



**Editais N° 15/2008 – MCT/CNPq/FNDCT/CAPES/
FAPEMIG/ FAPERJ/FAPESP
INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
(Tema: Tecnologias da Informação e Comunicação)**

Atividades do GAPTEM / UFMG 2011-2013



Grupo de Antenas, Propagação e Teoria Eletromagnética (GAPTEM)
Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT)
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Índice:

1. Apresentação do GAPTEM (Grupo de Antenas, Propagação e Teoria Eletromagnética) da UFMG	3
2. Atividades de Pesquisa Realizadas pelo GAPTEM/UFMG	5
3. Atividades de Extensão (Prestação de Serviços).....	14
4. Orientações Acadêmicas	15
5. Produção Científica no Trênio 2011-2013	16

1. Apresentação do GAPTEM (Grupo de Antenas, Propagação e Teoria Eletromagnética) da UFMG

O GAPTEM conta com a participação de professores do Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT), de alunos de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica e de alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG. As atividades do GAPTEM são voltadas para o ensino, pesquisa e extensão nas áreas de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado, visando a solução de problemas de engenharia envolvendo síntese e análise de antenas e de dispositivos de microondas, caracterização da propagação radioelétrica e do canal rádio, previsão de desempenho de sistemas de comunicação sem fio, e a criação de ferramental teórico e numérico dedicado à solução de tais problemas.

As atividades de pesquisa desenvolvidas pelo GAPTEM levaram ao estabelecimento de parcerias e projetos com outros grupos de pesquisa no Brasil. Entre os projetos de pesquisa estabelecidos destacam-se: Chamada Pública MC/MCT/FUNTTTEL/FINEP nº 01/2004 referente ao Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), Carta-Convite MC/MCT/FUNTTTEL nº 15/2004, para a caracterização do Canal de RF (em parceria com o CETUC/PUC-Rio); CAPES (PROCAD 0377058) – Modelagem de Antenas e do Canal de Rádio para Comunicações Celulares (em parceria com o CETUC/PUC-Rio); CAPES (EDITAL RH – TVD No 01/2007) – Pesquisa e Ensino de Antenas e Propagação de Ondas de Rádio Aplicados a Sistemas de TV Digital (em parceria com o CETUC/PUC-Rio e a UFPA); e o atual INCT CSF, em parceria com o CETUC/PUC-Rio, a UFPA e a UFRN.

Em 2012 o GAPTEM passou a executar estudos de relevância para a instalação de Estações Rádio-Base (ERB's) de diversas operadoras do Serviço de Comunicação Móvel Celular. Esta é uma atividade de prestação de serviços solicitada pelas operadoras, em atendimento aos ordenamentos da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) de Belo Horizonte, MG.

O GAPTEM/UFMG conta atualmente com 2 professores (ambos Bolsistas de Produtividade em Pesquisa do CNPq) e 6 alunos de Pós-Graduação (4 deles Doutorandos). Durante o triênio 2011-2013 foram defendidas e aprovadas 1 Tese de Doutorado e 5 Dissertações de Mestrado. Durante o mesmo triênio foram publicados ou aceitos para publicação 13 artigos em periódicos, 18 artigos em congressos e 1 capítulo de livro.



Prof. Cássio Gonçalves do Rego



Prof. Fernando José da Silva Moreira



Laboratório de análises numéricas do GAPTEM/UFMG

2. Atividades de Pesquisa Realizadas pelo GAPTEM/UFMG

Durante o triênio 2011-2013, o GAPTEM/UFMG realizou as seguintes atividades de pesquisa:

2.1- Medidas em ondas médias, VHF e UHF para aplicações na implementação de sistemas de rádio digital no Brasil

2.1.1 Campanha de Medidas de 2012:

A campanha de medição em 2012 complementou a campanha realizada em 2010 para avaliação do sistema DRM+. Em 2012, a campanha de medição para avaliação do sistema HD Radio foi realizada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, envolvendo duas estações de radiodifusão FM: Rádio UFMG Educativa e Rádio Itatiaia Ltda. A Rádio UFMG é uma emissora de caráter educativo da UFMG, com estação transmissora localizada no município de Contagem. A emissora opera em baixa potência, trabalhando com 1,5 kW na frequência de 104,5 MHz. A Rádio Itatiaia possui transmissor localizado em Belo Horizonte e constitui-se numa das emissoras mais tradicionais do estado de Minas Gerais. A potência de transmissão utilizada é de 30 kW, sintonizada em 95,7 MHz.

Os testes ocorreram em etapas distintas, de acordo com o seguinte cronograma:

- Etapa 1: Rádio UFMG
Instalação dos equipamentos HD Radio e testes iniciais: abril de 2012
- Etapa 2: Rádio Itatiaia
Instalação dos equipamentos HD Radio e testes iniciais: maio de 2012

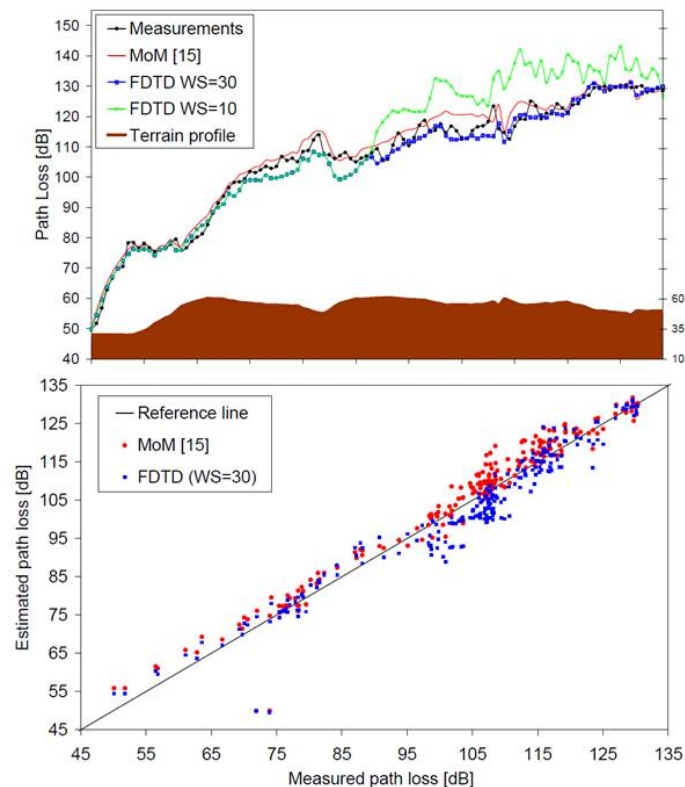
Para a transmissão simultânea HD Radio digital e FM analógico, instalou-se nas estações transmissoras um conjunto antena-transmissor específico para o sinal digital. O modelo e a posição da antena foram escolhidos na tentativa de equiparar a cobertura digital com a analógica existente. Os parâmetros para a irradiação do sinal combinado foram: espaçamento $\Delta F = 200$ kHz para ambas as emissoras, relação de proteção $\Delta P = 13,7$ dB para a Rádio UFMG e $\Delta P = 19,8$ dB para a Rádio Itatiaia. O resumo das características das estações é exibido na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros das estações transmissoras.

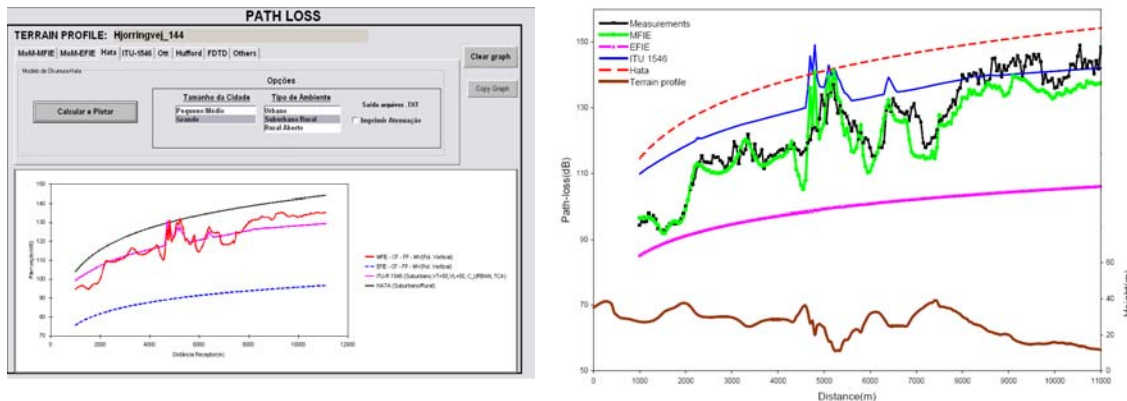
Rádio UFMG Educativa		
Localização	Latitude: 19° 55' 11" S	Longitude: 44° 0' 48 W
	Sistema Analógico	Sistema Digital
Frequência central [MHz]	104,5	104,3
Potência EIRP [W]	793	34
Altura da Antena [m]	25	19
Rádio Itatiaia FM		
Localização	Latitude: 19° 58' 14" S	Longitude: 43° 55' 41" W
	Sistema Analógico	Sistema Digital
Frequência central [MHz]	95,7	95,5
Potência EIRP [W]	22.165,0	228,5
Altura da Antena [m]	19	9,6

2.2- Desenvolvimento de modelos para previsão da perda de propagação e perfil de retardos nas faixas de VHF e UHF

Estão sendo desenvolvidos modelos computacionais baseados em técnicas assintóticas (traçado de raios em conjunto com a Teoria Uniforme da Difração) e numéricas (equações integrais e Diferenças Finitas no Domínio do Tempo - FDTD) para a simulação da propagação radioelétrica em ambientes urbanos e rurais. Tais modelos visam o desenvolvimento de ferramental teórico e numérico para a aplicação do eletromagnetismo em sistemas de rádio, com o intuito de caracterizá-los de forma eficiente, inclusive no domínio do tempo (caracterização banda larga). Com isso, a formação de profissionais e pesquisadores mais capacitados será favorecida, auxiliando não só no atendimento da crescente e exigente demanda do mercado por mão-de-obra altamente qualificada como também ao interesse das empresas de telecomunicações em fornecer melhores serviços aos seus usuários.



Desenvolvimento de técnicas numéricas para caracterização de canais de rádio urbanos: (a) resultados obtidos para perfil específico, (b) reta de espalhamento para a comparação entre diferentes métodos. Fonte: C. G. Batista and C. G. Rego, "A high-order unconditionally stable FDTD-based propagation method," IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2013, aceito para publicação.



Desenvolvimento de técnicas equações integrais para caracterização de canais de rádio urbanos: (a) janela do software desenvolvido (SPRad), (b) resultados obtidos para perfil específico. Fonte: C. G. Batista and C. G. Rego, "An integral equation model for radiowave propagation over inhomogeneous smoothly irregular terrain", *Microwave and Optical Tech. Letters*, vol. 54, pp. 26—31, Jan. 2012.

Como consequência da pesquisa, foram publicados os seguintes trabalhos:

a) Cláudio G. Batista and Cássio G. Rego, "A high-order unconditionally stable FDTD-based propagation method," *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters*, 2013, aceito para publicação.

Abstract: This work introduces a finite-difference time-domain (FDTD) propagation method employing a moving window algorithm and a new formulation based on three features: high order and unconditionally stable method with a material independent perfect matched layer (PML) formulation. The achievement is an efficient and accurate time-domain (multi-band) propagation method. The formulation is validated through an analytic problem. Finally, we analyze two measurement campaigns with HF and VHF signals to evaluate the method performance.

b) Cláudio G. Batista and Cássio G. Rego, "An integral equation model for radiowave propagation over inhomogeneous smoothly irregular terrain," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 1, pp. 26—31, Jan. 2012.

Abstract: This work introduces an integral equation formulation to model the radiowave propagation over inhomogeneous smoothly irregular terrain. The ground energy loss is estimated via the Leontovich boundary condition and the fast far-field algorithm accelerating technique is applied in order to improve the computational performance when solving the integral equation. The proposed formulation was implemented in a prediction software named SPRad, which was numerically tested with two measurement campaigns performed in Denmark and Brazil.

c) Cristiano T. Amaral e Cássio G. Rego, "Analysis of Longley-Rice Model in Urban Scenarios Located in Area with Tropical Climate," *MOMAG 2012 (15o. Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica & 10o. Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo)*, João Pessoa, PB, Agosto 2012.

d) Cláudio G. Batista and Cássio G. Rego, "Moving-Window Propagation Model Based on an Unconditionally Stable FDTD Method," *6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012)*, Prague, Czech Republic, March 2012.

e) Claudio G. Batista, Cássio G. Rego, and Luiz A. R. Silva Mello, "A FDTD-based propagator with a material independent PML formulation," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 323—327, October 2011.

f) Marcos Pacheco, William E. Silva, and Cássio G. Rego, "Characteristic basis function method using 3D Green's function for radiowave propagation over rough terrains," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 400—405, October 2011

Foram concluídas, ou estão em andamento, as seguintes Teses e Dissertações:

a) Cláudio Garcia Batista, "Propagador Baseado em Janela Deslizante com Formulação FDTD Incondicionalmente Estável de Alta Ordem," Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. 2012.

b) Cristiano Torres do Amaral, "Uma Análise do Modelo de Propagação Longley-Rice sob a Perspectiva de Ambientes Urbanos Localizados em Áreas de Clima Tropical," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. 2012.

c) Marcos Pacheco, "Predição de Cobertura Radioelétrica em Terrenos Irregulares Iluminados por Fonte Esférica: uma Abordagem via Equações Integrais e CBFM," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. 2011.

d) William Eustáquio da Silva, "Predição de Cobertura Radioelétrica em Terrenos Irregulares Usando o Método de Funções de Base Características," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. 2011.

e) João Renato Aguiar Soares, "Modelo e predição de cobertura radioelétrica na faixa de VHF para ambientes de propagação em regiões cobertas por densa vegetação," Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. Em andamento.

f) Alexandre Alves da Rocha, "Modelo computacional de predição de cobertura radioelétrica com formulação MW-FDTD e técnicas de programação paralela," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. Em andamento.

2.3- Desenvolvimento de técnicas de análise de microfita cilíndricas utilizando método dos momentos

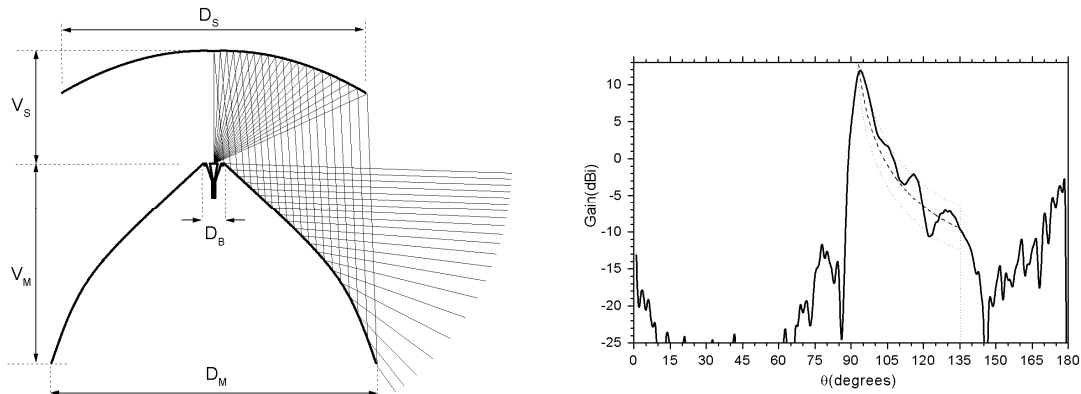
No GAPTEM/UFMG, em parceria com o Prof. Odilon Maroja C. Pereira Filho (UFPE), foram desenvolvidas técnicas de análise de antenas de microfita cilíndricas através do Método dos Momentos. Essas antenas são constituídas de um condutor cilíndrico dentro do qual se constrói uma cavidade cilíndrico-setorial preenchida por dielétricos. Uma antena cilíndrica é impressa na interface entre dielétricos, e é alimentada por um cabo coaxial do interior do condutor. Esta geometria tem o potencial de minimizar o acoplamento mútuo entre elementos de conjuntos de antenas de microfita cilíndricas, e, portanto, de possibilitar a síntese dos mesmos de forma mais precisa. Dentre as principais propriedades de antenas de microfita destaca-se sua capacidade de se conformar a superfícies curvas. Esta geometria evita a geração de ondas de superfície nos dielétricos de comprimento infinito, e o acoplamento entre elementos de um conjunto de antenas, dela decorrentes.

Como consequência da pesquisa, foram publicados os seguintes trabalhos:

a) Odilon M. C. Pereira Filho, Tiago Ventura, Cássio G. Rego, A. F. Tinoco Salazar, and José C. S. Lacava, "Cavity-Backed Cylindrical Wraparound Antennas," (invited) in: InTech. (Org.), *Microstrip Antennas*, pp. 131—154, Rijeka: InTech, 2011.

2.4- Desenvolvimento de técnica de síntese e análise de antenas omnidirecionais para cobertura uniforme

No GAPTEM/UFGM, em parceria com o CETUC/PUC-Rio, estão sendo conduzidas pesquisas para o desenvolvimento de técnicas de análise (tanto numéricas como assintóticas) para a síntese e análise de antenas refletoras omnidirecionais, onde o controle do diagrama de radiação no plano vertical é obtido pela modelagem da superfície refletora. Estão sendo focadas técnicas baseadas na Óptica Física e no Método dos Momentos. Estas antenas possuem características banda-largas e podem ser usadas em sistemas WiMAX e LMDS.



Antena omnidirecional ADC modelada para cobertura uniforme: (a) geratrizes dos refletores, (b) diagrama de radiação no plano vertical. Fonte: J. Bergmann and F. Moreira, "Omnidirectional dual-reflector antenna with GO shaped main reflector for pattern control in the elevation plane: OADC case," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2012, 2012.

Como consequência da pesquisa, foram publicados os seguintes trabalhos:

a) Rafael A. Penchel, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Main-Reflector Shaping of Omnidirectional Dual Reflectors Using Local Conic Sections," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2013.

Abstract: This work presents an alternative method for GO synthesis of dual-reflector antennas suited for omnidirectional coverage. Both reflectors are bodies-of-revolution where a single conic section generates the sub-reflector while a concatenation of local conic sections represent the main-reflector generatrix, which is shaped to provide an arbitrary radiation pattern in the antenna's elevation plane. To illustrate the method, omnidirectional axis-displaced ellipse (OADE) configurations are synthesized to provide a cosecant squared radiation pattern in the elevation plane. Two different ray structures are considered: with real or virtual main-reflector caustics. The GO shaping results are validated by method-of-moments simulations.

b) Úrsula C. Resende, Fernando J. S. Moreira, and Odilon M. C. Pereira Filho, "Numerical study of singularity extraction in MoM integrals for scattering from bodies of revolution," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 11, pp. 2543—2548, Nov. 2012.

Abstract: The analysis of electromagnetic scattering by the method of moments (MoM) leads to integral equations with singularities in their kernels. In this work, a numerical study of a particular technique for the extraction of those singularities arising in the analysis of the scattering from conducting and dielectric bodies of revolution (BOR), particularly spheres and cylinders is conducted. It is demonstrated that when the singularity extraction is applied, the numerical solution converges for a two-point Gaussian quadrature. It is also shown that the MoM matrix condition number is affected by the number of segments used to describe the BOR generatrix and this influence depends on the behavior of the surface current distribution.

c) José R. Bergmann and Fernando J. S. Moreira, "Omnidirectional dual-reflector antenna with GO shaped main reflector for pattern control in the elevation plane: OADC case," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2012, Article ID 326925, 6 pages, 2012.

Abstract: This paper presents a formulation for shaping the main reflector of an axis-symmetric dual-reflector antenna designed to offer an omnidirectional coverage with an arbitrary radiation pattern in the vertical plane. The subreflector is generated by an axisdisplaced conic, and the main reflector is shaped to achieve a prescribed far-field radiation pattern. The procedure is based on geometrical optics (GO) principles. Two distinct far-field ray structures are explored and their limitations are identified. The GO shaping results are validated by analysis provided by the accurate method of moments technique.

d) Fernando J. S. Moreira and José R. Bergmann, "Shaping Axis-Symmetric Dual-Reflector Antennas by Combining Conic Sections," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 3, pp. 1042—1046, March 2011.

Abstract: A simple procedure for the shaping of axis-symmetric dual-reflector antennas is described. The shaping procedure is based on the consecutive concatenation of local conic sections suited to provide, under geometrical optics (GO) principles, an aperture field with uniform phase, together with a prescribed amplitude distribution. The procedure has fast numerical convergence and is valid for any circularly symmetric dual-reflector configuration. To illustrate the procedure two representative configurations are investigated. The GO shaping results are validated using accurate method-of-moments analysis.

e) Úrsula C. Resende, Fernando J. S. Moreira, and Odilon M. C. Pereira Filho, "EMFIE and MEFIE Formulations for the Analysis of Scattering from Dielectric and Composite Bodies of Revolution," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 2, pp. 398—402, Feb. 2011

Abstract: In this paper the electromagnetic scattering from dielectric and composite bodies of revolution are analyzed by the electric-magnetic field integral equation (EMFIE) and the magnetic-electric field integral equation (MEFIE), which are customarily overlooked in the literature. A standard method-of-moments (MoM) technique is applied for the numerical solution of the surface integral equations. Several dielectric and composite geometries are analyzed through the bandwidth and results are compared to those of well-established Müller and PMCWHT integral equation formulations. Investigated case studies indicate that the MoM Z matrices yielded by the EMFIE and MEFIE are as well-conditioned as those provided by the Müller and PMCWHT formulations.

f) Rafael A. Penchel, Sandro R. Zang, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Use of Parabolic Sections to Shape the Main Reflector of Omnidirectional Dual-Reflector Antennas," *International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2013)*, Torino, Italy, September 2013.

g) Rafael A. Penchel, Sandro R. Zang, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Synthesis and Rigorous Analysis of Omnidirectional ADE Antenna with Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections," *6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012)*, Prague, Czech Republic, March 2012.

h) Rafael A. Penchel, Sandro R. Zang, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Synthesis and Rigorous Analysis of Omnidirectional Dual-Reflector Antennas with Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections," *7th Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC 2011)*, Loughborough, U.K., November 2011.

i) Rafael A. Penchel, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Omnidirectional ADE Antennas with Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections Sequentially Concatenated," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 412—415, October 2011.

j) Rafael A. Penchel, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "An Omnidirectional Dual-Reflector Antenna with a Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections," 5th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2011), Rome, Italy, pp. 1221—1224, April 2011.

2.5- Desenvolvimento de técnicas assintóticas e numéricas de análise eletromagnética no domínio do tempo com aplicação na análise de transiente de antenas

Estão sendo desenvolvidas técnicas para a análise de antenas UWB (*Ultra Wide Band*) no domínio do tempo. O interesse na análise de transientes de fenômenos ondulatórios tem aumentado com os avanços recentes no desenvolvimento de radares de pulsos estreitos, sistemas de transmissão de dados em altas taxas e suas antenas associadas, com aplicações em sensoriamento remoto, identificação de alvos e sistemas de comunicação sem fio UWB e radiodifusão digital.

Como consequência da pesquisa, foram publicados os seguintes trabalhos:

a) Cássio G. Rego and Flávio V. Hasselmann, "A time-domain uniform asymptotic theory applied to the analysis of pulse-excited PEC wedges," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 955—958, 2011.

Abstract: In this letter, a time-domain version of the uniform asymptotic theory of diffraction, henceforth named TD-UAT, is introduced and is employed to obtain the fields scattered by a perfectly electrically conducting wedge illuminated by an arbitrarily oriented electric dipole. The results of TD-UAT are compared to those obtained from an implementation of the time-domain uniform theory of diffraction (TD-UTD), and its applicability is demonstrated.

b) Gláucio Lopes Ramos, Cássio G. Rego and Alexandre Ramos Fonseca, "Improving a time domain spherical multipole near-to-far-field transformation algorithm," 19th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2013), Budapest, Hungary, June 2013.

c) Glaucio L. Ramos e Cássio G. Rego, "Time-Domain Spherical Multipoles Applied to Radiation Pattern Characterization," MOMAG 2012 (15o. Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica & 10o. Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo), João Pessoa, PB, Agosto 2012

d) Weber C. P. Anjos and Cássio G. Rego, "Characterization UWB of wire antennas in the space-time domain," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 420—425, October 2011.

e) Glaucio L. Ramos and Cássio G. Rego, "Multi-band printed antennas impedance characterization using a FDTD/WP-PML based methodology," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 656—659, October 2011.

Foram concluídas, ou estão em andamento, as seguintes Teses e Dissertações:

- a) Weber Costa Pinto dos Anjos, "Caracterização UWB de Antenas Filamentares no Domínio Espaço-temporal: Uma Abordagem Via Equações Integrais e Extração de Ressonâncias Naturais," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. 2012.
- b) Gláucio Lopes Ramos, "Expansão em múltiplos esféricos no domínio do tempo para a análise de antenas impressas UWB," Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Cássio G. Rego. Em andamento.

2.6- Desenvolvimento de técnicas sem malha para análise de espalhamento eletromagnético

Em parceria com o Prof. Renato Cardoso Mesquita do Depto. Engenharia Elétrica da UFMG, técnicas (numéricas) sem malha vêm sendo estudadas e desenvolvidas para a análise do espalhamento eletromagnético, visando aplicações futuras em análise de antenas e propagação de ondas de rádio.

Como consequência da pesquisa, foram publicados os seguintes trabalhos:

- a) Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "The meshless local Petrov-Galerkin method in two-dimensional electromagnetic wave analysis," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 60, no. 4, pp. 1957—1968, April 2012.

Abstract: This paper deals with one member of the class of meshless methods, namely the Meshless Local Petrov–Galerkin (MLPG) method, and explores its application to boundary-value problems arising in the analysis of two-dimensional electromagnetic wave propagation and scattering. This method shows some similitude with the widespread finite element method (FEM), like the discretization of weak forms and sparse global matrices. MLPG and FEM differ in what regards the construction of an unstructured mesh. In MLPG, there is no mesh, just a cloud of nodes without connection to each other spread throughout the domain. The suppression of the mesh is counterbalanced by the use of special shape functions, constructed numerically. This paper illustrates how to apply MLPG to wave scattering problems through a number of cases, in which the results are compared either to analytical solutions or to those provided by other numerical methods

- b) Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Calculating the Band Structure of Photonic Crystals through the Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method and Periodic Shape Functions," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 48, no. 2, pp. 551—554, Feb. 2012.

Abstract: This paper illustrates how to determine the bandgap structure of photonic crystals through MLPG. This method is akin to the Finite Element Method (FEM), as it also deals with the discretization of weak forms and produces sparse global matrices. The major difference is the complete absence of any kind of mesh. We concentrate in a particular version of it, the MLPG4, also known as Local Boundary Integral Equation Method (LBIE). Since the boundary conditions governing the electromagnetic field are periodic in a unit cell, we develop a special scheme to embed this feature on the shape functions used in the discretization process. As a result, boundary conditions do not need to be imposed on the unit cell.

c) Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Methods in Quantum Mechanics," *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering (COMPEL)*, vol. 30, no. 6, pp. 1763—1776, Dec. 2011.

Abstract: The purpose of this paper is to solve both eigenvalue and boundary value problems coming from the field of quantum mechanics through the application of meshless methods, particularly the one known as meshless local Petrov-Galerkin (MLPG).

d) Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Axisymmetric electromagnetic resonant cavity solution by a meshless local Petrov-Galerkin method," *ACES Journal*, vol. 26, no. 10, pp. 792—799, Oct. 2011.

Abstract: This work describes a meshless approach to obtain resonant frequencies and field distributions in axisymmetric electromagnetic cavities. The meshless local Petrov-Galerkin is used with shape functions generated by moving least squares. Boundary conditions are imposed by a collocation method that does not require integrations. The proposed analysis has simple implementation and reduced computational effort. Results for TE and TM modes of cylindrical and spherical cavities are presented and compared with analytical solutions.

e) Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "A Meshless Local Petrov-Galerkin Method for Three-Dimensional Scalar Problems," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 47, no. 5, pp. 1214—1217, May 2011.

Abstract: In this paper, we apply a meshless method based on local boundary integral equations (LBIEs) to solve electromagnetic problems. The discretization process is carried out through the use of special basis functions that, unlike the Finite Element Method, are not confined to an element and do not require the support of an underlying mesh. The approach herein developed can be applied to general three-dimensional scalar boundary value problems arising in electromagnetism.

f) Ramon D. Soares, Fernando J. S. Moreira, Renato C. Mesquita, David A. Lowther, and Naisses Z. Lima, "A Modified Meshless Local Petrov-Galerkin applied to Electromagnetic Axisymmetric Problems," 19th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2013), Budapest, Hungary, June 2013.

g) Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Analysis of Monopole Antenna Over a Ground Plane by a Meshless Local Petrov-Galerkin Method," 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012), Prague, Czech Republic, March 2012.

h) Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Electromagnetic Axisymmetric Analysis of Monopole Antenna Over a Perfectly Electric Ground Plane by a Meshless Local Petrov-Galerkin Method," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 395—399, October 2011.

i) Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Calculating the Band Structure of Photonic Crystals through the Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method and Periodic Shape Function," 18th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2011), Sydney, Australia, July 2011.

j) Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Axisymmetric Electromagnetic Resonant Cavities Solution by a meshless Local Petrov-Galerkin Method," 8th International Conference on Computation in Electromagnetics (CEM 2011), Wroclaw, Poland, pp. 176—177, April 2011.

Foram concluídas, ou estão em andamento, as seguintes Teses e Dissertações:

a) Williams Lara de Nicomedes, "Meshless Methods in Electromagnetic Wave Scattering," Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Fernando J. S. Moreira. Co-orientador: Renato C. Mesquita (UFMG). 2011.

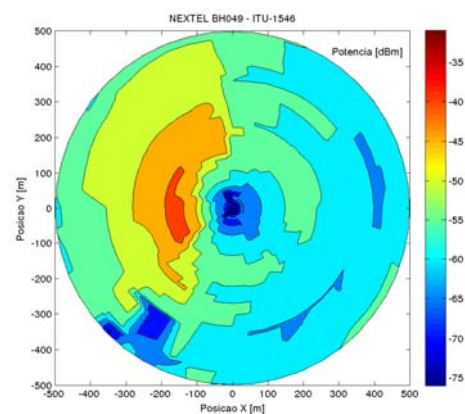
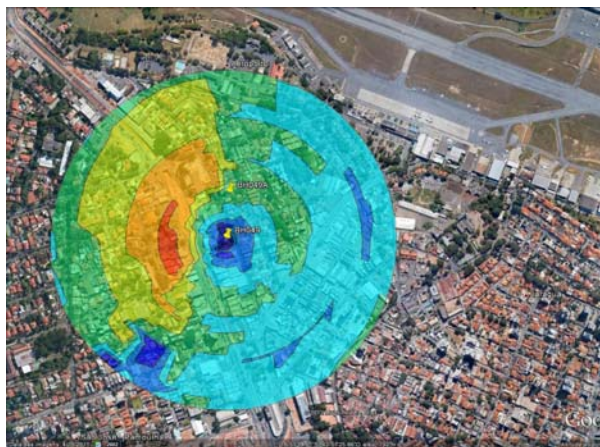
b) Williams Lara de Nicomedes, "Further refinements concerning the development of meshless methods in computational electromagnetics". Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Fernando J. S. Moreira. Co-orientador: Renato C. Mesquita (UFMG). Em andamento.

c) Ramon Dornelas Soares, "Aplicação de Técnicas Sem Malha em Espalhamento Eletromagnético". Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Fernando J. S. Moreira. Co-orientador: Renato C. Mesquita (UFMG). Em andamento.

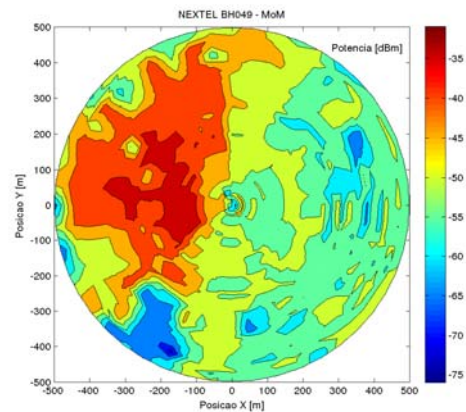
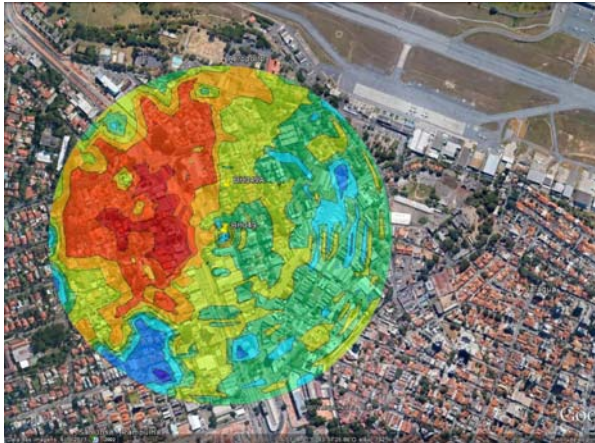
3. Atividades de Extensão (Prestação de Serviços)

Em 2012 o GAPTEM passou a executar estudos de relevância para a instalação de Estações Rádio-Base (ERB's) de diversas operadoras do Serviço de Comunicação Móvel Celular. Esta é uma atividade de prestação de serviços solicitada pelas referidas operadoras, em atendimento aos ordenamentos da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) de Belo Horizonte, que exige a previsão de cobertura radioelétrica de ERB's para fins de licenciamento, mantendo-se a distância mínima de 500 metros entre torres, o que causa um baixo impacto visual.

Para se executar a previsão de cobertura rádio gerada por cada ERB estudada são coletados dados geográficos no seu entorno e são empregados modelos de propagação implementados no *software* PRad, desenvolvido nos últimos seis anos pelos pesquisadores e estudantes do GAPTEM: Método dos Momentos (MoM), ITU-R P.1546 e FDTD. A figura a seguir mostra um exemplo de resultados gerados.



Predição de cobertura baseada na Recomendação ITU-R P.1546 para a ERB localizada na estação BHE049, no bairro do Jaraguá, em Belo Horizonte. Considera-se um raio de 500 metros na análise.



Predição de cobertura baseada no MoM para a ERB localizada na estação BHE049, no bairro do Jaraguá, em Belo Horizonte. Considera-se um raio de 500 metros na análise.

4. Orientações Acadêmicas

4.1- Orientação de Doutorado Concluída no Triênio 2011-2013

Cláudio Garcia Batista, "Propagador Baseado em Janela Deslizante com Formulação FDTD Incondicionalmente Estável de Alta Ordem," PPGEE/UFMG, 11 de junho de 2012.

4.2- Orientações de Mestrado Concluídas no Triênio 2011-2013

Cristiano Torres do Amaral, "Uma Análise do Modelo de Propagação Longley-Rice sob a Perspectiva de Ambientes Urbanos Localizados em Áreas de Clima Tropical," PPGEE/UFMG, 19 de dezembro de 2012.

Weber Costa Pinto dos Anjos, "Caracterização UWB de Antenas Filamentares no Domínio Espaço-temporal: Uma Abordagem Via Equações Integrais e Extração de Ressonâncias Naturais," PPGEE/UFMG, 29 de junho de 2012.

William Eustáquio da Silva, " Predição de Cobertura Radioelétrica em Terrenos Irregulares Usando o Método de Funções de Base Características," PPGEE/UFMG, 16 de novembro de 2011.

Marcos Pacheco, "Predição de Cobertura Radioelétrica em Terrenos Irregulares Iluminados por Fonte Esférica: uma Abordagem via Equações Integrais e CBFM," PPGEE/UFMG, 3 de outubro de 2011.

Williams Lara de Nicomedes, "Meshless Methods in Electromagnetic Wave Scattering," PPGEE/UFMG, 4 de fevereiro de 2011.

4.3 - Orientações em Andamento

Doutorado:

Gláucio Lopes Ramos
João Renato Aguiar Soares
Ramon Dornelas Soares
Williams Lara de Nicomedes

Mestrado:

Tcharles Vinícius Bernardes de Faria
Alexandre Alves da Rocha

5. Produção Científica no Trênio 2011-2013

5.1 - Capítulo de Livro

Odilon M. C. Pereira Filho, Tiago Ventura, Cássio G. Rego, A. F. Tinoco Salazar, and José C. S. Lacava, "Cavity-Backed Cylindrical Wraparound Antennas," (invited) in: InTech. (Org.), Microstrip Antennas, pp. 131—154, Rijeka: InTech, 2011.

5.2 - Artigos em Periódicos

Cláudio G. Batista and Cássio G. Rego, "A high-order unconditionally stable FDTD-based propagation method," IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2013, aceito para publicação.

Rafael A. Penchel, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Main-Reflector Shaping of Omnidirectional Dual Reflectors Using Local Conic Sections," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013.

Úrsula C. Resende, Fernando J. S. Moreira, and Odilon M. C. Pereira Filho, "Numerical study of singularity extraction in MoM integrals for scattering from bodies of revolution," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 54, no. 11, pp. 2543—2548, Nov. 2012.

José R. Bergmann and Fernando J. S. Moreira, "Omnidirectional dual-reflector antenna with GO shaped main reflector for pattern control in the elevation plane: OADC case," International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2012, Article ID 326925, 6 pages, 2012.

Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "The meshless local Petrov-Galerkin method in two-dimensional electromagnetic wave analysis," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 60, no. 4, pp. 1957—1968, April 2012.

Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Calculating the Band Structure of Photonic Crystals through the Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method and Periodic Shape Functions," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 48, no. 2, pp. 551—554, Feb. 2012.

Cláudio G. Batista and Cássio G. Rego, "An integral equation model for radiowave propagation over inhomogeneous smoothly irregular terrain," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 1, pp. 26—31, Jan. 2012.

Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Methods in Quantum Mechanics," *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering (COMPEL)*, vol. 30, no. 6, pp. 1763—1776, Dec. 2011.

Cássio G. Rego and Flávio V. Hasselmann, "A time-domain uniform asymptotic theory applied to the analysis of pulse-excited PEC wedges," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 955—958, 2011.

Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Axisymmetric electromagnetic resonant cavity solution by a meshless local Petrov-Galerkin method," *ACES Journal*, vol. 26, no. 10, pp. 792—799, Oct. 2011.

Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "A Meshless Local Petrov-Galerkin Method for Three-Dimensional Scalar Problems," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 47, no. 5, pp. 1214—1217, May 2011.

Fernando J. S. Moreira and José R. Bergmann, "Shaping Axis-Symmetric Dual-Reflector Antennas by Combining Conic Sections," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 3, pp. 1042—1046, March 2011.

Úrsula C. Resende, Fernando J. S. Moreira, and Odilon M. C. Pereira Filho, "EMFIE and MEFIE Formulations for the Analysis of Scattering from Dielectric and Composite Bodies of Revolution," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 2, pp. 398—402, Feb. 2011.

5.3- Artigos em Congressos

Rafael A. Penchel, Sandro R. Zang, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Use of Parabolic Sections to Shape the Main Reflector of Omnidirectional Dual-Reflector Antennas," *International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2013)*, Torino, Italy, September 2013

Gláucio Lopes Ramos, Cássio G. Rego and Alexandre Ramos Fonseca, "Improving a time domain spherical multipole near-to-far-field transformation algorithm," *19th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2013)*, Budapest, Hungary, June 2013.

Ramon D. Soares, Fernando J. S. Moreira, Renato C. Mesquita, David A. Lowther, and Naisses Z. Lima, "A Modified Meshless Local Petrov-Galerkin applied to Electromagnetic Axisymmetric Problems," *19th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2013)*, Budapest, Hungary, June 2013.

Gláucio L. Ramos e Cássio G. Rego, "Time-Domain Spherical Multipoles Applied to Radiation Pattern Characterization," *MOMAG 2012 (15o. Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica & 10o. Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo)*, João Pessoa, PB, Agosto 2012.

Cristiano T. Amaral e Cássio G. Rego, "Analysis of Longley-Rice Model in Urban Scenarios Located in Area with Tropical Climate," MOMAG 2012 (15o. Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica & 10o. Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo), João Pessoa, PB, Agosto 2012.

Cláudio G. Batista, and Cássio G. Rego, "Moving-Window Propagation Model Based on an Unconditionally Stable FDTD Method," 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012), Prague, Czech Republic, March 2012.

Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Analysis of Monopole Antenna Over a Ground Plane by a Meshless Local Petrov-Galerkin Method," 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012), Prague, Czech Republic, March 2012.

Rafael A. Penchel, Sandro R. Zang, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Synthesis and Rigorous Analysis of Omnidirectional ADE Antenna with Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections," 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012), Prague, Czech Republic, March 2012.

Rafael A. Penchel, Sandro R. Zang, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Synthesis and Rigorous Analysis of Omnidirectional Dual-Reflector Antennas with Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections," 7th Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC 2011), Loughborough, U.K., November 2011.

Claudio G. Batista, Cássio G. Rego, and Luiz A. R. Silva Mello, "A FDTD-based propagator with a material independent PML formulation," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 323—327, October 2011.

Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Electromagnetic Axisymmetric Analysis of Monopole Antenna Over a Perfectly Electric Ground Plane by a Meshless Local Petrov-Galerkin Method," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 395—399, October 2011.

Marcos Pacheco, William E. Silva, and Cássio G. Rego, "Characteristic basis function method using 3D Green's function for radiowave propagation over rough terrains," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 400—405, October 2011.

Rafael A. Penchel, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "Omnidirectional ADE Antennas with Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections Sequentially Concatenated," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 412—415, October 2011.

Weber C. P. Anjos and Cássio G. Rego, "Characterization UWB of wire antennas in the space-time domain," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 420—425, October 2011.

Glaucio L. Ramos and Cássio G. Rego, "Multi-band printed antennas impedance characterization using a FDTD/WP-PML based methodology," 2011 International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, RN, Brazil, pp. 656—659, October 2011.

Williams L. Nicomedes, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Calculating the Band Structure of Photonic Crystals through the Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method and Periodic Shape Function," 18th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2011), Sydney, Australia, July 2011.

Rafael A. Penchel, José R. Bergmann, and Fernando J. S. Moreira, "An Omnidirectional Dual-Reflector Antenna with a Shaped Main Reflector Described by Local Conic Sections," 5th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2011), Rome, Italy, pp. 1221—1224, April 2011.

Ramon D. Soares, Renato C. Mesquita, and Fernando J. S. Moreira, "Axisymmetric Electromagnetic Resonant Cavities Solution by a meshless Local Petrov-Galerkin Method," 8th International Conference on Computation in Electromagnetics (CEM 2011), Wroclaw, Poland, pp. 176—177, April 2011.

5.4- Teses e Dissertações

Cláudio Garcia Batista, "Propagador Baseado em Janela Deslizante com Formulação FDTD Incondicionalmente Estável de Alta Ordem," Tese de Doutorado, PPGEE/UFMG, 11 de junho de 2012.

Cristiano Torres do Amaral, "Uma Análise do Modelo de Propagação Longley-Rice sob a Perspectiva de Ambientes Urbanos Localizados em Áreas de Clima Tropical," Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, 19 de dezembro de 2012.

Weber Costa Pinto dos Anjos, "Caracterização UWB de Antenas Filamentares no Domínio Espaço-temporal: Uma Abordagem Via Equações Integrais e Extração de Ressonâncias Naturais," Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, 29 de junho de 2012.

William Eustáquio da Silva, "Predição de Cobertura Radioelétrica em Terrenos Irregulares Usando o Método de Funções de Base Características," Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, 16 de novembro de 2011.

Marcos Pacheco, "Predição de Cobertura Radioelétrica em Terrenos Irregulares Iluminados por Fonte Esférica: uma Abordagem via Equações Integrais e CBFM," Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, 3 de outubro de 2011.

Williams Lara de Nicomedes, "Meshless Methods in Electromagnetic Wave Scattering," Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, 4 de fevereiro de 2011.