

# CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS, SAÚDE E AMBIENTE

UM NOVO PARADIGMA DE SAÚDE AMBIENTAL  
(Campos ELF)

**Carlos Lemos Antunes**

Professor Catedrático da Universidade de Coimbra

Membro Conselheiro da Ordem dos Engenheiros

Presidente da APDEE – Assoc. Port. Prom. Desenv. Eng. Electrotécnica,

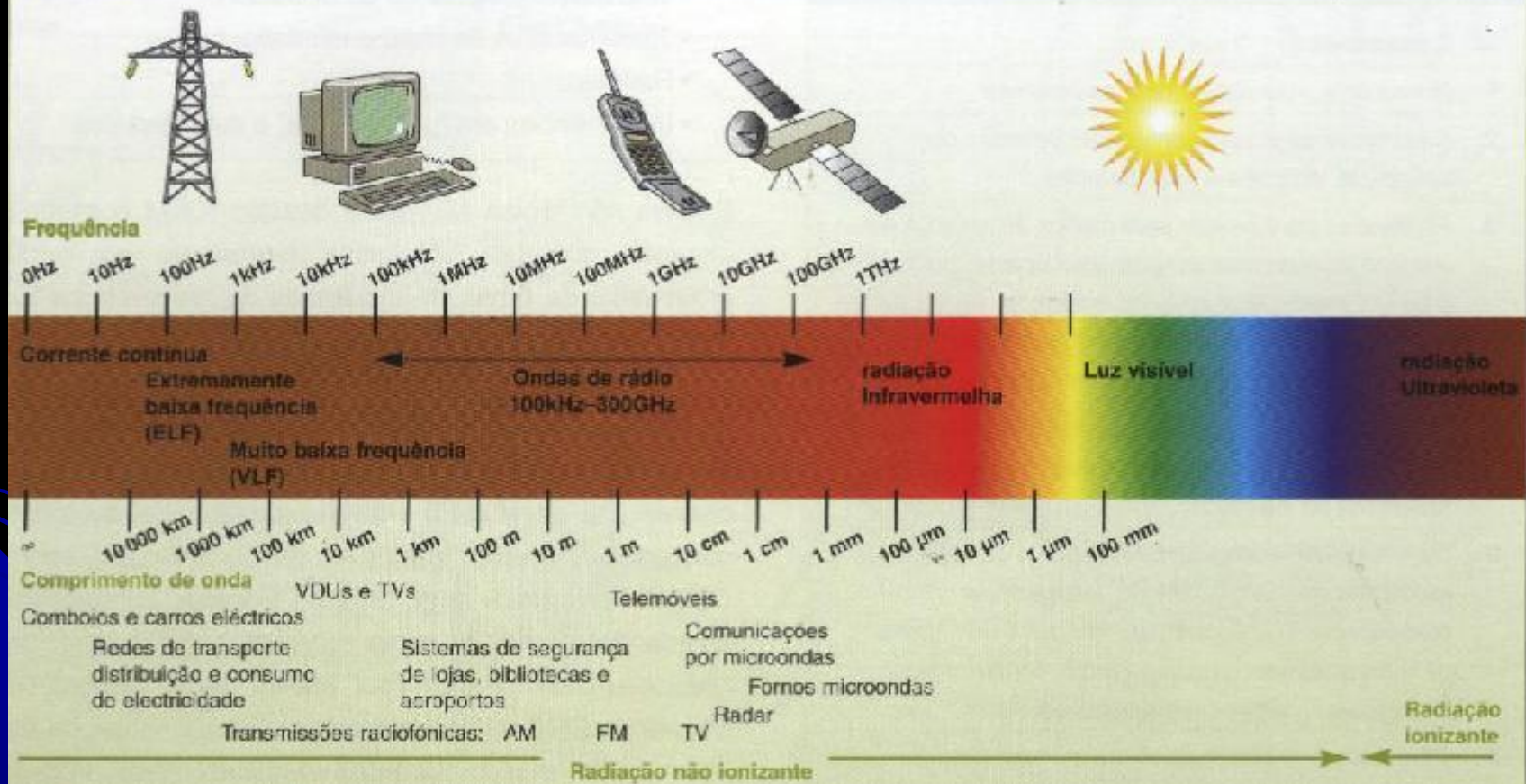
*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

# Sobre os Limites Internacionais de exposição a Campos Electromagnéticos

## (Efeitos de Curta Duração)

- Muitos Países possuem normas próprias para exposição a campos electromagnéticos ou adoptaram as recomendações da **ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection)**, como é o caso de Portugal.
- Com a Portaria nº 1421/2004 de 23 de Novembro, foram **adoptadas as restrições básicas e fixados os níveis de referência** relativos à exposição da população a campos electromagnéticos (0 Hz – 300 GHz).
- Esta Portaria adoptou a Recomendação do Conselho nº 1999/519/CE de 12 de Julho que por sua vez se baseia nas recomendações sugeridas pelo ICNIRP.

## O espectro electromagnético



*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

- A ICNIRP é uma Organização não governamental, formalmente reconhecida pela OMS (Organização Mundial de Saúde) que avalia os resultados científicos publicados, recomendando a seguir os limites de exposição.

As recomendações para a exposição a campos electromagnéticos cobrem as frequências de radiação não ionizantes na faixa de 0 a 300 GHz.

- Partindo dos efeitos da exposição intensa de curta duração, as recomendações internacionais usam o nível de exposição aproximada, ou limiar, que potencialmente levaria a efeitos biológicos adversos, provocando estímulos nervosos e musculares e alteração da excitabilidade de células no sistema nervoso central.

- Foram estabelecidos níveis de referência **aplicando um factor de segurança** aos valores identificados como limiar de exposição susceptível de provocar efeitos indesejáveis.
- A ICNIRP utilizou um **factor de redução de 10**, para derivar os limites para **exposição ocupacional** de trabalhadores e um factor de cerca de 50 para chegar aos limites de **exposição ao público** em geral.

- Os limites variam com a frequência e são portanto diferentes para campos electromagnéticos ELF ou de alta-frequência.
- Estamos interessados nesta comunicação nos Campos Electromagnéticos ELF.
- Para os casos de campos electromagnéticos emanados de Linhas de AT a 50 Hz, chegou-se assim para o campo eléctrico aos valores de **10 KV/m** (exposição ocupacional) e **5 KV/m** (exposição público em geral) e para o campo magnético aos valores de **500 uT** (exposição ocupacional) e **100 uT** (exposição público em geral).

- Como se referiu é feita uma **distinção** em relação aos limites de exposição para o **público em geral** e os **trabalhadores em exposição ocupacional**.
- O **público em geral** compreende indivíduos de todas as idades e diferentes estados de saúde. Esta população não está ciente dos riscos inerentes à exposição ou não está disposta a aceitar quaisquer riscos, mesmo que mínimos, associados à exposição. **O público em geral pode estar exposto 24 horas por dia, durante toda a vida.**
- A **exposição ocupacional** é referente aos casos de trabalhadores adultos expostos a campos electromagnéticos em condições controladas e treinados para terem conhecimento do risco e tomarem precauções adicionais. **A exposição ocupacional é limitada à duração do trabalho diário e ao tempo de vida activa do trabalhador.**

## Sobre os Efeitos Potenciais decorrentes de exposição prolongada a campos electromagnéticos ELF:

- Os **efeitos biológicos de campos electromagnéticos** de baixa frequência são assunto e tema de grande preocupação e controvérsia desde 1979, quando a epidemiologista *Nancy Wertheimer* apresentou os primeiros trabalhos de investigação em que **reportava uma ligação entre campos electromagnéticos ELF e a leucemia infantil.**

Desde então tem vindo a crescer a consciencialização das pessoas e o interesse da comunidade científica sobre os possíveis riscos associados à exposição de longa duração, a campos electromagnéticos ELF, como são os **emanados de Linhas de Alta Tensão.**



- Durante muitos anos **os resultados** dos estudos epidemiológicos que avaliam a relação entre campos ELF e a sua incidência sobre a leucemia nas crianças foram **variáveis e até contraditórios**.
- O tema é complexo demais para se poder responder de forma segura como as pessoas querem e pretendem, isto é, **são prejudiciais? Sim ou não?** Tipo preto ou branco. **Nós cientistas tenderemos sempre a responder**, decorrente até do próprio processo científico e evolução do conhecimento, **em níveis de cinzento**.
- Parece assim importante e **oportuno** fazer um **enquadramento actual sobre o tema dos efeitos biológicos decorrentes da exposição prolongada a campos electromagnéticos ELF**.

- Considerando a totalidade das evidências existentes e reportadas até hoje, há indicações fortes que o risco para a saúde humana existe, quando sujeita a exposições prolongadas a campos magnéticos ELF superiores a 0.2  $\mu\text{T}$ .
- Os campos magnéticos ELF emanados por Linhas de AT são classificados em 2001, pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Cancro (Organização Mundial de Saúde) como possivelmente carcinogénicos.

- Há **evidência extremamente forte** de que a exposição a campos magnéticos ELF com uma **intensidade superior a 0.2 uT duplica o risco de uma criança contrair leucemia.**

Da análise conjunta de estudos de casos de controlo conduzidos desde 1995 (16 em 19) identifica-se uma **relação estatística significativa** entre **campos magnéticos** de intensidade compreendida entre 0.2 e 0.4 uT, e um **factor 2 - 4 de aumento do risco em contrair leucemia.**

- Por exemplo refere-se o estudo de *Ahlbom et al* em 2000, financiado pela Comissão Europeia, onde os especialistas chegam a uma conclusão uniforme que o **risco de leucemia nas crianças pode aumentar para o dobro, quando estas estão expostas por longos períodos a campos magnéticos superiores a 0.4 uT.**

- Com a **exposição a campos magnéticos de intensidade inferior a 0.2 uT** aparentemente **não há aumento de risco de contracção de cancro** associado à exposição prolongada a campos electromagnéticos ELF.
- Num estudo recentemente publicado (Setembro de 2005) e realizado no Reino Unido por um grupo de investigadores do **Childhood Câncer Research Group, da Universidade de Oxford** sobre 29000 casos de leucemia infantil refere-se que **há um risco mais elevado (risco relativo de 1.7) de leucemia infantil em crianças que residiam a uma distância inferior a 200 m a Linhas de AT**, aquando do nascimento, **em comparação com as que residiam a 600 m.**
- Assim o risco é prolongado até uma distância de pelo menos 200 m, e a essa distância os campos magnéticos têm intensidades inferiores a 0.01 uT.

- Há uma  **muito grande evidência**  de que uma  **exposição** , mesmo que momentânea a campos magnéticos de intensidade  **superior a 160 uT** ,  **aumenta de um factor de 5** , a probabilidade de uma mulher poder ter um aborto espontâneo dentro dos primeiros 10 meses de gravidez.
- Há uma  **evidência substancial**  que liga os  **campos magnéticos ELF**  de intensidade  **superior a 1.2 uT**  e o cancro de peito.
- Há  **evidência forte**  que liga os  **campos magnéticos ELF**  a supressão de efeitos terapêuticos das drogas anti cancerígenas, e ao potenciamento da doença de Alzheimer.

- Exposições **inferiores** a 0.2 uT aparentemente **não provocam efeitos nocivos à saúde**.
- Nas nossas habitações lidamos diariamente com outros equipamentos eléctricos também emissores de campos electromagnéticos. Por exemplo, um **forno de microondas emite entre 4-8 uT** a uma **distância de 30 cm**, enquanto que um **televisor emite entre 0.01-0.15 uT** a uma **distância de 1 m**.
- **Campos magnéticos de alta-frequência, ou emitidos por antenas de TV ou telemóveis**, são outra questão diferente desta que estamos a avaliar.

- Há pouca evidência de que campos eléctricos associados às Linhas de AT tenham impacto directo na saúde. Contudo estes campos têm o potencial de induzirem indirectamente reacções prejudiciais.

Está comprovado que **campos eléctricos acima de 1 mV/m podem provocar disfunções em pacemakers e desfibriladores.**

- Além de que os campos eléctricos que emanam de linhas de AT ionizam partículas no ar na sua vizinhança, e essas partículas são carcinogénicas.
- Há investigação científica que valida esta evidência epidemiológica. Este facto é a génese do argumento de que os campos eléctricos estão associados ao cancro.

- Pela **dificuldade de identificar de forma inequívoca uma relação causal** entre os valores de intensidade do campo electromagnético ELF e a leucemia infantil, estabelece-se que não pode ser provada e **daí não dever ser considerada**.

Mas a **situação inversa também se verifica**, isto é, **não existe uma certeza científica que permita a exclusão dos campos ELF emanados por Linhas de Alta Tensão como factor de incidência nessa doença**.

As restrições básicas apresentadas nas **recomendações do ICNIRP não devem ser consideradas como indicação precisa** de valores abaixo dos quais não há efeitos adversos à saúde. Os adultos mostram por exemplo variação na sensibilidade a campos eléctricos induzidos. Pessoas com certas doenças são consideradas como potencialmente mais sensíveis a campos eléctricos do que adultos “saudáveis”.



- Assim os níveis de referência propostos pelo ICNIRP não são e não devem ser usados como valores limite à exposição prolongada a campos electromagnéticos ELF.
- Dos níveis referidos anteriormente surge inevitavelmente a **questão pertinente sobre a aparente discrepância entre estes valores com os níveis recomendados pelo ICNIRP.**
- A principal razão para esta grande diferença surge nos pressupostos da exposição.

- Os níveis recomendados pelo ICNIRP não consideram a exposição crónica e prolongada a campos electromagnéticos ELF emanados das Linhas de AT.

Eles não foram pensados para proteger contra a possível indução de cancro decorrente da exposição a estes campos de forma contínua e prolongada, mesmo a níveis inferiores aos indicados. O *Dr Keith Lokan* do Australian Radiation Laboratory, confirma isto mesmo.

Os níveis recomendados pelo ICNIRP, consideram exposições limitadas no tempo, e dizem respeito aos efeitos imediatos adversos se aqueles níveis forem ultrapassados, desprezando outros efeitos biológicos como asma, artrites e diabetes e aos efeitos cumulativos da exposição.

- Além de que não consideram uma acção conjunta de efeitos produzidos pelo campo eléctrico e magnético em simultâneo.

- Seria desastroso do ponto de vista científico ignorar um tão vasto conjunto de evidências científicas, e considerar o assunto definitivamente encerrado com a adopção cega das recomendações do ICNIRP.
- A partir dos dados actuais sobre estudos epidemiológicos e laboratoriais parece prudente e responsável estabelecer como limites à exposição a campos electromagnéticos ELF, valores diferentes dos recomendados pelo ICNIRP.

- Assim se compreende que vários Países, que analisam com atenção o que a este respeito vem sendo discutido, investigado e publicado, têm vindo a aplicar o princípio de precaução na definição dos limites de exposição, essencialmente em relação a exposições prolongadas ao campo magnético, com valores substancialmente inferiores, e que a título informativo se referem:

A Suécia (0.2 uT);

A Itália (10 uT para as Linhas existentes e 3 uT para as novas Linhas), ou mesmo 0.2 uT nalgumas províncias como a Toscana, Veneto, Emília- Romana);

- A Suíça (1 uT);
- A Eslovénia (10 uT);
- Os EUA (Nova York, 20 uT, Florida 15 uT).

# LMAT\_SIMX

## A PACKAGE FOR 3D NUMERICAL ANALYSIS AND SIMULATION OF ELF ELECTROMAGNETIC FIELDS EMANATED FROM HIGH VOLTAGE POWER LINES

Carlos Lemos Antunes <sup>(1), (2)</sup>, José Cecílio <sup>(2)</sup>, Hugo Valente <sup>(3)</sup>, José Peralta <sup>(3)</sup>, Jorge Liça <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Lab. CAD/CAE, Electrical Engineering Dept,  
University of Coimbra, Pólo II, 3030 – 290 Coimbra, Portugal

<sup>(2)</sup> APDEE – Assoc. Port. Prom. Desenv. Eng. Electrotécnica,  
Rua Eládio Alvarez, Ap. 4102, 3030 – 281 Coimbra, Portugal

<sup>(3)</sup> REN – Rede Eléctrica Nacional  
Av. Estados Unidos da América 55, 1749 – 061 Lisboa, Portugal

*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

# Summary

1. Introduction
2. LMAT\_GEOMODEL
3. LMAT\_SIMAG
4. LMAT\_SIMEL
5. LMAT\_VISUAL.ELF
6. Results
7. Certification of the Results
8. Conclusions
9. Acknowledgement

# Introduction

- The eventual **human exposure** to ((E)xtrremely (L)ow (F)requency) **ELF** electromagnetic **fields**, which correspond to frequencies in the range of 0-3 KHz, is mainly **associated with the generation, transmission and use of electric energy.**
- The **public risk perception regarding health effects** due to electric and magnetic fields emanated from HVPLs **is increasing.**

# Introduction

- Regarding the exposure to electromagnetic fields many countries follow their own norms or have adopted the recommendations of the International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), as it is the case of Portugal.
- The **ICNIRP limits for the exposure** to emfs were based on the biological adverse effects caused by **intense short term exposure instead of long term**.
- The limits are **100  $\mu$ T** for the **magnetic field**, and **5kV/m** for the **electric field**, for the public in general.



# Introduction

- The **Utilities** should use **design and simulation tools** for ELF electric and magnetic fields emanated from HVPLs in order to **reduce the uncertainty** about this subject, mostly to **evaluate and predict emf exposure** from HVPLs in an urban scenario **allowing a dissemination** of this information for the general population.
- This was the main motivation for the development of this Project.

# Introduction

- In this paper it is presented the **package LMAT\_SIMX** that allows the analysis and simulation of Electrical and Magnetic Fields emanated from Very High Voltage Power Lines (HVPLs).
- This package consists of several modules like the **LMAT\_GEOMODEL**, the **LMAT\_SIMAG**, the **LMAT\_SIMEL**, and the **LMAT\_VISUAL.ELF**. All the modules of this package were developed in MATLAB environment.

# LMAT\_GEOMODEL

- The **LMAT\_GEOMODEL** is used to **model the geometric configuration of the HVPLs**.
- This module generates a database of line segments, that approximates the catenary for each conductor of the HVPLs, that is saved for later use with the numeric processors **LMAT\_SIMAG** and **LMAT\_SIMEL**.
- This module can deal with up to maximum three different Lines.

# LMAT\_SIMAG

- The **LMAT\_SIMAG** is the module used for the **calculation** of ELF magnetic fields.
- The formulation of magnetic field numerical calculator is based on the Biot-Savart law.
- The LMAT\_SIMAG calculates the magnetic field resulting from general 3D Line(s) configurations of current-carrying conductors.
- The conductors are considered filamentary wires of arbitrary path and the catenary is approximated by straight lineal segments defined by a cubic spline polynomial.

# LMAT\_SIMAG

- Each Line is subdivided in lineal segments, where each segment is defined by a function  $f(x(t), y(t), z(t))$ .

$$x(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3$$

$$y(t) = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$$

$$z(t) = c_0 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3$$

- Where  $t$  is a parameter that describes the position along the segment length.

# LMAT\_SIMAG

- Normalizing each segment with 4 interpolating nodes it is possible to obtain the coefficients of the equation as follows:

$$x(0) = a_0 = x_1$$

$$x\left(\frac{1}{3}\right) = a_0 + a_1 \cdot \frac{1}{3} + a_2 \cdot \frac{1}{9} + a_3 \cdot \frac{1}{27} = x_2$$

$$x\left(\frac{2}{3}\right) = a_0 + a_1 \cdot \frac{2}{3} + a_2 \cdot \frac{4}{9} + a_3 \cdot \frac{8}{27} = x_3$$

$$x(1) = a_0 + a_1 + a_2 + a_3 = x_4$$

- The terms  $y(t)$  and  $z(t)$  are obtained in a similar way.

# LMAT\_SIMAG

- The magnetic field produced by one segment carrying an electrical phasor current  $\hat{I} = I \cdot e^{jq}$  is given by

$$\bar{B} = \frac{m_0}{4p} \cdot I \cdot \int_1^4 \frac{d\bar{l} \times \hat{R}}{R^2} = \frac{m_0 \cdot I}{4p} \cdot \int_1^4 \frac{d\bar{l} \times \bar{R}}{R^3}$$

- where

$$\bar{R} = (x' - x) \cdot \hat{a}_x + (y' - y) \cdot \hat{a}_y + (z' - z) \cdot \hat{a}_z$$

$$d\bar{l} = dx \cdot \hat{a}_x + dy \cdot \hat{a}_y + dz \cdot \hat{a}_z$$

# LMAT\_SIMAG

- For each segment of a Line, the components  $B_{xi}$ ,  $B_{yi}$  and  $B_{zi}$  of the magnetic field at a given point are then calculated, and the procedure repeated for all the segments of that Line and for other Lines.
- The value of the resultant components  $B_{xR}$ ,  $B_{yR}$  and  $B_{zR}$  will be the arithmetic sum of the contributions of each segment.
- The magnetic field is a vector where the components in the  $x$ ,  $y$ ,  $z$  directions are also phasors, thus varying in time in a sinusoidal way.



# LMAT\_SIMAG

- For magnetic field exposure analysis we are mainly interested in the effective value of the magnetic flux density  $B_{ef}$ , and not the instantaneous values, that we define as:

$$B_{ef} = \sqrt{\frac{\overline{\hat{B}} \cdot \overline{\hat{B}}^*}{2}} = \sqrt{\frac{(B_{xReal}^2 + B_{xImag}^2) + (B_{yReal}^2 + B_{yImag}^2) + (B_{zReal}^2 + B_{zImag}^2)}{2}}$$

# LMAT\_SIMEL

- The **LMAT\_SIMEL** is the module used for the **calculation** of **ELF electric fields**.
- The **LMAT\_SIMEL** calculates the electric field resulting from general 3D Line(s) configurations.
- The conductors are considered filamentary wires of arbitrary geometric configuration with known imposed voltages: phase-earth or zero if it corresponds to the guard conductor

# LMAT\_SIMEL

- The catenary is approximated by straight lineal segments.
- The earth is considered as a perfect conductor at zero voltage reference value and its influence is taken into account using the method of images.
- The influence of vegetation is not taken into consideration.

# LMAT\_SIMEL

- The catenary of each Line(s) and the corresponding image is approximated by straight  $N_s$  lineal segments, each with length  $L_i$  .
- The phasor electric field  $\hat{\bar{E}}$  at any point P(x, y, z) due to a Line, is calculated by

$$\hat{\bar{E}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_s} L_i \cdot \int_0^1 \frac{\hat{I}_i(s)}{|\bar{r} - \bar{r}'|^2} \cdot ds \cdot \hat{a}$$

# LMAT\_SIMEL

- Where
  - The point P(x, y, z) is defined by  $\bar{r}$
  - The phasor charge density in the segment  $i$  is located at  $\bar{r}'$
  - $\hat{a}$  as the unit vector in direction  $(\bar{r} - \bar{r}')$

$$\bar{\hat{E}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_s} L_i \cdot \int_0^1 \frac{\hat{I}_i(s)}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} \cdot ds \cdot (\bar{r} - \bar{r}')$$

- This expression has to be applied for all Line(s) and Line(s) images to obtain the resultant electric field.

# LMAT\_SIMEL

- The phasor linear charge density has to be previously calculated for all the Line(s) and their images.
- For each line segment the charge distribution is approached by a cubic spline polynomial as

$$\hat{I}(s) = c_0 + c_1s + c_2s^2 + c_3s^3$$

$$\hat{I}(s) = c_0 \cdot l_0 + c_1 \cdot l_1 + c_2 \cdot l'_0 + c_3 \cdot l'_1$$

# LMAT\_SIMEL

- The phasor linear charge density has to be previously calculated for all the Line(s) and their images.
- For each line segment the charge distribution is approached by a cubic spline polynomial as

$$\hat{I}(s) = c_0 + c_1s + c_2s^2 + c_3s^3$$

$$\hat{I}(s) = c_0 \cdot l_0 + c_1 \cdot l_1 + c_2 \cdot l_0' + c_3 \cdot l_1'$$

$$c_0 = \left( 1 - \frac{3s^2}{L_1^2} + \frac{2s^3}{L_1^3} \right)$$

# LMAT\_SIMEL

- The phasor linear charge density has to be previously calculated for all the Line(s) and their images.
- For each line segment the charge distribution is approached by a cubic spline polynomial as

$$\hat{I}(s) = c_0 + c_1 s + c_2 s^2 + c_3 s^3$$

$$\hat{I}(s) = c_0 \cdot I_0 + c_1 \cdot I_1 + c_2 \cdot I_0' + c_3 \cdot I_1'$$

$$c_1 = \left( s - \frac{2s^2}{L_1} + \frac{s^3}{L_1^2} \right)$$

*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*




# LMAT\_SIMEL

- The phasor linear charge density has to be previously calculated for all the Line(s) and their images.
- For each line segment the charge distribution is approached by a cubic spline polynomial as

$$\hat{I}(s) = c_0 + c_1 s + c_2 s^2 + c_3 s^3$$

$$\hat{I}(s) = c_0 \cdot l_0 + c_1 \cdot l_1 + c_2 \cdot l'_0 + c_3 \cdot l'_1$$



$$c_2 = \left( \frac{3s^2}{L_1^2} - \frac{2s^3}{L_1^3} \right)$$

# LMAT\_SIMEL

- The phasor linear charge density has to be previously calculated for all the Line(s) and their images.
- For each line segment the charge distribution is approached by a cubic spline polynomial as

$$\hat{I}(s) = c_0 + c_1s + c_2s^2 + c_3s^3$$

$$\hat{I}(s) = c_0 \cdot I_0 + c_1 \cdot I_1 + c_2 \cdot I'_0 + c_3 \cdot I'_1$$


$$c_3 = \left( -\frac{s^2}{L_1} + \frac{s^3}{L_1^2} \right)$$

# LMAT\_SIMEL

- For each segment node the charge density and the corresponding derivative have to be calculated.
- Continuity conditions (of level 2) at interconnection segment nodes and relaxed natural boundary conditions at extreme points defining the Line are applied, in order to make the systems of equations possible to solve.

- For all segment nodes it is obtained the relation between  $[\hat{I}]$  and  $[\hat{I}']$

$$[C] \cdot [\hat{I}'] = [D] \cdot [\hat{I}]$$

# LMAT\_SIMEL

- The phasor electric Potential  $\hat{V}_P$  at a point P(x, y, z) due to a Line with  $N_s$  segments is given by

$$\hat{V}_P = \hat{V}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_s} L_i \cdot \int_{s=0}^{s=1} \frac{\hat{I}_i(s)}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \cdot ds$$

After some manipulation

$$\hat{V}_P = \sum_{i=1}^{N_s} \left( \frac{t}{4\pi\epsilon_0} \int_0^1 \frac{\begin{bmatrix} \hat{I}_0 & \hat{I}_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_o(s) \\ k_1(s) \end{bmatrix}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} ds \right) + \sum_{i=1}^{N_s} \left( \frac{t}{4\pi\epsilon_0} \int_0^1 \frac{\begin{bmatrix} \hat{I}'_0 & \hat{I}'_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k'_o(s) \\ k'_1(s) \end{bmatrix}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} ds \right)$$

# LMAT\_SIMEL

- If the points are chosen as the segment nodes of the Lines, the corresponding voltage values are the voltage reference values of the Lines and the following equation holds:

$$[\hat{V}] = [A] \cdot [\hat{I}] + [B] \cdot [\hat{I}']$$

as

$$[\hat{I}'] = [C]^{-1} \cdot [D] \cdot [\hat{I}]$$

- The charge density at each node segment is given by:

$$[\hat{I}] = \left( [A] + [B] \cdot [C]^{-1} \cdot [D] \right)^{-1} \cdot [\hat{V}]$$

# LMAT\_SIMEL

- The value of the resultant components  $E_{xR}$ ,  $E_{yR}$  and  $E_{zR}$  will be the arithmetic sum of the contributions of each segment.
- The electric field is a vector where components in the x, y, z directions are also phasors, thus varying in time in a sinusoidal way.
- For electric field exposure assessments we are interested in the effective value  $E_{ef}$

$$E_{ef} = \sqrt{\frac{\overline{\hat{E}} \cdot \overline{\hat{E}}^*}{2}} = \sqrt{\frac{(E_{xReal}^2 + E_{xImag}^2) + (E_{yReal}^2 + E_{yImag}^2) + (E_{zReal}^2 + E_{zImag}^2)}{2}}$$

# LMAT\_VISUAL.ELF

- The module **LMAT\_VISUAL.ELF** allows the **visualization of the 3D field distribution** in the plane of analysis, a section of the solution profile, as well the value of the field in any point on the plane of analysis.
- This software makes use of numerical interpolation techniques to obtain smoother variations or more refined grid.

# LMAT\_VISUAL.ELF

- This software tool also allows:
  - The visualization of each component of the field
  - The visualization of a 2D projection of the field distribution
  - Contour lines corresponding to isovalues of the field
  - The representation of color shaded plots.
- In this module the graphics are graded by a scale colors pre-defined by the user.



# Results

- It is presented as an illustration example the magnetic and electric field emanated from two High Voltage Power Line (232 kV) carrying 235.6 A per phase conductor in one Line and 103.4 A in other Line.
- The first segment Line has 262.4m of length and the catenary parameters for each conductor cable and guard cable are 1602 and 2300 respectively.
- The second segment Line has 238.8m of length and the catenary parameters are 1254 for each conductor cable and 2720 for guard cable.

# Results

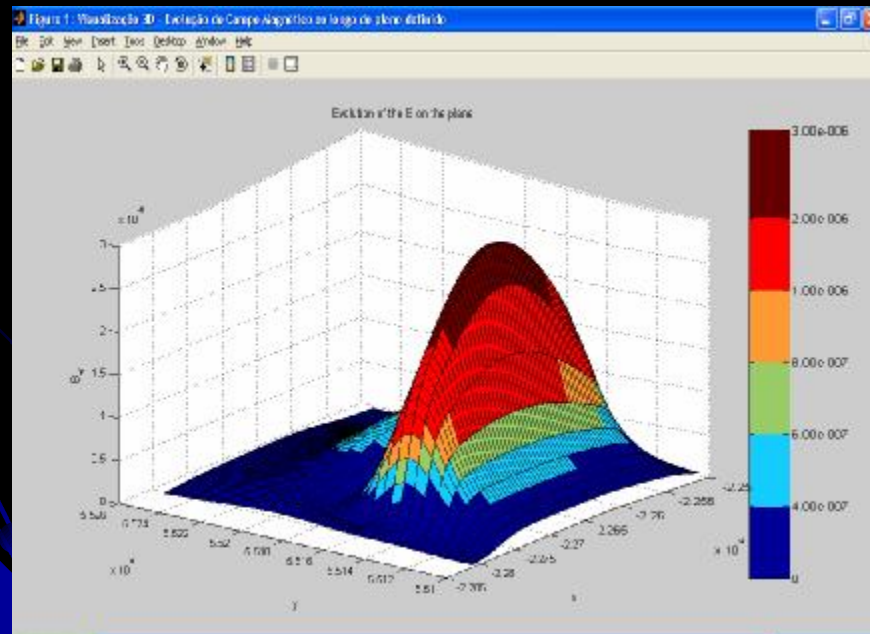
- The solution plane is defined by a span of Lines and has a slope defined by coordinates of the supports. The chosen plane was 1m above the ground level.



*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

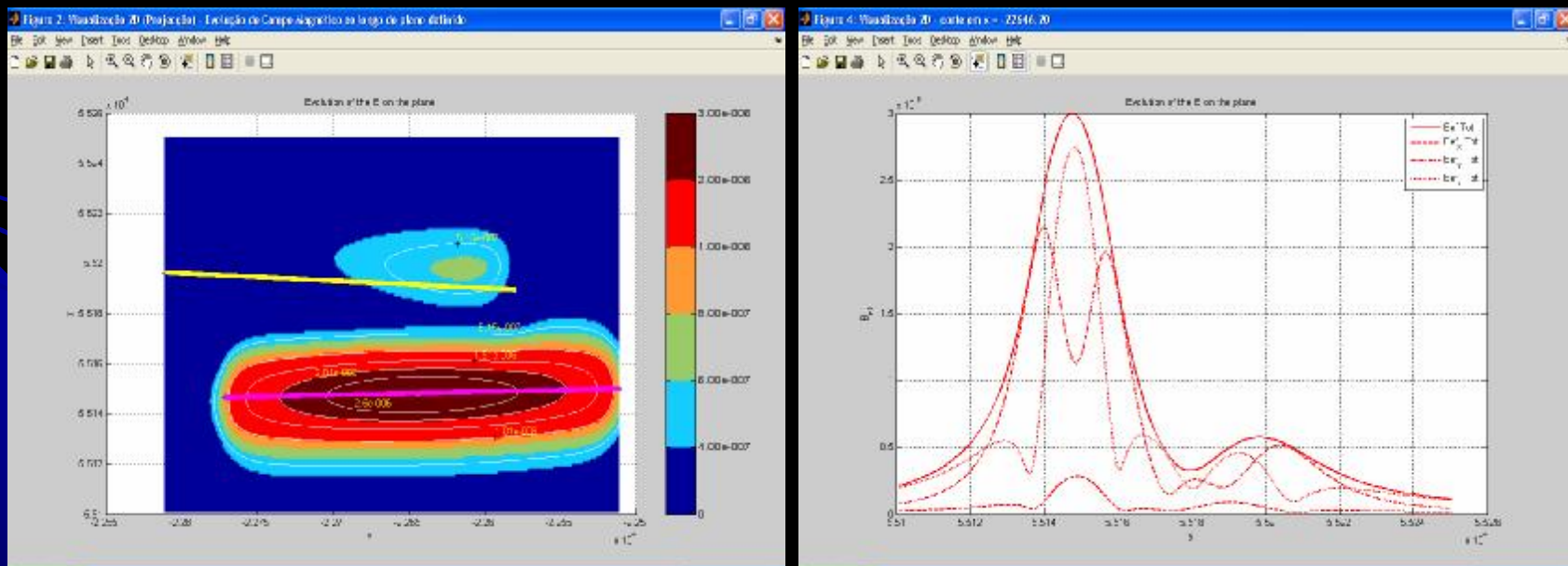
# Results

- To get a deeper analysis of the results it is used the LMAT\_VISUAL.ELF module.
- The 3D distribution of the magnetic field on plane graded by a scale colours pre-defined by the user.



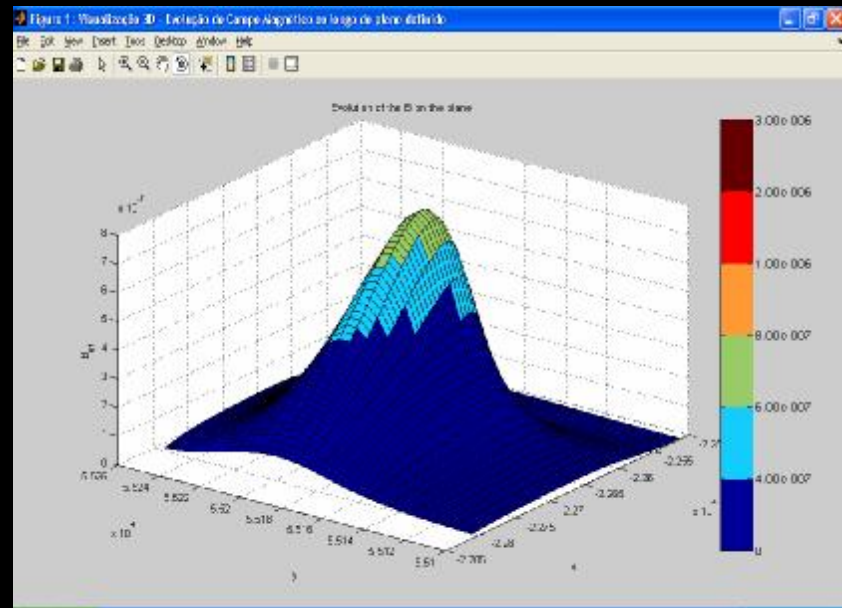
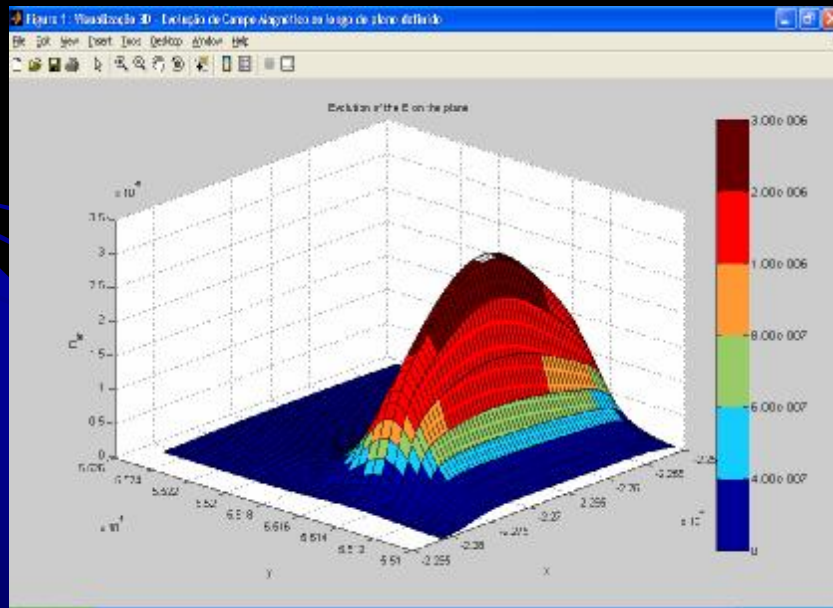
# Results

- The LMAT\_ISUAL.ELF allows the visualization of the 2D projection of the field distribution and the visualization of a section of the solution profile.



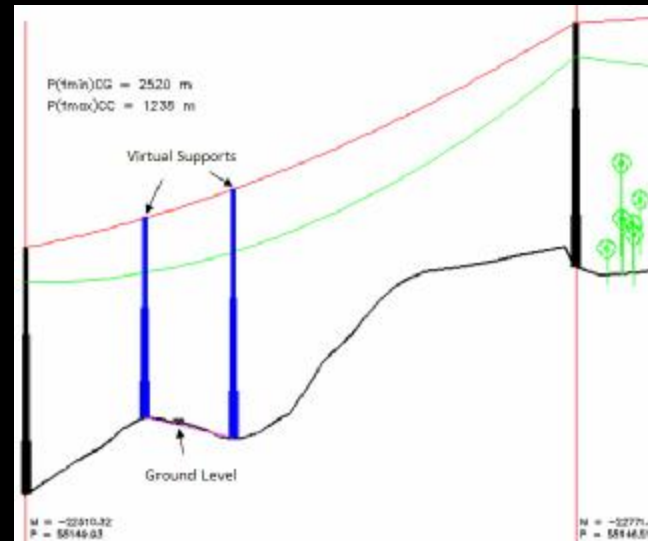
# Results

- As the 3D distribution of the field is due two Lines, this software package allows the visualization of the 3D contribution of each Line.



# Results

- To analyse the evolution of the electric field it is necessary to create two virtual supports to consider the constant inclination of the terrain.

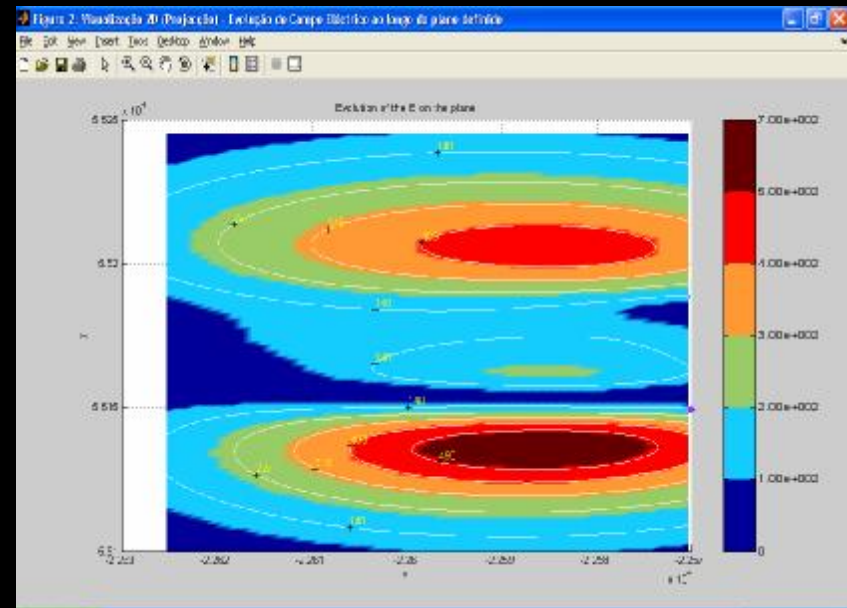
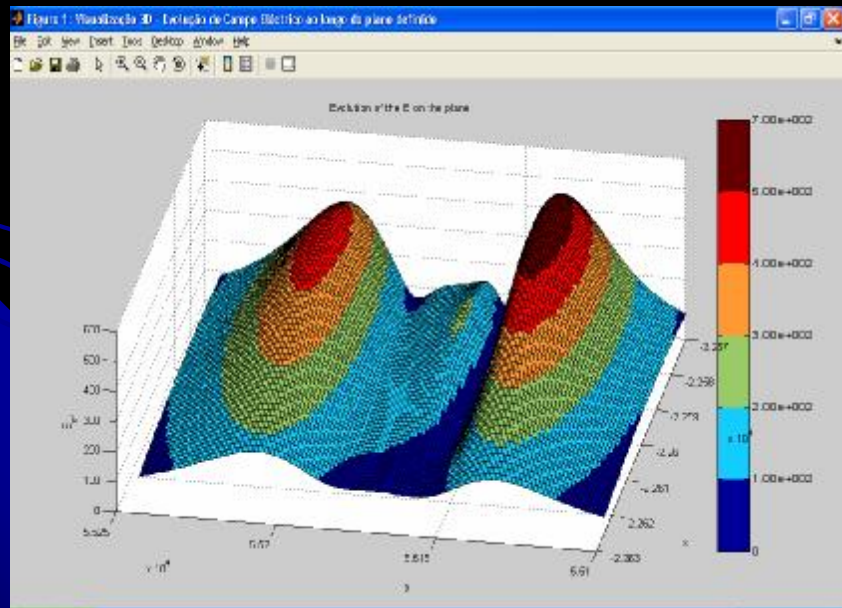


- The new solution plane is defined by a span of the new segments Lines. The chosen plane was 1m above the ground level.

*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

# Results

- The 3D distribution of the electric field on the plane graded by a scale colours pre-defined by the user.



# Certification of the results

- To certify the magnetic and electric field numeric results we measured the magnetic and electric field in some points below the Lines.



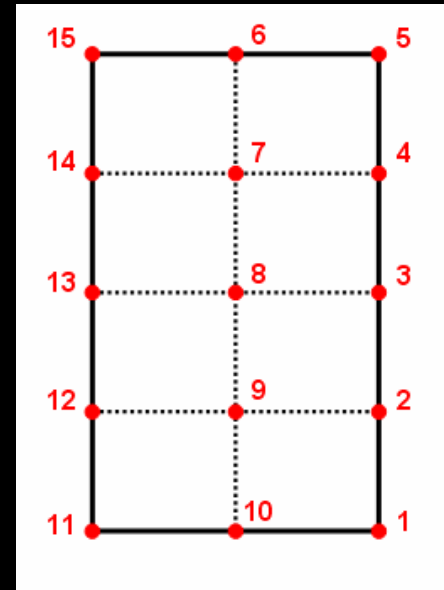
*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*



# Certification of the results



Numeration of the points



Grid

# Certification of the results

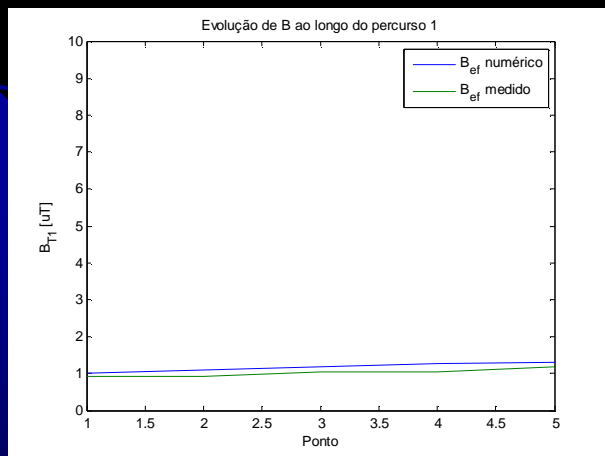
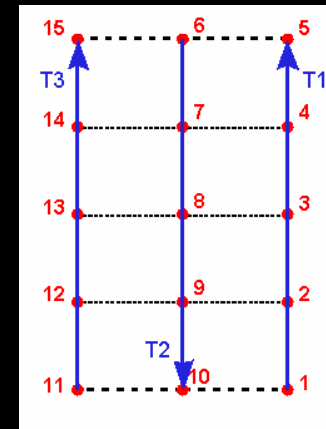
- In the next table is present the numerical and measured values of the magnetic field.

Point	$B_{ef}$ (Numerical) [ $\mu T$ ]	$B_{ef}$ (Measured) [ $\mu T$ ]	Error [ $\mu T$ ] $e =  B_{Numerical} - B_{Measured} $
1	1,0052	0,925	0,0802
2	1,1062	0,925	0,1812
3	1,1954	1,025	0,1704
4	1,2643	1,025	0,2393
5	1,3058	1,175	0,1308
6	1,2889	1,225	0,0639
7	1,2493	1,025	0,2243
8	1,1828	1,025	0,1578
9	1,0959	0,825	0,2709
10	0,9973	0,875	0,1223
11	0,9892	0,875	0,1142
12	1,0855	0,925	0,1605
13	1,17	1,025	0,145
14	1,2345	1,025	0,2095
15	1,2721	0,725	0,5471

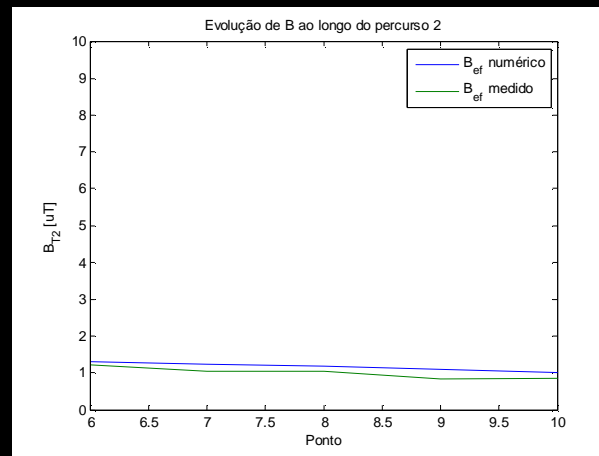
*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

# Certification of the results

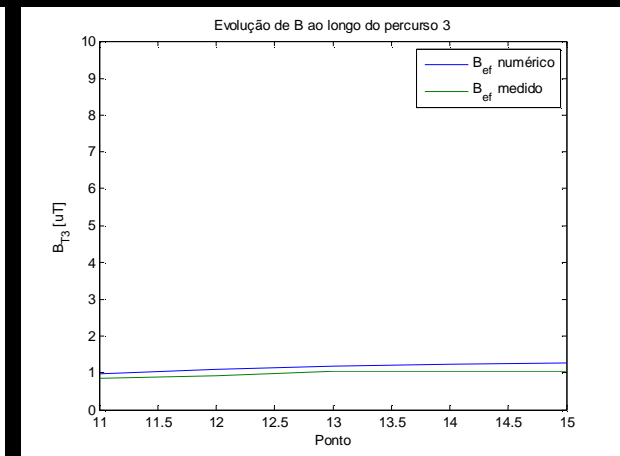
- It is presented the numerical and measured values in three different paths T1, T2 and T3.



Variation in T1



Variation in T2



Variation in T3

# Certification of the results

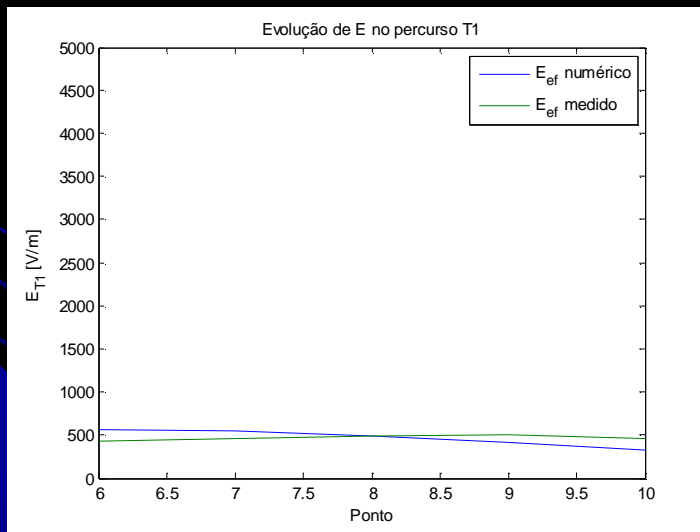
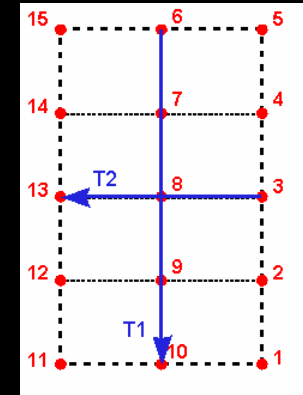
- As for the electric field, it is obtained the following table.

Point	$E_{ef}$ (numerical) [V/m]	$E_{ef}$ (Measured) [V/m]	Erro Absoluto [V/m] $e =  E_{Numerical} - E_{Measured} $
3	485,331	520,481	35,15
6	566,804	424,382	142,42
7	542,264	461,411	80,85
8	493,164	492,544	0,62
9	420,728	510,196	89,47
10	329,601	462,817	133,22
13	498,688	464,866	33,82

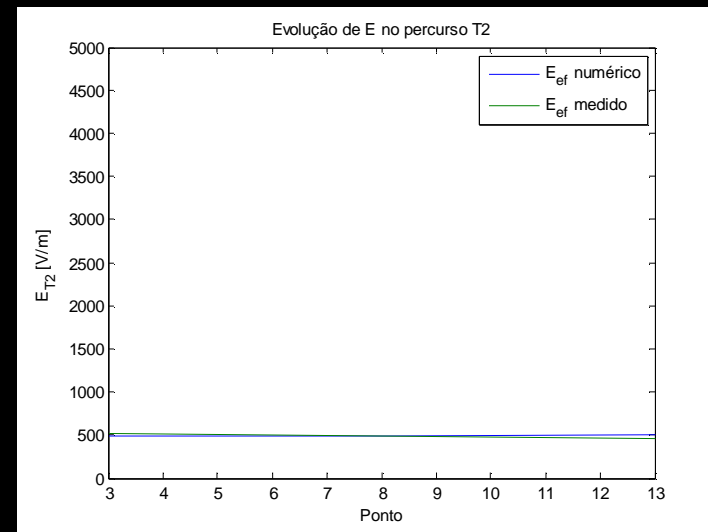
*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

# Certification of the results

- It is presented the numerical and measured values in two different paths T1, and T2.



Variation in T1



Variation in T2

# Conclusions

- It was presented a software tool to calculate the magnetic and electric field emanated from High Voltage Power Lines.
- The error in the field solution is quite negligible when comparing with measured values **The errors vary in the range of [0,0639; 0,2709]  $\mu\text{T}$  for the Magnetic Field and in the range of [0,62; 142.42] V/m for the Electric Field.**
- It is expected that this package may help the electrical engineers designers in **assessing the levels of elf electromagnetic fields** emanated from already existing Lines as well as an **aid planning tool** for new projects of HVPLs.

# Acknowledgement

- The authors gratefully acknowledge **REN-Redes Energéticas Nacionais SGPS, SA** for the financial support received under Project COIMBRA\_EMF.ELF for the development of this work.

*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*

# Pensamento

- Filósofo Grego Sócrates:

I am the wisest man alive, for I know one thing, and that is that I know nothing

(Plato's Apology 1.21)

- Assim creio não poderemos dizer depois disto

BUSINESS AS USUAL

*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*



Obrigado pela vossa atenção

*Palestra Univ. Piaget - Praia  
Janeiro 2008*