dBm dos outros dois modelos, enquanto na Figura 9, a variação vai de -10 dBm a -25 dBm.

A partir dos valores apresentados nas figuras mencionadas, infere-se que os modelos de enlace do Radio Mobile e do HTZ *Warfare* apresentam, de fato, diferenças entre si, contudo, com variações modestas na atenuação do sinal. Dentre os modelos utilizados, todos operando sob as mesmas características de propagação do sinal, não se observou uma diferença notável em relação ao enlace realizado, especificamente entre os modelos Longley-Rice e ITU-R P.525/526, sendo este último um modelo mais atualizado.

O modelo ITU-R P.1546, por sua vez, demonstrou variações maiores, indicando que, embora seja um modelo robusto, pode apresentar discrepâncias significativas dependendo do contexto operacional e das condições específicas do enlace. Esta divergência pode ser atribuída à metodologia de cálculo diferenciada que o modelo ITU-R P.1546 emprega, considerando fatores adicionais e abordagens distintas em relação à propagação do sinal.

Os modelos Longley-Rice e ITU-R P.525/526 destacam-se por sua consistência e confiabilidade nas predições de atenuação do sinal, especialmente em cenários com terrenos irregulares e distâncias variadas. O ITU-R P.525/526, sendo um modelo mais recente, incorpora avanços tecnológicos e dados atualizados, conferindo-lhe uma precisão aprimorada.

A análise detalhada das figuras mostra que os modelos Longley-Rice e ITU-R P.525/526 são praticamente equivalentes em termos de predição de atenuação do sinal. Em contrapartida, o modelo ITU-R P.1546 apresenta variações maiores, o que pode ser atribuído a diferentes métodos de cálculo e a considerações específicas que este modelo incorpora. Essa diferença é particularmente evidente nas figuras que comparam a atenuação a 1 km e 10 km, onde o ITU-R P.1546 diverge significativamente dos outros dois modelos.

## **5 CONCLUSÃO**

A pesquisa desenvolveu uma análise comparativa, utilizando revisão bibliográfica e estudo de caso, entre os modelos de predição de enlace disponíveis no HTZ *Warfare* e no Rádio Mobile.

Ao longo do estudo, foram apresentadas as informações relevantes para a predição de enlace em cada ferramenta. Dados como topografia, estrutura morfológica do terreno, modelo de propagação empregado e características técnicas dos equipamentos permitiram o cálculo da recepção pelas ferramentas de predição de enlace.

Da análise dos resultados obtidos pelo HTZ *Warfare* e Rádio Mobile, e da comparação com os níveis de sinal alvo recebidos no teste, constatou-se por meio das medições

que a diferença de atenuação entre os três modelos, embora presente, não representa um resultado exorbitante no contexto do planejamento de predição de enlace. Os modelos mais atuais não substituem necessariamente o Longley-Rice, que pode ainda ser utilizado para fins didáticos no estudo da propagação, bem como para o planejamento e execução de uma operação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, O. *et al.* Dynamic orientation of receiver arrays using particles warm optimisation. **Electronics Letters**, v. 49, n. 21, p. 1313-1315, nov. 2013.

ATDI. **HTZ Warfare NG user manual**. Paris: ATDI, 2005.

BRANDONI, Marco; NOTARI, Roberto. TDOA-based localization in two dimensions: the bifurcation curve. **Fundcae**, v. 135, n. 1-2, p. 199-210, 2014.

FRANGOS, Panayotis; JAGGARD, Dwight; SAUTBEKOV, Seil; GEORGIEV, Georgi; SAVOV, Sara. Propagation of Electromagnetic Waves in Terrestrial Environment for Applications in Wireless Telecommunications. **International Journal of Antennas and Propagation**, p. 10, 2014.

IBÁÑEZ, Ismael Pellejero. **Manual de cálculo de cobertura com Rádio Mobile**. Madrid: Dirección General de Protección Civil y Emergencias de España 2009. Disponível em: [http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM\\_01.php](http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_01.php). Acesso em: 21 set. 2020.

ITU-R P.1546-6: **Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MH**. 2019.

ITUR P.526-15: **Propagation by diffraction**. 2019.

RIBEIRO, J. A. J. **Propagação das Ondas Eletromagnéticas, Princípios e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2004.

RICE, P. L.; LONGLEY, A. G.; NORTON, K. A.; BARSIS, A. P.: **Transmission Loss for Tropospheric Communications Circuits**. Boulder, Colorado: U.S. Department of Commerce; National Bureau of Standards, , 1965. v. 1.

SIQUEIRA, David, *et al.* **Location Techniques and Applications**. Burlington: Elsevier, 2009. 257 p.