

Estudo de Coeficientes de Difração Heurísticos para a Aplicação da UTD na Caracterização de Canais Rádio

Kleber L. Borges, Daniela N. Schettino e Fernando J. S. Moreira

Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia Eletrônica
Av. Pres. Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP 31270-901

Resumo—Este trabalho traz o estudo de alguns coeficientes de difração heurísticos para cunhas condutoras, para a caracterização de canais rádio através da teoria uniforme da difração. Tais coeficientes apresentam melhores resultados do que aquele proposto por Luebbers. Resultados são apresentados e comparados àqueles obtidos através de equações integrais, avaliadas pelo método dos momentos.

Palavras-chave—Teoria uniforme da difração, propagação de ondas de rádio.

I. INTRODUÇÃO

O estudo de propagação de ondas eletromagnéticas em ambientes urbanos, onde existem os mais diversos mecanismos de multipercurso, é uma tarefa bastante complexa. Nos últimos anos, diversas técnicas foram desenvolvidas para a previsão de cobertura em tais ambientes. Neste contexto, a UTD (*Uniform Theory of Diffraction*) tem se destacado, pois é uma técnica que exige um menor esforço computacional, podendo ser utilizada para prever a cobertura de grandes ambientes com um grande número de obstáculos.

Um coeficiente de difração heurístico muito utilizado, para cunhas com condutividade finita, foi proposto inicialmente por Luebbers [1],[2]. Tal coeficiente apresenta alguns problemas, principalmente quando a direção do raio difratado é próxima às paredes condutoras ($\phi_d \approx 0$ ou $n\pi$, de acordo com a Fig. 1). Este coeficiente apresenta também problemas associados à violação da reciprocidade [4]. Recentemente, foram propostas diferentes modificações neste coeficiente de Luebbers a fim de corrigir estes problemas [3],[4]. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios para os casos onde o coeficiente proposto por Luebbers falha.

Como em ambientes urbanos muitas vezes existem situações onde o receptor está posicionado como na Fig. 2, onde só existem raios com dupla difração, ou com uma única difração com direção de saída próxima às faces, as falhas nestes coeficientes tornam-se mais significativas. Surge então a necessidade de buscar um coeficiente heurístico que apresente o mínimo de erro nestas regiões.

Fernando J. S. Moreira, fernando@eee.ufmg.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela CAPES e CNPq.

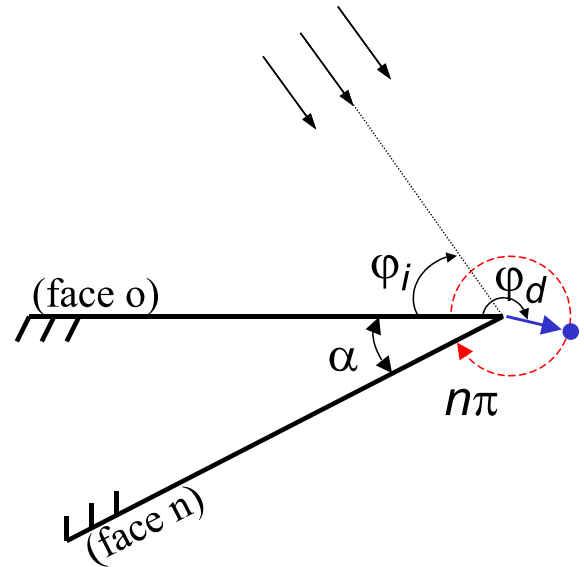


Fig. 1. Geometria utilizada para a caracterização da difração pela cunha.

II. TEORIA

Nesta seção, serão abordadas a formulação para o cálculo do coeficiente de difração proposto por Luebbers [1],[2] e as modificações propostas por Holm [3] e por Lavergnat [4] com maiores detalhes. Será apresentada também, uma nova proposta de coeficiente, composto de uma combinação entre as formulações estudadas.

A. Coeficiente de Difração Heurístico Proposto por Luebbers

O coeficiente de difração proposto para cunhas com perdas é escrito como [2]:

$$D = G_0(D_2 + R_0(\psi_0)D_4) + G_n(D_1 + R_n(\psi_n)D_3), \quad (1)$$

onde os coeficientes D_i são calculados como em [5]. Os termos R_0 e R_n são os coeficientes de reflexão calculados em relação às faces 0 e n , respectivamente, podendo assumir os valores:

$$R_s = \frac{\sin \psi_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \psi_i}}{\sin \psi_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \psi_i}} \rho, \quad (2)$$

$$R_h = \frac{\hat{\epsilon}_r \sin \psi_i - \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \psi_i}}{\hat{\epsilon}_r \sin \psi_i + \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \psi_i}} \rho, \quad (3)$$

correspondentes às polarizações paralela e perpendicular, respectivamente, onde:

- ϕ_i e ϕ_d são os ângulos dos raios incidente e difratado de acordo com a Fig. 1,
- $n\pi$ é o ângulo externo da cunha,
- $\psi_0 = \min(\phi_i, \phi_d)$,
- $\psi_n = \min(n\pi - \phi_i, n\pi - \phi_d)$,
- $\hat{\epsilon}_r = \epsilon_r - j\sigma/\omega\epsilon_0$,
- ρ é a rugosidade da superfície,
- σ é a condutividade da superfície.

O fator G em (1) é utilizado quando da incidência rasante e definido como em [2]. No presente trabalho, os efeitos da rugosidade serão desconsiderados ($\rho = 1$).

B. Modificação Proposta por Holm

Uma modificação no termo D_1 foi proposta em [3], de forma a estender o coeficiente de Luebbers para cunhas com $n < 1$. Note que em [3], os termos D_i estão invertidos em relação aos usualmente adotados [5]. Segundo Holm, não é mais necessário utilizar o fator G no caso de incidência rasante, e sim o fator 1/2 apenas. Assim, o coeficiente de difração proposto por Holm é descrito como:

$$D = R_0(\psi_0)R_n(\psi_n)D_1 + D_2 + R_n(\psi_n)D_3 + R_0(\psi_0)D_4, \quad (4)$$

onde os termos são os mesmos discutidos na Seção II-A. Utilizando este coeficiente, obteve-se um melhor comportamento do campo difratado onde a formulação anterior falha [3]. Esta técnica é aqui intitulada *Luebbers-Holm*.

C. Modificação Proposta por Lavergnat

Lavergnat propôs uma alteração na definição dos ângulos de incidência dos coeficientes de reflexão, sendo incorporada no coeficiente heurístico de Luebbers [4]. Os ângulos são agora descritos como:

$$\psi_0 = \psi_n = \min(\phi_i, \phi_d, n\pi - \phi_i, n\pi - \phi_d) \quad (5)$$

garantindo-se assim que

$$D(\phi_d, 0 \text{ ou } n\pi) = D(0 \text{ ou } n\pi, \phi_i) = 0. \quad (6)$$

Dessa forma, o coeficiente de difração passa a ser recíproco, ou seja, seu valor independe do raio incidir na face 0 ou n . Com a adoção destes ângulos, os resultados para o campo difratado apresentam uma melhoria significativa, principalmente nas direções com ângulo de incidência pequeno [4].

D. Novo Coeficiente Heurístico

O coeficiente proposto aqui é um híbrido entre as propostas feitas por Lavergnat e Holm. Neste caso, o coeficiente de difração é descrito como:

$$D = W_0 D_2 + R_0(\psi_0) D_4 + W_n D_1 + R_n(\psi_n) D_3, \quad (7)$$

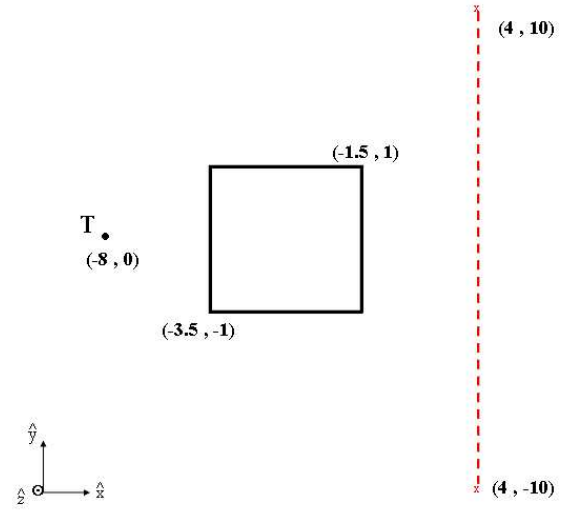


Fig. 2. Geometria do cilindro condutor de seção reta quadrada com 2 m de lado. As características elétricas do condutor são $\epsilon_r = 7$ e $\sigma = 0,2$ S/m.

onde

$$W_0 = \begin{cases} 1, & \phi_i < n\pi/2 \\ R_0 R_n, & \phi_i \geq n\pi/2 \end{cases}, \quad (8)$$

$$W_n = \begin{cases} R_0 R_n, & \phi_i < n\pi/2 \\ 1, & \phi_i \geq n\pi/2 \end{cases}, \quad (9)$$

e os ângulos ψ_i são calculados como em (5). Quando a incidência ocorre de forma rasante, o fator 1/2 é multiplicado ao coeficiente de difração. Esta técnica é aqui intitulada *Lavergnat-Holm*.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

Para verificar se este novo coeficiente realmente apresenta melhores resultados em relação aos propostos anteriormente, os casos analisados aqui serão comparados com o resultado obtido através de equações integrais. Estas são resolvidas utilizando o Método dos Momentos com condições de contorno do tipo Leontovich (MoM+IBC).

Inicialmente, vamos analisar o caso do cilindro da Fig. 2. A fonte é uma linha de corrente infinita, elétrica para a polarização TM e magnética para a TE, operando em 1 GHz. Neste caso, temos a coordenada y do receptor variando de -10 m a 10 m.

Os gráficos das Figs. 3 e 4 apresentam o valor normalizado da componente $\hat{z}$ do campo total U em relação à componente U_i do campo da linha de corrente, onde U representa o campo elétrico para o caso TM (Fig. 3) ou magnético para o caso TE (Fig. 4).

Para permitir uma melhor análise dos resultados obtidos, gráficos do erro percentual entre os métodos da UTD e o resultado de referência (MoM) são mais adequados, sendo apresentados nas Figs. 5 e 6 para os casos TM e TE, respectivamente. O intervalo de análise foi definido entre 0 e 4 m, por se tratar da região onde os erros são mais significativos. O erro relativo é calculado como:

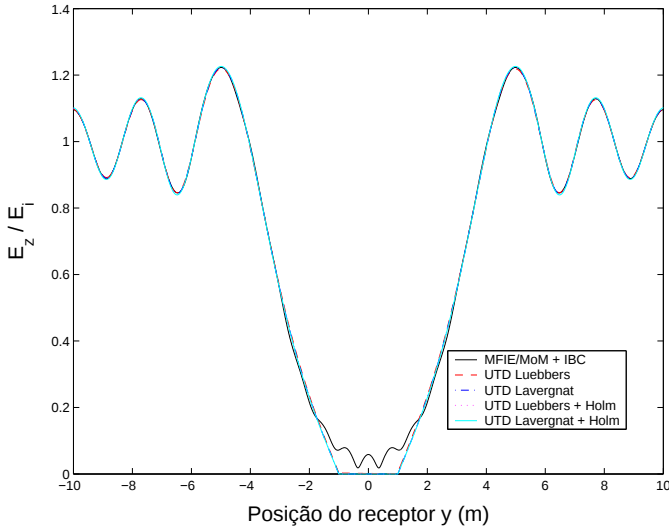


Fig. 3. Campo para a polarização TM.

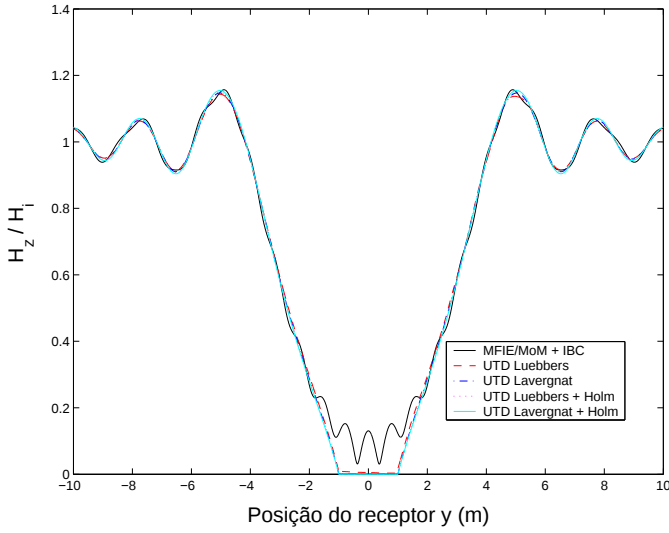


Fig. 4. Campo para a polarização TE.

$$\frac{U_{UTD} - U_{MoM}}{U_{MoM}} \times 100 (\%). \quad (10)$$

Os resultados obtidos na região entre 0 e 1m devem ser desconsiderados, pois não foi utilizado o termo correspondente à *slope diffraction* neste trabalho. Os campos obtidos através da UTD são calculados com duas difrações simples, resultando em um campo nulo nesta região. O coeficiente proposto apresentou menos erros quando o raio difratado sai com um ângulo quase rasante para a polarização TM, porém não apresentando uma melhora significativa nas outras regiões.

Agora vamos considerar os casos ilustrados pelas Figs. 7 e 9, representando uma idealização bidimensional de um ambiente urbano (por exemplo, o cruzamento entre duas ruas cercadas por prédios, com a antena transmissora situada em uma das ruas). Pelo fato dos sistemas de comunicação móvel utilizarem preferencialmente a polarização vertical, analisaremos apenas

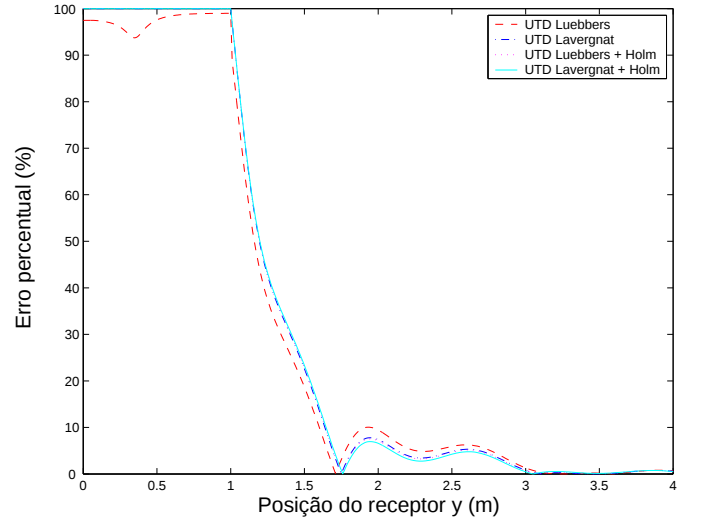


Fig. 5. Erro percentual entre os métodos baseados na UTD e no MoM (TM).

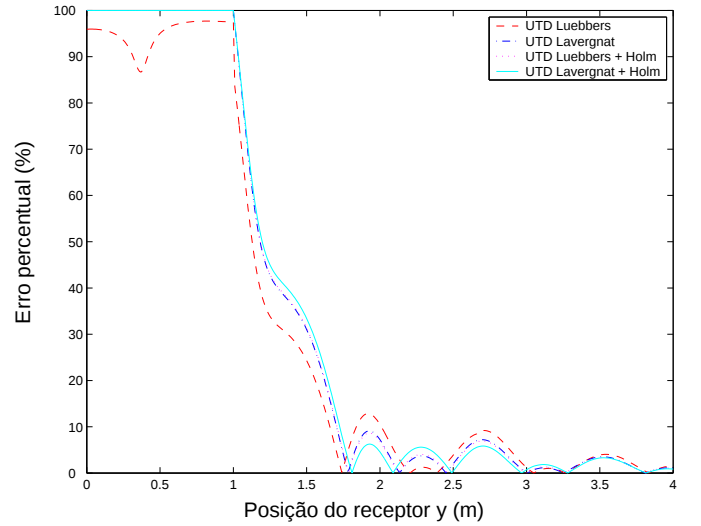


Fig. 6. Erro percentual entre os métodos baseados na UTD e no MoM (TE).

o caso TM. Foram considerados neste caso raios com até duas difrações e seis reflexões, sendo o transmissor uma linha de corrente elétrica infinita. O algoritmo de traçado de raios é discutido em [6].

A Fig. 8 mostra o campo normalizado para o caso da Fig. 7. Através dela, podemos ver que os coeficientes heurísticos não apresentam diferenças significativas entre si quando ocorre visibilidade direta.

Ainda com a mesma geometria, mas variando o receptor de acordo com a Fig. 9, obtém-se os resultados apresentados na Fig. 10, ainda para a polarização TM. Uma conclusão semelhante à do caso da Fig. 8 é obtida aqui, mesmo para os casos sem visibilidade direta.

Ainda com o objetivo de analisar os coeficientes heurísticos, vamos considerar o caso da cunha da Fig. 11, para a polarização TE. O transmissor é um dipolo de corrente elétrica na polarização vertical (em relação ao perfil), operando em 100 MHz.

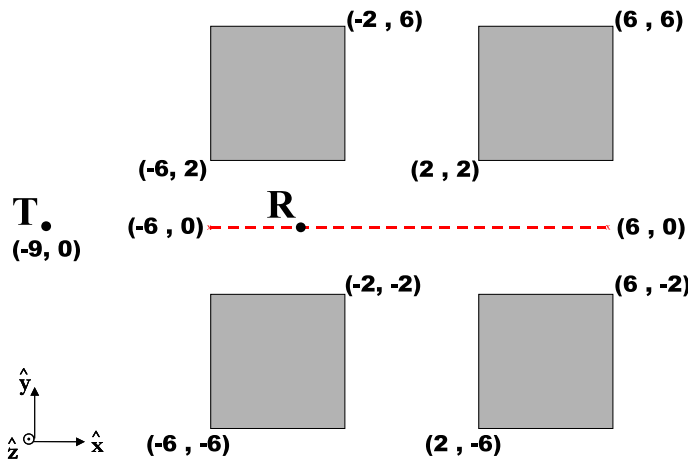


Fig. 7. Caso 1 - Quatro cilindros com seção reta quadrada de lado $L = 2\text{m}$, em 1GHz, com $\epsilon_r = 7$ e $\sigma = 0.2\text{S/m}$.

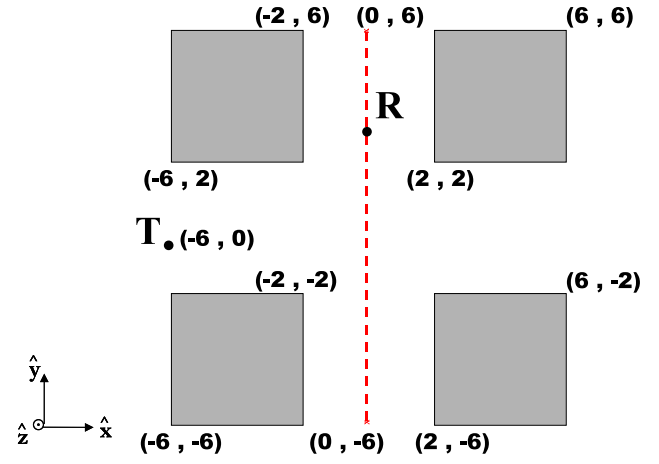


Fig. 9. Caso 2 - Quatro cilindros com seção reta quadrada de lado $L = 2\text{m}$, com $\epsilon_r = 7$ e $\sigma = 0.2\text{S/m}$. Frequência=1 GHz.

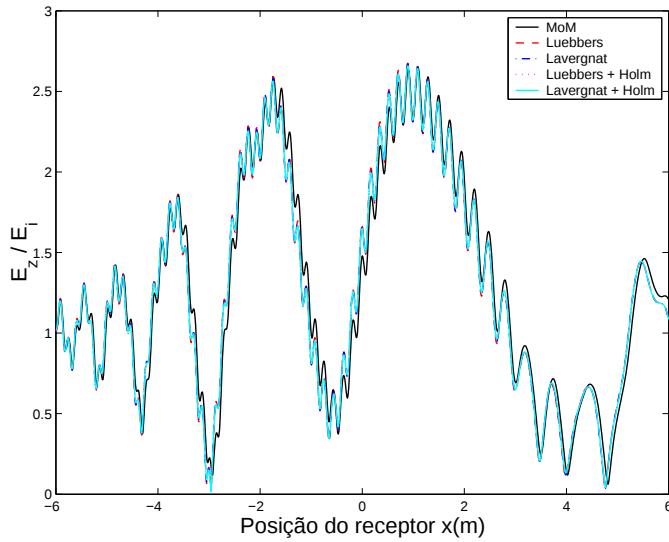


Fig. 8. Campo normalizado para a polarização TM - caso 1.

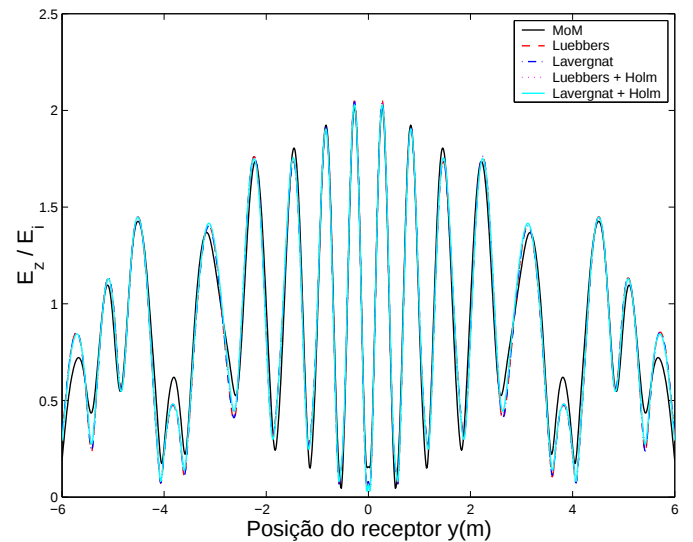


Fig. 10. Campo normalizado para a polarização TM - caso 2.

A altura do receptor varia de 0 a 160 m, de forma que este atravesse as fronteiras de sombra e de reflexão.

Com a Fig. 13, nota-se que de um modo geral, o coeficiente proposto por Holm [3] apresenta melhores resultados quando o receptor se encontra na região de sombra, no entanto, na região iluminada o coeficiente proposto inicialmente por Luebbers [2] é o mais indicado.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre um coeficiente de difração que pudesse ser utilizado com as mais diversas configurações geométricas, sendo assim indicado para o cálculo de campo em ambientes urbanos. Foi proposto um novo coeficiente, correspondendo a um híbrido entre os coeficientes propostos por [3],[4], que não apresentou melhorias significativas em relação aos propostos por Holm

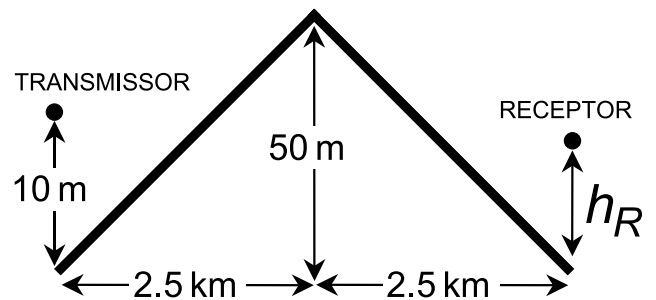


Fig. 11. Atenuação causada por uma cunha com $\epsilon_r = 15$ e $\sigma = 0.012\text{S/m}$. Frequência=100 MHz.

e Lavergnat, mantendo erros menores que 1dB para o caso do cilindro (Fig. 2). No entanto, não foram analisados aqui

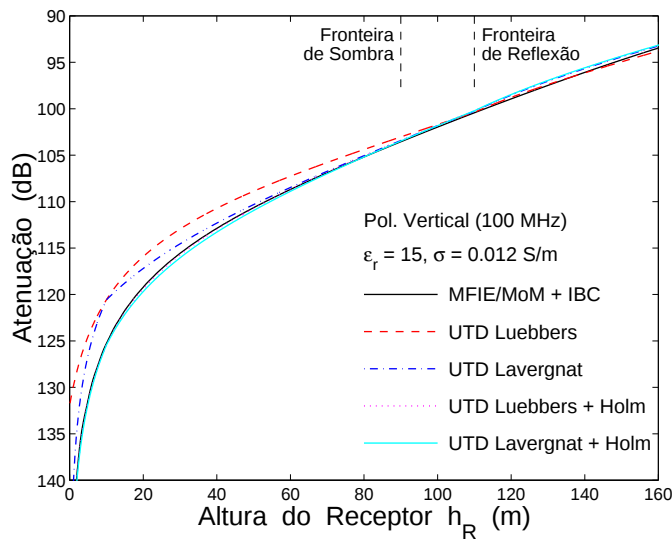


Fig. 12. Atenuação para a polarização TE.

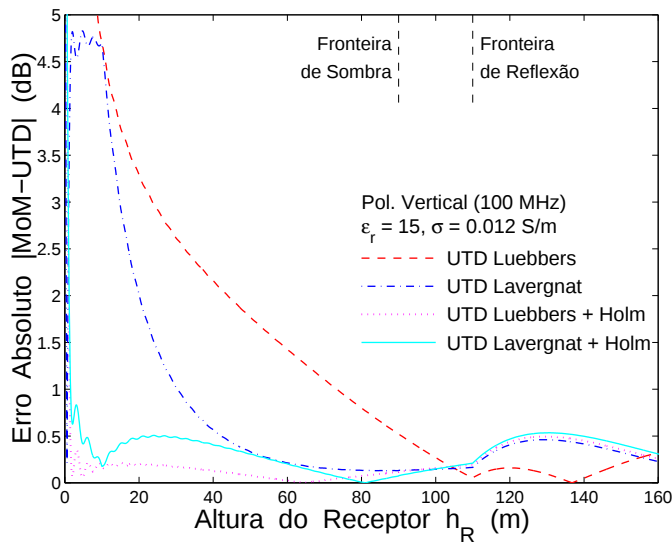


Fig. 13. Erro absoluto entre os métodos baseados na UTD e a referência, para a polarização TE.

os efeitos deste novo coeficiente quando se utiliza o termo da *slope diffraction* e a difração em arestas com ângulos internos maiores que 180° , o que poderia evidenciar maiores diferenças entre os coeficientes. Considerações relativas a este termo serão feitas em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] Raymond J. Luebbers, "Finitivity Conductivity Uniform GTD Versus Knife Edge Diffraction in Prediction of Propagation Path Loss", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 32, pp. 70–76, Jan. 1984.
- [2] Raymond J. Luebbers, "A Heuristic UTD Slope Diffraction Coefficient for Rough Lossy Wedges", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 37, pp. 206–211, Feb. 1989.
- [3] Peter D. Holm, "A New Heuristic UTD Diffraction Coefficient for Non-perfectly Conducting Wedges", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, pp. 1211–1219, Aug. 2000.

- [4] M. Aïdi and J. Lavergnat, "Comparison of Luebbers' and Maliuzhinets' wedge diffraction coefficients in urban channel modelling", *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 33, pp. 1–28, 2001.
- [5] R. F. Kouyoumjian, and P. H. Pathak, "A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for an Perfectly Conducting Surface", *Proc. IEEE*, vol. 62, pp. 1448–1461, Nov. 1974.
- [6] D. N. Schettino, "Técnicas Assintóticas para a Predição de Cobertura Radioelétrica," Dissertação de Mestrado, CPDEE / UFMG, Março 2002.