Brazilian Journal of Development

Uma proposta multidiciplinar para cálculo numérico: otimização de parâmetros de modelos de radiopropagação

A multidiciplinary proposal for numerical calculation: optimization of parameters of radiopropagation models

DOI:10.34117/bjdv6n2-157
Recebimento dos originais: 30/12/2019
Aceitação para publicação: 14/02/2020

Andreia Vanessa Rodrigues Lopes
Engenheira da Computação pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Al. Tucumã, 02 – Mangueirão, Belém – PA, Brasil.
E-mail: andreia.lopes@itec.ufpa.br

Iury da Silva Batalha
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Vila Cruzeiro, 34 – Curió-Utinga, Belém – PA, Brasil.
E-mail: iurybatalha@gmail.com

Cristiane Ruiz Gomes
Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Travessa Curuzu, 1810, apto 1003 – Marco, Belém – PA, Brasil.
E-mail: criz.ruiz.gomes@gmail.com

Victor Hugo Barata de Magalhães
Engenheiro de Telecomunicações pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Pass Rosa Vermelha, 187 – Guanabara, Ananindeua – PA, Brasil.
E-mail: victorhugo-45@hotmail.com

Jasmine Priscyla Leite de Araújo
Pós-Doutora pelo Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores da Universidade do Porto-INESC-TEC.
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá, Belém – PA, Brasil.
E-mail: jasmine.araujo@gmail.com

Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá, Belém – PA, Brasil.
E-mail: gervasio@ufpa.br

RESUMO
O presente trabalho aborda aplicações de Mínimos Quadrados Lineares para motivar o aprendizado da disciplina de Cálculo Numérico. Aproximação de curvas de propagação em ambientes indoor e outdoor são algumas das aplicações possíveis desta técnica para as telecomunicações. O foco do trabalho, é a aplicação da técnica em problemas reais, para instigar a curiosidade do aluno e deixa-lo apto para resolver os mais variados problemas de forma rápida e com valores ótimos. Será descrito o uso da técnica e estudos de casos para modelagem de canal de radiopropagação para consolidar o uso da mesma.

Palavras-chave: Metodologia de ensino em engenharia, Mínimos quadrados lineares, Otimização, Radiopropagação.

ABCTRACT
The present work addresses applications of Linear Least Squares to motivate the learning of the discipline of Numerical Calculus. Approximation of propagation curves in indoor and outdoor environments are some of the possible applications of this technique for telecommunications. The focus of the work is the application of the technique to real problems, to instill the student's curiosity and leave him able to solve the most varied problems quickly and with optimal values. The use of the technique and case studies for radiopropagation channel modeling will be described to consolidate its use.

Keywords: Engineering teaching methodology, Linear least squares, Optimization, Radiopropagation.

1 INTRODUÇÃO

Ao resolver um problema matemático numericamente, o mais comum é a utilização de um pacote computacional. Contudo uma série de decisões precisarão ser tomadas antes de resolver esse problema. E para tomar essas decisões, é necessário ter o conhecimento de métodos numéricos. A escolha de um método dependerá do problema a ser estudado, a fim de obter a solução ótima do mesmo. As vantagens que cada método oferece e suas limitações são avaliadas através da aproximação da função objetivo. Todas essas decisões são abordadas e estudadas na disciplina de Cálculo Numérico (BARROSO et *al.*, 1987).

Um dos objetivos da disciplina de cálculo numérico é analisar a influência dos erros introduzidos nas aproximações construtivas de problemas matemáticos, algébricos e diferenciais e a implementação computacional eficiente dos respectivos métodos de aproximação (RUGGIERO & LOPES, 1997). Um desses métodos de aproximação, é o de Mínimos Quadrados Lineares (MQL), que é utilizado na aproximação de curvas através da resolução numérica de sistemas de equações lineares algébricas.

Afim de motivar o aprendizado do aluno na disciplina de Cálculo Numérico, este trabalho objetiva propor o uso da técnica de MQL como uma forma de otimizar e estimar parâmetros em modelos de radiopropagação, mostrando o uso da mesma em estudos de caso para ajuste de modelos de radiopropagação em ambientes *indoors* e *outdoors*.

A disciplina de Cálculo Numérico será brevemente abordada na Seção 2; a Seção 3 mostrará o uso de MQL como motivação de aprendizagem; A Seção 4 apresentará a técnica de MQL; estudos de caso aplicados à técnica serão abordados na Seção 5 e a Seção 6 conclui este trabalho.

2 A DISCIPLINA DE CÁLCULO NUMÉRICO

A disciplina é introdutória, no sentido amplo e moderno de análise numérica e computação científica, com base em matemática (Ruggiero & Lopes, 1997). Introduzindo os fundamentos dos métodos numéricos básicos utilizados na solução de problemas matemáticos, algébrico e diferenciais, de caráter linear ou não linear, que aparecem de forma comum nas engenharias e ciências puras e aplicadas (HUMES et *al*., 1984).

O cálculo numérico corresponde a um conjunto de ferramentas ou métodos usados para se obter a solução de problemas matemáticos de forma aproximada. Métodos esses que se aplicam principalmente a problemas que não apresentam uma solução exata e assim, precisam ser resolvidos numericamente (BARROSO et *al., 1987*).

2.1 A EMENTA

A ementa da disciplina foca em apresentar os diversos métodos numéricos utilizados na solução de problemas matemáticos que aparecem comumente nas engenharias e ciências aplicadas, promovendo a utilização de pacotes computacionais, analisando a influência de erros e implementação computacional destes métodos.

Dentre esses métodos cita-se os algoritmos para resoluções de problemas numéricos com estudo de erros, os zeros de funções, sistemas de equações lineares e suas resoluções, interpolação, integração numérica, tratamento numérico de equações diferenciais e ajuste de curvas onde é estudada a técnica de MQL como uma forma de aproximação e estimativa de parâmetros.

2.2 OBJETIVO DA DISCIPLINA

Os principais objetivos são a apresentação dos diversos métodos numéricos para a resolução de diversos problemas matemáticos mostrando a essência de um método numérico, a diferença em relação às soluções analíticas, as situações onde devem ser aplicados, as vantagens de utilização de um desses métodos e as limitações na aplicação dos mesmos tomando assim a confiabilidade da solução obtida através deles.

2.3 HABILIDADES ADQUIRIDAS AO TÉRMINO DA DISCIPLINA

Ao término da disciplina a aluno estará familiarizado com a análise matemática de modelos, mostrando o seu lado prático e a utilidade do mesmo no dia-a-dia do engenheiro. Revendo conceitos já vistos, exercitando e utilizando-os de maneira prática e com o auxílio de ferramentas aprendidas por ele. Estará apto a desenvolver e utilizar métodos numéricos, mostrando como calcular esses métodos em computadores ou calculadoras.

Ao se deparar com um problema cuja solução dependa de um método numérico que não foi visto na disciplina, o aluno poderá solucioná-lo a partir de outros métodos vistos. E será capaz de encontrar a literatura pertinente, estudar o método e aprender a utilização de maneira conceitual e prática por conta própria.

3 USO DE MQL PARA MOTIVAR A APRENDIZAGEM

Nesta seção é apresentado o uso da técnica aplicada a resolução de problemas reais, afim de motivar a aprendizagem do aluno na disciplina de cálculo numérico.

Esta técnica é clássica, introdutória, de fácil compreensão e serve como um estímulo ao aluno a aprendê-la para aplica-la em problemas reais. E os usos dela em modelos de radiopropagação são mostrados na Seção 5.

Por ser uma técnica introdutória ela pode ser aplicada em diversas áreas para dedução de uma relação matemática entre as variáveis que estão sendo medidas e os dados experimentais, como por exemplo, em (MOTULSKY & CHRISTOPOULOS, 2003) que utilizou a técnica para analisar dados biológicos. Ou na área de redes em (LOPES, 2008) onde através da técnica foi feito um algoritmo distribuído, cooperativo e capaz de responder em tempo real às mudanças no ambiente de rede.

4 MQL PARA OTIMIZAÇÃO DE MODELOS

Segundo (Garnés *et.* al., 1997), este método tem se transformado no principal método de ajuste de observações, desde a sua aplicação pioneira e de maneira independente por Gauss (1809) e Legendre (1806). A ideia central é reduzir ao máximo a soma dos quadrados das diferenças entre os valores reais e os valores estimados, obtendo assim o melhor ajuste para a função de aproximação, ou seja, a estimação ótima. A minimização dos quadrados dos resíduos, também conhecidos como função objetivo. A função objetivo é representada pela Equação (1). Onde L_i representa os valores reais e Y_i os valores estimados.

$$f_{obj} = \sum_{i=1}^{N} (L_i - Y_i)^2 \quad (1)$$

O ajuste de parâmetros pela solução de MQL pode ser realizado pela utilização de derivadas parciais ou através da utilização de notações matriciais.

4.1 A FORMA DE DERIVADAS PARCIAIS

Buscando a minimização da função objetivo pode-se tomar como exemplo o polinômio representado pela Equação (2).

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (2)$$

A ideia básica para a função citada na Equação (2) é estimar valores de determinada variável Y, considerando assim os valores de outra variável X. Onde α é um parâmetro do modelo chamado de constante pois não depende de x, β é um parâmetro do modelo chamado de coeficiente da variável x e ε representa a variação de Y que não é explicada pelo modelo, que também pode ser chamada de erro.

De posse de uma base de dados com N valores observados de Y e x, pode-se perceber que essas variáveis são vetores, ou seja, representam uma lista de valores, um para cada observação da base de dados.

A técnica minimiza a soma dos quadrados dos resíduos, e substituindo (2) em (1) obtemos a Equação (3).

$$S(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \alpha - \beta X_i)^2 \quad (3)$$

A minimização se dá ao derivar parcialmente $S(\alpha, \beta)$ em relação a α e β utilizando a regra da cadeia e então, igualando a zero. Os processos de cálculo serão mostrados nas Equações (4) - (8).

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = \frac{\partial S}{\partial x} * \frac{\partial S}{\partial \alpha} \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial x} = 2 \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \alpha - \beta X_i) \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = -1 \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = -2 \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \alpha - \beta X_i) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = -2 \sum_{i=1}^{N} X_i (Y_i - \alpha - \beta X_i) = 0 \quad (8)$$

Após distribuição e divisão de (7) por $2n$ obtêm-se as Equações (9) - (12).

$$\frac{-2\sum_{i=1}^{N} Y_i}{2n} + \frac{2\sum_{i=1}^{N} \alpha}{2n} + \frac{2\sum_{i=1}^{N} \beta X_i}{2n} = \frac{0}{2n} \tag{9}$$

$$\frac{-\sum_{i=1}^{N} Y_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{N} \alpha}{n} + \frac{\beta \sum_{i=1}^{N} X_i}{n} = 0 \tag{10}$$

$$-\bar{y} + \alpha + \beta\bar{x} = 0 \tag{11}$$

$$\alpha = \bar{y} - \beta\bar{x} \tag{12}$$

Onde $\bar{y}$ é a média amostral de Y e $\bar{x}$ a média amostral de X. E substituindo (12) em (8), resulta nas Equações (13) - (16).

$$-2\sum_{i=1}^{N} X_i\,(Y_i - \bar{y} + \beta\bar{x} - \beta X_i) = 0 \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^{N}[X_i(Y_i - \bar{y}) + X_i\beta(\bar{x} - X_i)] = 0 \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_i(Y_i - \bar{y}) + \beta \sum_{i=1}^{N} X_i(\bar{x} - X_i) = 0 \tag{15}$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i(Y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N} X_i(\bar{x} - X_i)} \tag{16}$$

Encontrando assim os valores de α e β.

4.2 A FORMA MATRICIAL

Outra forma de representar a solução por mínimos quadrados é a utilização de notações matriciais. Esta forma de solução é a mais utilizada para estimar parâmetros de modelos de radiopropagação por ser de fácil implementação em softwares computacionais de simulação e desenvolvimento, como por exemplo, o *MATLAB©*.

Tomando como exemplo o polinômio mostrado anteriormente em (2), são definidas as matrizes que compõem o sistema de equações normais mostradas em (17).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_i \\ \vdots & \vdots \\ 1 & X_1 \end{bmatrix} \; x = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \; B = \begin{bmatrix} L_1 \\ \vdots \\ L_i \end{bmatrix} \tag{17}$$

Resolvendo (17) a solução formal por mínimos quadrados é formulada através da Equação (18).

$$x = (A^T A)^{-1} A^T B \qquad (18)$$

O vetor x representa a solução encontrada para α e β.

5 ESTUDO DE CASO – MODELAGEM DE CANAL DE RADIOPROPAGAÇÃO

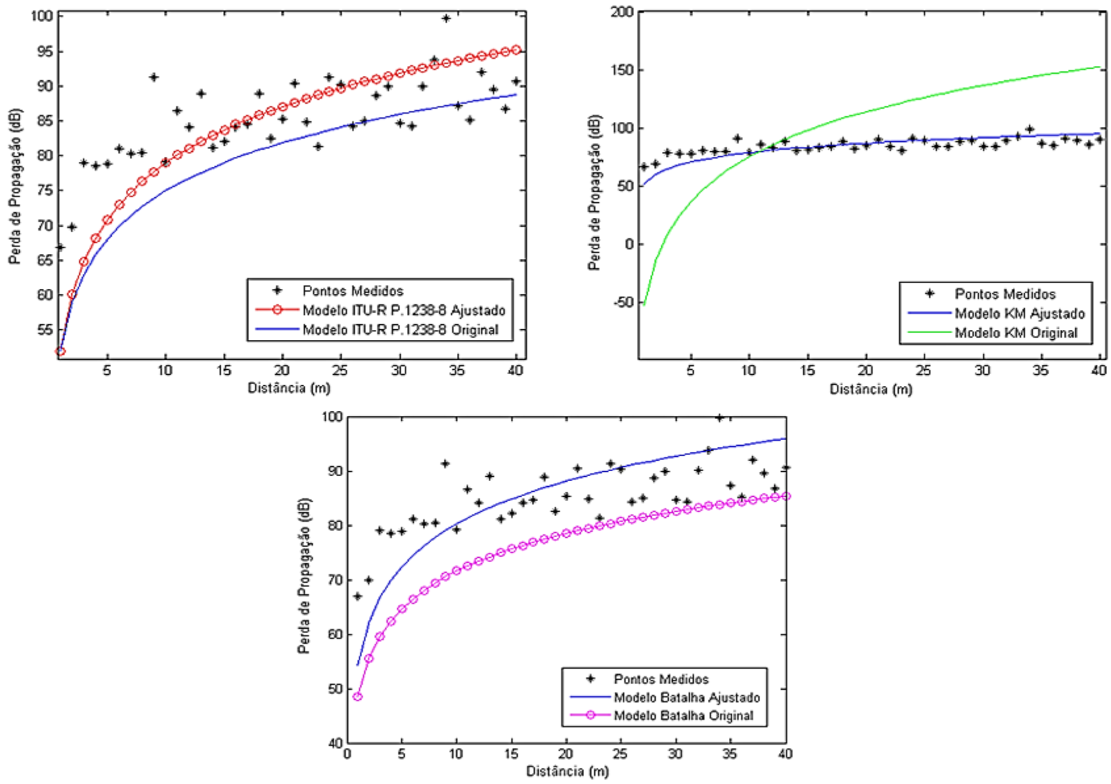
Nesta seção serão abordados estudos de caso onde o uso da técnica na sua formal matricial, possibilitou encontrar valores e ajustar modelos de propagação *indoor* e *outdoor*.

5.1 OTIMIZAÇÃO DE COEFICIENTE DE PERDA DE PROPAGAÇÃO COM A DISTÂNCIA PARA MODELOS NA FAIXA DE 10 GHZ.

Em (LOPES et al., 2017) a técnica de mínimos quadrados na forma de cálculo matricial foi utilizada para encontrar o valor ótimo de (*N)* para os modelos ITU-R P.1238-8, Keenan e Motley e Batalha para a faixa de 10 GHz.

A Figura 1 apresenta a comparação do comportamento dos modelos originais com os modelos acrescidos do novo valor de *N* encontrados com a técnica.

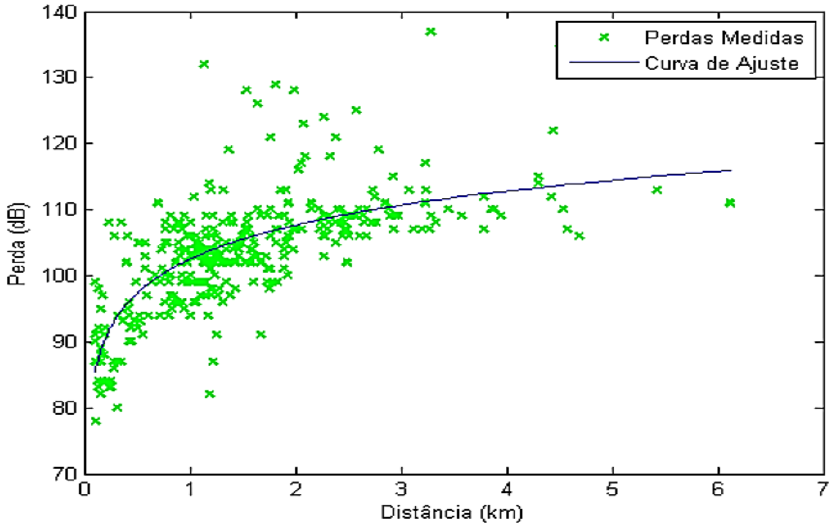
Figura 1 – Comparação entre modelos originais e modelos ajustados.



5.2 OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE ÍNDICES DE FREQUÊNCIA E DISTÂNCIA PARA MODELOS DE RADIOPROPAGAÇÃO OUTDOOR NA FAIXA DE 5,8 GHz.

Em (CASTRO et al., 2010) a técnica de mínimos quadrados foi utilizada para estimar valores de índices de frequência e distância nas equações dos modelos COST231-Hata e SUI para faixas de 5,8 GHz em cidades da região amazônica. E de posse dos valores desses índices foi possível comparar o desempenho dos dois modelos. O comportamento da média dos pontos medidos e o ajuste obtido através da técnica é mostrada na Figura 3.

Figura 2 - Curva de Ajuste dos dados coletados nas 12 cidades em estudo.

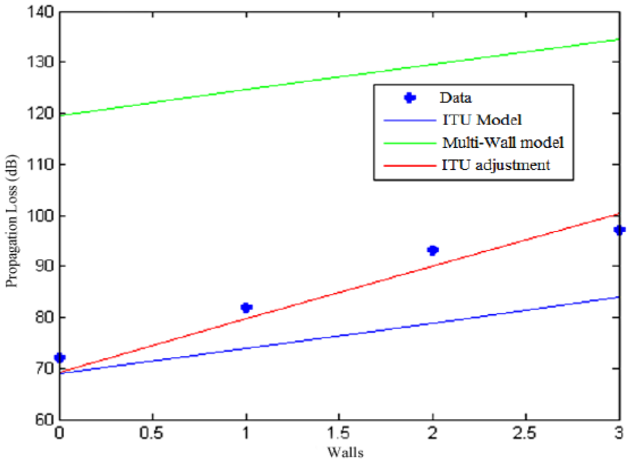


5.3 OTIMIZAÇÃO DE COEFICIENTE DE PERDA DE QUALIDADE DE VÍDEO EM PSNR AO ATRAVESSAR PAREDES E AJUSTE AO MODELO ITU-R P.1238-7 PARA A FAIXA DE 2,4 GHz.

Objetivo de (BATALHA et al., 2015) é predizer a perda de qualidade de vídeo em PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) relacionado ao número de paredes atravessadas, distância e potência recebida em transmissão de um *stream* de vídeo através de uma rede WLAN. Para predizer esta perda são propostos dois modelos, um para o padrão IEEE 802.11n e o outro para o padrão IEEE 802.11g e também um ajuste ao modelo ITU-R P.1238-7 onde a contribuição seria um novo fator à equação que indicaria a perda de potência do sinal ao atravessar paredes. Tanto a perda de qualidade de vídeo levando em conta a PSNR quanto o ajuste ao modelo ITU-R P.1238-7 foram modeladas através da técnica de mínimos quadrados.

Brazilian Journal of Development

Figura 3 - Comparação entre modelos empíricos e modelo ajustado.

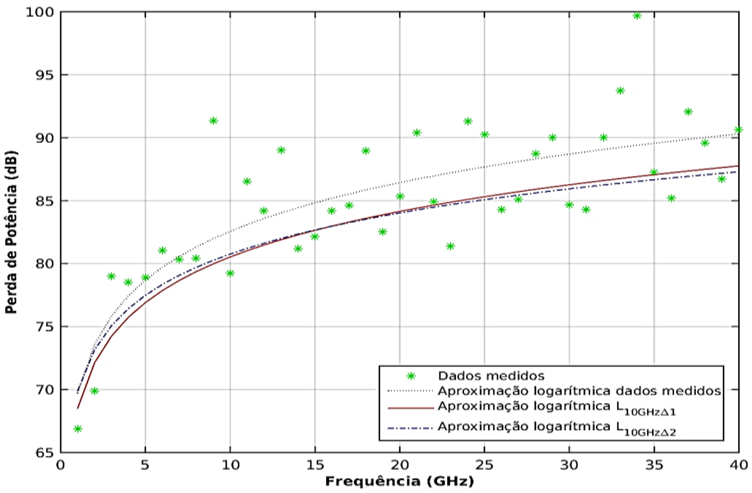


5.4 OTIMIZAÇÃO DE COEFICIENTE DE EXTRAPOLAÇÃO E PERDA DE POTÊNCIA MODELO NA FAIXA DE 10 GHz.

Em (MATOS et al., 2016) foi estudado o comportamento do sinal na faixa de frequência de 10 GHz e analisado através de estimativas e aproximações logarítmicas de dados na faixa de 2,4 GHz e 5,8 GHz, propondo um modelo de extrapolação para a faixa de 10 GHz. A técnica de mínimos quadrados foi aplicada para estimar as aproximações logarítmicas nas faixas de frequência de 2,4 GHz e 5,8 GHz. E assim estimar os valores de coeficientes de extrapolação e perda de potência para a faixa de frequência de 10 GHz.

Os valores extrapolados para perda de potência no cenário estudado e a tendência logarítmica dos dados medidos para a faixa de 10 GHz são mostrados na Figura 5.

Figura 4 - Aproximação da potência recebida para frequência de 10 GHz.



6 CONCLUSÕES

Na disciplina de Cálculo Numérico são estudados métodos numéricos utilizados na solução de problemas, analisando a influência de erros e implementação computacional destes métodos. Este artigo apresentou estudos de caso onde é possível ratificar que a técnica em estudo é eficiente na predição ou aproximação de valores para ajustar modelos e/ou outros sistemas matemáticos. Levando em consideração também, que a mesma pode ser utilizada para os mais diversos campos de estudo.

Esta técnica pode ser implementada em ferramentas de simulação e desenvolvimento de aplicações de forma estruturada, como por exemplo, o *MATLAB*©. Levando pouco tempo de processamento e possibilitando visualmente acompanhar o comportamento dos dados e assim modelá-los e estrutura-los.

Futuramente, espera-se discutir outras aplicações em telecomunicações para outras técnicas computacionais incluindo técnicas tradicionais e bioinspiradas como motivação para o ensino de engenharia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Comunicação sem fio (INCT-CSF), Universidade Federal do Pará (UFPa) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por seu apoio.

REFERÊNCIAS

BARROSO, Leônidas Conceição; BARROSO, Magali Maria de Araújo; FILHO, Frederico Ferreira Campos; CARVALHO, Márcio Luiz Bunte de; MAIA, Miriam Lourenço: Cálculo Numérico com aplicações. 2. ed. São Paulo: HARBRA Ltda, 1987.

BATALHA, I.S; CASTRO, B.S.L; LOPES, A.V.R.; PELAES, E.G; CAVALCANTE, G.P.S. Cross-Layer Modeling for Video Quality Loss on WLANs. Anais: European Conference on Antennas and Propagation-EUCAP. Lisboa, 2015.

CASTRO, B.S.L; GOMES, I.R.; RIBEIRO, F.C.J; CAVALCANTE, G.P.S. COST231-HATA and SUI Models Performance Using a LMS Tuning Algorithm on 5.8GHz in Amazon Region Cities. Anais: European Conference on Antennas and Propagation-EUCAP. Barcelona, 2010.

CASTRO, Bruno Souza Lyra; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Modelo de Propagação para Redes sem fio fixas na banda de 5,8 GHz em cidades típicas da região Amazônica, 2010. 46p, il. Dissertação (Mestrado).

GARNÉS, S.J.A; SAMPAIO, R.J.B; DALMOLIN, Q. Ajustamento paramétrico por mínimos quadrados. Anais: Congresso Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 1997.

HUMES, Ana Flora P de Castro; MELO, Inês S. Homem de; YOSHIDA, Luzia Kazuko; MARTINS, Wagner Tunis: Noções de Cálculo Numérico. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1984.

LOPES, A.V.R; BATALHA, I.S; GOMES, C.R; CAVALCANTE, G.P.S. Proposal of improvement of propagation models to 5G by calculating optimal value of their propagation loss coefficients. Anais: XXXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC2017. Belém, 2017.

MARINELLI, Maura Ferreira; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Métodos de Quadrados Mínimos, 2002. 79p, il. Monografia (Trabalho de conclusão de Curso).

MATOS, E.M.C; COSTA, T.A; BATALHA, I.S; SILVA, D.K.N; CASTRO, B.S.L; CAVALCANTE, G.P.S; PELAES, E.G. Modelo de extrapolação para perda de propagação para frequência de 10GHz em ambiente indoor. Anais: XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT2016. Santarém, 2016.

MEISTER, David; UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Departamento de Engenharia Elétrica. Aplicação do Método dos Mínimos Quadrados na estimação de parâmetro do modelo de um transformador, 2006. 108p, il. Dissertação (Mestrado).

MOTULSKY, Harvey; CHRISTOPOULOS, Arthur. Fitting Models to biological Data using Linear and Nonlinear Regression: A pratical guide to curve fitting. 1 ed. San Diego: GraphPad, 2003.

PALLARDÓ, Gema Roig; UNIVERSITY OF GÄVLE, Department of Technology and Built Environment. On DVB-H radio frequency planning: Adjustment of a propagation model through measurement campaign results, 2008. 73p, il. Dissertação (Mestrado).

RUGGIERO, Márcia A. Gomes; LOPES, Vera Lúcia da Rocha. Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997.