



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - X**

**GRUPO DE ESTUDO DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS**

**CÁLCULO E MEDIÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS EM SEs E LTs**

**Sandro de C. Assis(\*)**  
**CEMIG DISTRIBUIÇÃO**

**Roberto M. Coutinho**  
**CEMIG DISTRIBUIÇÃO**

**Elilson E. Ribeiro**  
**NSA CONSULTORIA**

**Letícia M. de Souza**  
**NSA CONSULTORIA**

**RESUMO**

Este artigo apresenta uma discussão a respeito do atendimento à Resolução Normativa nº 398/2010 da ANEEL e a experiência da NSA e da CEMIG na modelagem de LTs e SEs para efeito de cálculo dos campos elétricos e magnéticos, de 60Hz, que estarão expostas às pessoas internamente ou nas proximidades de instalações de geração, transmissão, e distribuição de energia elétrica.

Serão abordadas aproximações necessárias à viabilização do cálculo, dificuldades de se realizar a simulação de geometrias tridimensionais, detalhes de modelagem de uma subestação real, comparando os resultados calculados com medições realizadas no pátio de 138kV de uma SE da CEMIG.

**PALAVRAS-CHAVE**

Subestações, Linhas de Transmissão, Campo Elétrico, Campo Magnético, Cálculo e Medição.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A Resolução Normativa ANEEL nº 398/2010, de 23 de maio de 2010, regulamenta a Lei nº 11.394, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originados em instalações de geração, transmissão, e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz. Os níveis de referência de campos elétricos e magnéticos estabelecidos nesta resolução, com valores distintos para o público em geral e para a população ocupacional, deverão ser observados tanto em instalações novas quanto nas existentes.

Para comprovar o atendimento aos níveis de referência, a resolução exige a apresentação de memórias de cálculo ou de relatórios de medição dos campos elétricos e magnéticos gerados nas instalações de tensão nominal igual ou superior a 138 kV.

Outra opção apresentada pela resolução da ANEEL, bem mais complexa e que exige uma modelagem detalhada não só da instalação, mas também do ser humano, é a apresentação de relatórios de conformidade com as restrições básicas do ICNIRP – *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, envolvendo a avaliação da distribuição da densidade da corrente induzida no corpo de uma pessoa quando exposta aos campos elétricos e magnéticos gerados pelas LTs e SEs. Entretanto, conforme pode ser constatado no item “*Reference Levels*” da referência [3], para efeito de demonstrar a conformidade com as restrições básicas, pode-se utilizar os níveis de referência de campos elétricos e magnéticos estabelecidos pelo próprio ICNIRP (dentro das condições citadas no guia, como, por exemplo, campo médio ao longo de uma pessoa, sem que as restrições básicas sejam excedidas em locais de exposição localizada). Assim, pelo menos inicialmente, não se justifica a elaboração dos relatórios de conformidade em substituição à apresentação das memórias de cálculo ou dos relatórios de medição dos campos elétricos e magnéticos.

(\*) Avenida Barbacena, nº 1200 – 11º Andar - Ala B2 – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG – Brasil  
Tel: (+55 31) 3506-2967 – Fax: (+55 31) 3506-2948 – Email: sandro.assis@cemig.com.br

A seguir é apresentada a experiência da NSA e da CEMIG na avaliação de campos elétricos e magnéticos, de 60 Hz, gerados por LTs e SEs. Inicialmente são apresentadas as metodologias de cálculo utilizadas, que foram implementadas pela NSA no software SEField e, logo em seguida, são descritos critérios gerais e detalhes envolvidos na modelagem de uma subestação real (SE Betim 5). Por fim, são apresentados e comparados os resultados obtidos através de simulação e de medições nesta SE.

Todas as medições e cálculos foram realizados a 1,5 m de altura da superfície do solo.

É importante salientar que a Resolução nº 398/2010 da ANEEL especifica, de forma explícita, o cálculo ou a medição de campos elétricos e magnéticos gerados por LTs e SEs ao nível do solo (a 1,5 m de altura) apenas para o caso de análise da exposição do público em geral a tais campos. Para a população ocupacional, a citada resolução não indica quais as situações e onde calcular/medir os campos elétricos e magnéticos gerados por LTs e SEs. A única exceção se refere à especificação do cálculo ou a medição dos campos ser feita internamente às SEs e às faixas de servidão das LTs.

Diante desta indefinição por parte da ANEEL, a maioria das empresas do setor elétrico tem realizado os cálculos ou as medições dos campos elétricos e magnéticos apenas para pontos a 1,5 m de altura, seja nas proximidades de LTs, seja internamente ou externamente às SEs.

## 2.0 - METODOLOGIA DE CÁLCULO

O cálculo dos campos elétricos e magnéticos gerados no ar em SEs e LTs pode ser realizado utilizando, respectivamente, o Método de Simulação de Cargas – MSC [1] e a Lei de Biot-Savart [2].

A seguir estas metodologias de cálculo são apresentadas de forma sucinta. Elas foram implementadas no software SEField, desenvolvido pela NSA, e foram utilizadas nos cálculos cujos resultados são apresentados no presente artigo.

### 2.1 Método de Simulação de Cargas – MSC

O método de simulação de cargas, MSC, baseia-se na simulação da distribuição real das cargas elétricas superficiais aos condutores por um conjunto de cargas discretas colocadas no interior dos mesmos. Estas cargas discretas são calculadas de tal forma que os potenciais por elas gerados em alguns pontos na superfície dos condutores (pontos de amostragem) sejam iguais aos potenciais especificados para estes condutores.

Sendo  $N$  o número de cargas discretas  $[q]$ , pode-se escrever o potencial induzido por estas cargas em um ponto  $(x, y, z)$  do espaço por:

$$\phi(x, y, z) = \sum_{i=1}^N P_i q_i$$

onde,  $P_i$  é o coeficiente de potencial de Maxwell, que depende da posição relativa do ponto  $(x,y,z)$  e a carga  $q_i$  da configuração geométrica desta carga (carga pontual, segmento ou anel de carga, etc).

Fazendo-se o ponto  $(x,y,z)$  se localizar sobre a superfície de um elemento condutor de potencial  $\phi_c$ , tem-se como condição de contorno:

$$\phi(x_c, y_c, z_c) = \sum_{i=1}^N P_{ci} q_i = \phi_c$$

Escrevendo equações semelhantes para  $N$  pontos sobre a superfície dos vários elementos condutores que compõem a geometria analisada, obtém-se o seguinte sistema linear:

$$[P][q] = [\phi_c]$$

Resolvendo-se este sistema linear, obtém-se os valores das cargas  $[q]$  que fazem com que os potenciais nos  $N$  pontos de amostragem sejam iguais aos valores especificados (atendimento à condição de contorno de Dirichlet nestes pontos).

Calculadas as cargas  $[q]$ , o campo elétrico em qualquer ponto  $(x,y,z)$  do espaço pode ser calculado, utilizando superposição, pela seguinte equação:

$$E_k(x, y, z) = \sum_{i=1}^N C_k q_i \quad k = (x, y, z)$$

onde  $C_k$  depende da posição do ponto  $(x,y,z)$  em relação a cada carga e da geometria das mesmas.

Para um segmento de carga de comprimento  $L$ , o campo é dado por:

$$\vec{E} = \int_0^L \frac{q dl}{4\pi\epsilon_o L r^2} \vec{a}_R$$

onde  $\vec{E}$  é o campo elétrico gerado pela carga  $q$  distribuída ao longo do segmento de reta de comprimento  $L$ ,  $\epsilon_o$  é a permissividade do ar,  $r$  é a distância do  $dl$  ao ponto de cálculo e  $\vec{a}_R$  é um vetor unitário que aponta do  $dl$  ao ponto de cálculo do campo.

Como pode ser constatado na referência [1], onde o MSC é apresentado em detalhes, este método também pode ser utilizado em geometrias que contenham vários materiais dielétricos e mesmo cargas espaciais livres (necessárias em aplicações tais como estudos de disrupção dielétrica do ar). Os coeficientes  $P$  e as equações de cálculo de campos elétricos para várias configurações de carga são apresentados nesta mesma referência.

No caso da simulação de SEs e LTs, para efeito de avaliação da exposição do ser humano aos campos elétricos por elas gerados, decidiu-se por utilizar apenas segmentos de carga, sendo que com eles se simula as cargas reais em condutores cilíndricos e paralelepípedos. Os dielétricos não são simulados.

## 2.2 Aplicação da Lei de Biot-Savart no cálculo de campos magnéticos no ar

A metodologia utilizada no cálculo de campo magnético gerado no ar por SEs e LTs baseia-se na aplicação da lei de Biot-Savart para elementos de corrente finitos (segmentos de corrente).

A lei de Biot-Savart, em sua forma integral, é dada por:

$$\vec{B} = \oint \frac{\mu_o I d\vec{l} \times \vec{a}_R}{4\pi R^2}$$

onde  $\vec{B}$  é a densidade de fluxo magnético,  $d\vec{l}$  é um elemento diferencial de comprimento,  $I$  é a corrente que circula no  $d\vec{l}$ ,  $R$  é a distância ao ponto de cálculo e  $\vec{a}_R$  é o vetor unitário que aponta do  $d\vec{l}$  para o ponto de cálculo do campo.

Para um elemento de corrente finito (segmento de corrente), conforme mostrado na Figura 1, retirada da referência [2], esta equação pode ser simplificada para:

$$\vec{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi\rho} (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1) \vec{a}_\phi$$

Ainda que, em geral, a imagem magnética tenha efeito reduzido no campo magnético acima do solo, a mesma pode ser considerada nos cálculos. A profundidade da imagem magnética pode ser avaliada utilizando a aproximação de Carson:

$$\text{Profundidade} = 658,368 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (m)$$

onde  $\rho$  é a resistividade média do solo, em Ohms.m, e  $f$  é frequência da rede, em Hz.

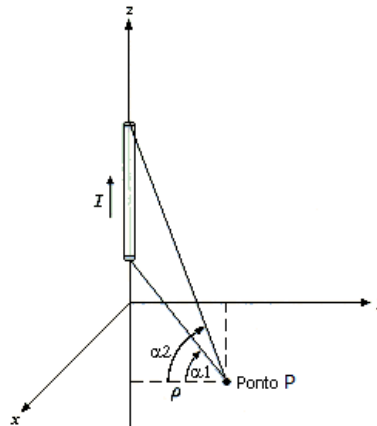


FIGURA 1 - Filamento de corrente de comprimento finito no eixo z.

O cálculo realizado pelo software SEField é feito a partir desta última forma aqui apresentada para a equação da Lei de Biot-Savart, utilizando superposição do campo magnético gerado, pelos vários segmentos, em um determinado ponto.

### 3.0 - MODELAGEM E DISCRETIZAÇÃO DA GEOMETRIA DE LTS E SES PARA EFEITO DE CÁLCULO

Para efeito de cálculo dos campos gerados por LTs com o objetivo de avaliar a exposição de pessoas ao nível do solo (a 1,5 m de altura, conforme especificado pela resolução da ANEEL), os condutores das mesmas podem ser simulados através de condutores cilíndricos com uma altura correspondente à menor altura cabo-solo a ser considerada. A disposição dos cabos é a do ponto de maior flecha (considerando que o cálculo seja avaliado para um vão nivelado). A simulação das estruturas metálicas não é necessária quando se avalia os campos em pontos distantes das mesmas, como é o caso do ponto de menor altura cabo-solo em um vão razoavelmente nivelado.

A experiência da CEMIG (referência [7]) tem mostrado que a modelagem bidimensional dos cabos condutores e para-raios de LTs é suficiente para se avaliar os campos elétricos e magnéticos ao nível do solo.

Com o mesmo objetivo de se avaliar os campos elétricos e magnéticos ao nível do solo, uma subestação real pode ser aproximada por dois tipos básicos de elementos geométricos: cilindros e paralelepípedos. Os cilindros são utilizados na simulação de barramentos, cabos nus em geral e de partes metálicas aterradas, tais como estruturas de suportes de equipamentos (trata-se de uma aproximação, pois não é objetivo das simulações o cálculo de campo sobre as superfícies de tais suportes). Os paralelepípedos são utilizados na simulação de estruturas que possam ser aproximadas por eles ou por um conjunto deles, tais como os tanques de transformadores e os pórticos.

No cálculo de campo elétrico é necessário que se discretize a geometria de tal forma que cada cilindro possua mais de um segmento de carga, pois a carga ao longo dos mesmos pode variar consideravelmente, principalmente no caso de SEs.

Os materiais dielétricos de cadeias de isoladores e de buchas de equipamentos não são simulados.

Além dos dados geométricos de cada elemento básico deve-se especificar o potencial e a corrente que circula em cada um deles.

Como se verá pelos resultados apresentados a seguir, a modelagem aqui descrita permite uma simulação adequada de geometrias complexas como as de SEs.

### 4.0 - SE BETIM 5 – MODELAGEM DO PÁTIO DE 138 kV

Como parte dos trabalhos de investigação inicial visando o atendimento à Resolução Normativa ANEEL nº 398/2010 pela CEMIG Distribuição, decidiu-se por realizar o cálculo e a medição dos campos elétricos e magnéticos gerados na SE Betim 5, mais especificamente no pátio de 138 kV. A Figura 2 apresenta a planta do arranjo de equipamentos deste pátio, composto basicamente por 2 bays de LT e 3 de transformadores de 25 MVA, que alimentam LDs de 13,8 kV e bancos de capacitores.

Na modelagem do pátio de 138 kV da SE Betim 5, para efeito de cálculo de campo elétricos, além dos critérios gerais apresentados no Item 3.0, foram utilizadas algumas simplificações.

Equipamentos da subestação, tais como TPs, TCs e para-raios, tiveram suas bases metálicas representadas por cilindros de mesma altura das bases reais e com um raio corresponde ao de um círculo de mesma área da seção transversal de cada base. As conexões dos equipamentos ao barramento foram representadas desde o barramento até o início dos isoladores/buchas.

Os transformadores de potência foram modelados como paralelepípedos, cujas cargas superficiais foram simuladas por segmentos de carga alocados internamente a eles. Os tanques de óleo dos transformadores foram simulados por cilindros. As buchas não foram simuladas. As conexões dos transformadores aos barramentos foram simuladas apenas até uma distância de 0,5m da face superior do paralelepípedo relativo a cada transformador.

O pórtico de 138 kV foi representado por um conjunto de paralelepípedos, considerando as maiores dimensões do mesmo, para a simplificação do modelo.

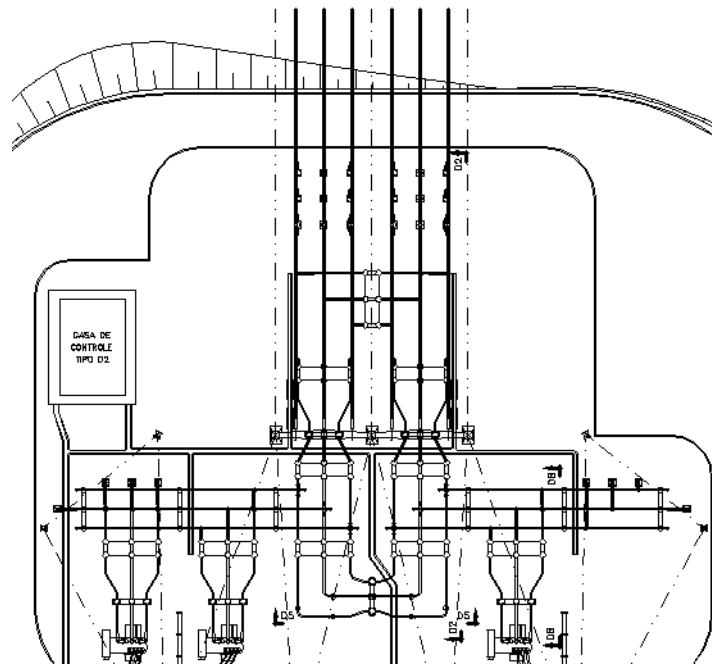


FIGURA 2 - Planta da SE Betim 5, arranjo dos equipamentos no pátio de 138kV. Na parte superior são indicadas duas saídas de LTs de 138 kV. Abaixo são apresentados 3 transformadores de potência.

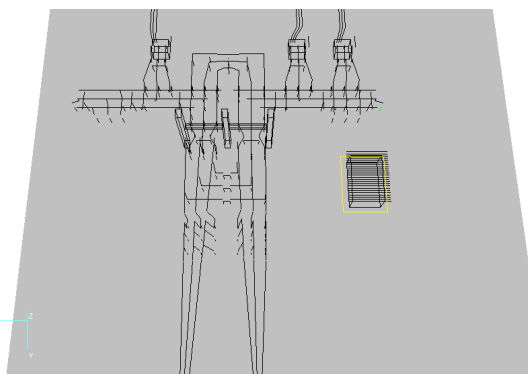
A Figura 3 mostra algumas vistas da representação da geometria de simulação do pátio de 138 kV da SE Betim 5.

As medições dos campos elétricos e magnéticos foram feitas com a subestação operando com cerca de 42% da carga máxima de seus transformadores. No momento das medições, as LTs estavam operando com uma potência de aproximadamente 25% de suas cargas máximas de projeto. Esta condição de operação não atende à especificação da Resolução Normativa ANEEL n° 398/2010, mas permitiu a comparação com os resultados dos cálculos.

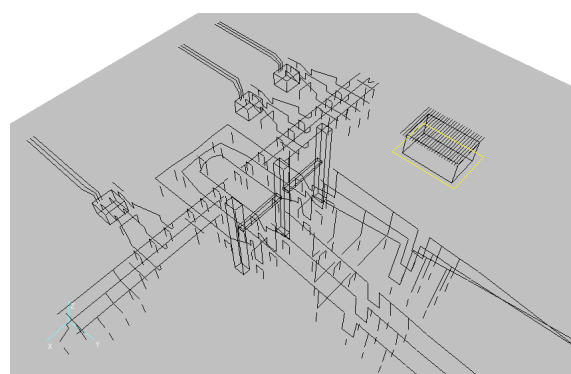
Tanto os cálculos como as medições cujos resultados são apresentados no item a seguir foram feitos para pontos internos ao pátio de 138 kV e próximos da casa de controle, em locais de circulação apenas da população ocupacional. Para as medições foi utilizado um analisador de campo EFA300, fabricado pela "NARDA Safety Test Solutions", calibrado em 2010. Este analisador permite a medição dos campos nas três direções do espaço, sendo equipado com filtros seletivos de frequências na faixa de 5 Hz a 32 kHz.

#### 4.1 Comparação entre valores calculados e medidos

As figuras a seguir apresentam os resultados de cálculos e medições de campos elétricos e magnéticos de 60 Hz na área do pátio de 138 kV da SE Betim 5 e próximo da casa de controle da SE.

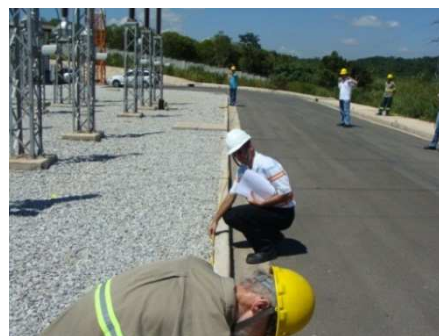
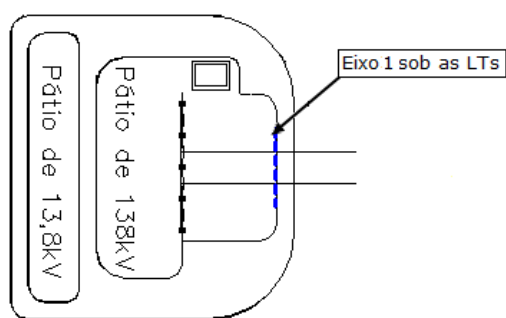


(a) Vista em perspectiva

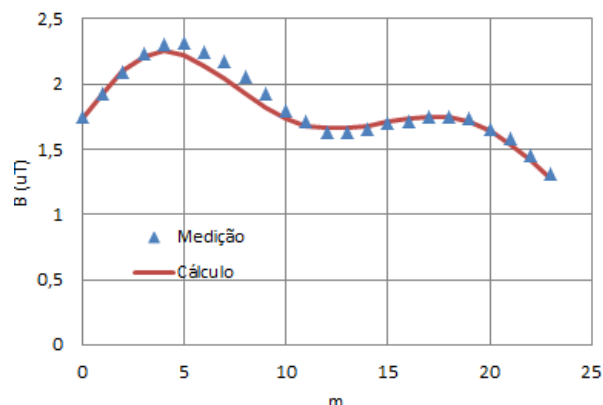
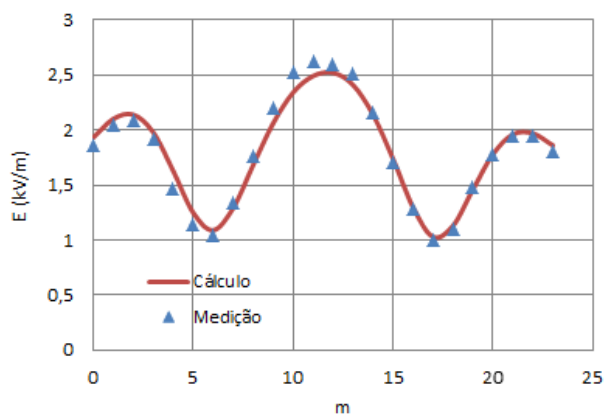


(b) Vista em perspectiva

FIGURA 3 - Representação da geometria de simulação do pátio de 138kV da SE Betim 5. O sistema de proteção contra descargas atmosféricas da SE não é aqui apresentado, mas foi simulado.

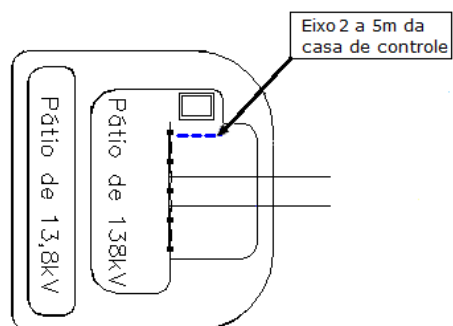


(a) Localização do Eixo 1 (a uma altura de 1,5m do solo).

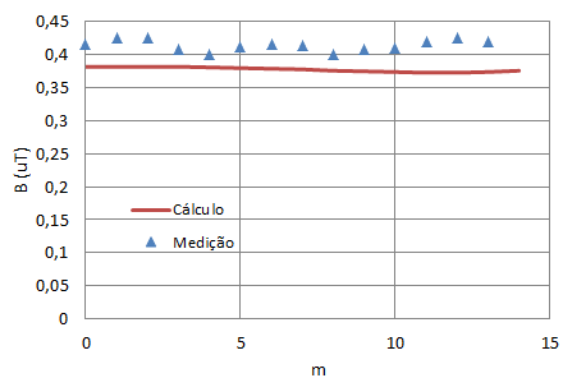
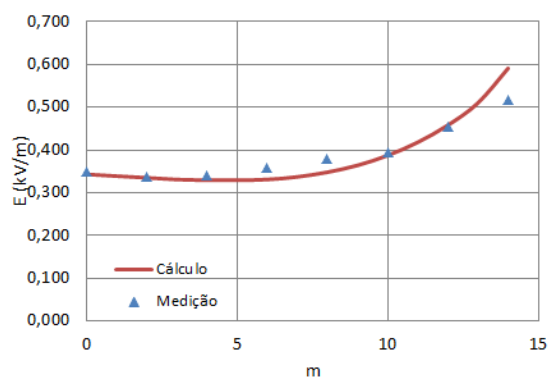


(b) Valor eficaz dos campos elétrico e magnético ao longo do Eixo 1 indicado em (a).

FIGURA 4 - Campos elétrico e magnético ao longo do Eixo 1, perpendicular aos condutores da chegada das LTs.



(a) Localização do Eixo 2 (a uma altura de 1,5m do solo).



(b) Valor eficaz dos campos elétrico e magnético ao longo do Eixo 2 indicado em (a).

FIGURA 5 - Campos elétrico e magnético ao longo do Eixo 2, paralelo aos condutores da chegada das LTs e a 5m da casa de controle.

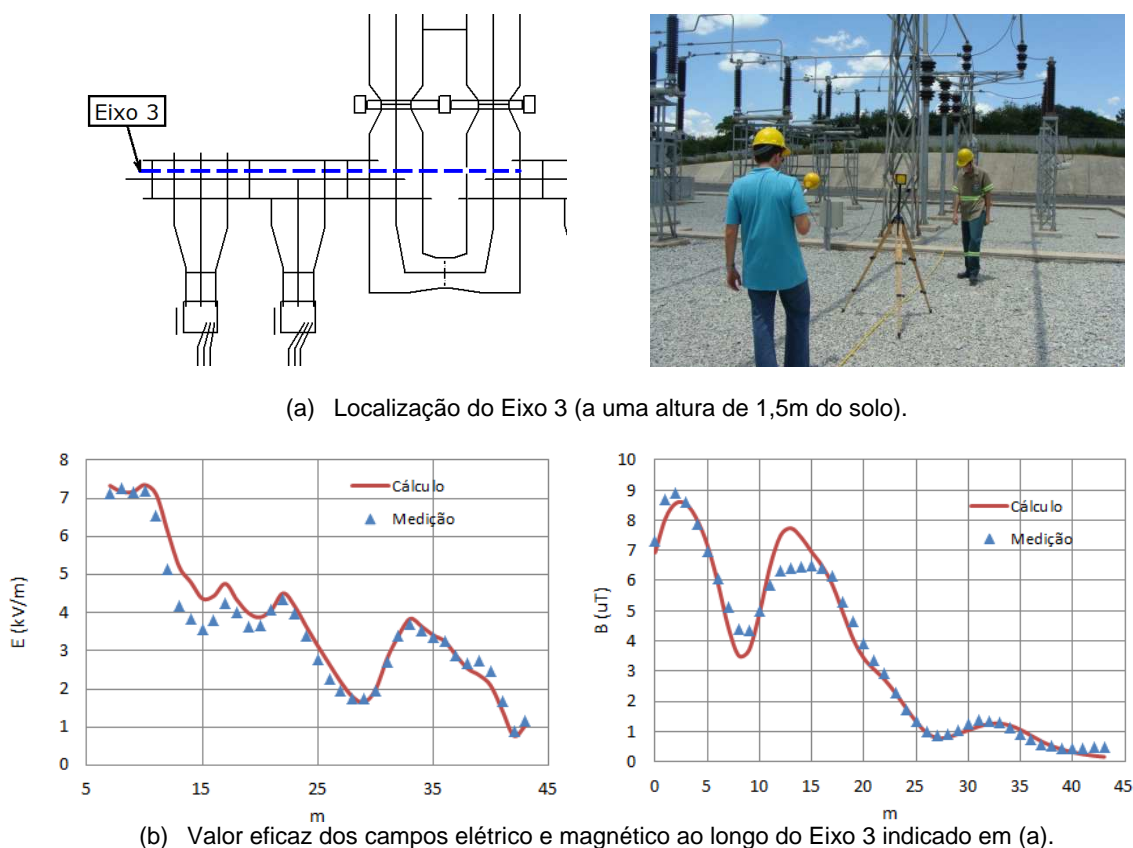


FIGURA 6 - Campos elétrico e magnético ao longo do Eixo 3, posicionado no interior do pátio de 138kV.

Observa-se uma boa correlação entre os valores medidos e calculados, sendo as discrepâncias entre eles se situaram, em geral, abaixo de 8%. Em termos de valores máximos de campo as discrepâncias se situaram abaixo de 5%.

As discrepâncias mais elevadas observadas entre os valores de campos magnéticos medidos e calculados ao longo do Eixo 2 e em parte do Eixo 3 se relacionam à simplificações assumidas na especificação das correntes que circulam nos barramentos e LTs e não à modelagem de cálculo propriamente dita. Tais simplificações foram feitas uma vez que não se dispunha de valores instantâneos das correntes e sim apenas dos valores eficazes das mesmas.

#### 4.2 Avaliação dos campos elétricos e magnéticos para a condição de máxima carga na SE Betim 5

Como a condição de operação da SE, no momento da realização das medições, não corresponde à exigida pela ANEEL, que é a de condição de operação com carga máxima, novos cálculos foram realizados.

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores de campo magnético máximos obtidos para os eixos 1 a 3 para a condição de operação de máxima carga nos transformadores da SE e nas LT. Também são mostrados os valores máximos para uma tensão operativa de 145 kV (5% de sobretensão).

Através da análise de campo nos eixos gráficos aqui apresentados, bem como em outros eixos e mapeamentos de curvas de isovalores de campo (que não foram aqui apresentados por uma questão de espaço), localizados internamente a SE, bem como em sua periferia, constatou-se que na SE Betim 5 não são gerados campos elétricos e magnéticos superiores aos níveis especificados na Resolução Normativa nº 398/2010 da ANEEL.

TABELA 1 - Valores máximos de Campo Elétrico e Magnético obtidos nos eixos 1 a 3

LOCAL	Campo Elétrico		Campo Magnético	
	Valor Máximo	Limite <sup>(1)</sup>	Valor Máximo	Limite <sup>(1)</sup>
Eixo 1 – Periferia do pátio, sob as LTs	2,6 kV/m	8,33 kV/m	10,8 $\mu$ T <sup>(2)</sup>	417 $\mu$ T
Eixo 2 - Proximidades da Casa de Controle	0,7 kV/m		2,9 $\mu$ T <sup>(2)</sup>	
Eixo 3 – Sob os barramentos de 138 kV	7,5 kV/m		56,3 $\mu$ T <sup>(3)</sup>	

NOTAS:

(1) Segundo Resolução Normativa nº 398 da ANEEL.

(2) 150 MVA nas LTs e sem corrente nos transformadores. Para as LTs fornecendo apenas a potência dos transformadores o campo se reduz para 3,6  $\mu$ T.

(3) Potência nominal nos transformadores e potência máxima em uma das LTs.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Os campos elétricos e magnéticos gerados por LTs e SEs podem ser avaliados através de cálculos utilizando o Método de Simulação de Cargas e a Lei de Biot-Savart, respectivamente.

A geometria relativamente simples das LTs permite a execução do cálculo de campo ao nível do solo com relativa facilidade, pois se trata de uma geometria bidimensional, quando não se considera o efeito das estruturas. Este é o caso da avaliação de campos no meio dos vãos onde os cabos estão, em geral, mais baixos.

No caso de SEs, a simulação é bem mais trabalhosa, pois é necessário considerar a natureza eminentemente tridimensional de sua geometria e também o fato das correntes variarem ao longo dos barramentos, de um trecho para o outro. Apesar desta maior complexidade, o cálculo é viável quando a geometria é simulada de forma simplificada para atender ao objetivo específico de avaliar os campos ao nível do solo.

É importante salientar que a grande vantagem da execução de cálculos em relação à realização de medições em SEs existentes se refere ao fato de se poder executar o cálculo na condição de operação desejada para a SE. Por exemplo, a execução de medições na condição de carga máxima, como especificado pela resolução da ANEEL, situação que já é extremamente difícil para as LTs, é praticamente inviável para as SEs, principalmente quando se leva em consideração as várias formas que as mesmas podem operar.

Com relação ao atendimento à Resolução Normativa nº 398/2010 da ANEEL, as dificuldades se referem não só em relação ao procedimento de medição ou aos processos de cálculo necessários para se obter os níveis de campos gerados pelas LTs e SEs, mas principalmente com relação às condições de operação da instalação a considerar (se em regime de operação normal, em emergência, plena carga etc.) e aos locais onde os campos devem ser avaliados/medidos (ao nível do solo, em altura, durante manutenção em linha viva). Até o momento da elaboração do presente artigo, era consenso geral que os campos deveriam ser avaliados ao nível do solo (a 1,5 m de altura). A questão da condição de operação da instalação era ainda debatida em função das dificuldades de se fazer uma quantidade muito grande de medições em um tempo curto e somente no período de maior carregamento do sistema.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SINGER, H., STEINBIGLER, H., WEISS., P. A - Charge Simulation Method For The Calculation Of High Voltage Fields. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, Issue 5, Sept. 1974, pp. 1660 - 1668.
- (2) HAYT, W. , BUCK, J. - Eletromagnetismo; Sexta Edição, LTC Editora, 2003.
- (3) INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300Ghz) – April 1998, Volume 74, Number 4.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Métodos de Medição e Níveis de Referência para Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos na Frequência de 50 e 60 Hz - NBR 15415. Brasil.
- (5) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 398/2010, de 23 de maio de 2010.
- (6) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 403/2010, de 29 de junho de 2010.
- (7) GUIMARÃES, G. – Medições e Cálculos de Campos Elétricos e Magnéticos de Uma Linha de Transmissão de 500 kV – Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - UFMG – Maio de 2005.



## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Sandro de Castro Assis.** Nascido em 1980 em Coronel Fabriciano, MG. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2004 e mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2006. É engenheiro de projetos de sistemas elétricos de linhas e subestações da Cemig Distribuição.



**Roberto Márcio Coutinho.** Nascido em 1952 em Belo Horizonte, MG. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1978. Pós-graduado em sistemas elétricos de potência em 1985 pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É engenheiro de projetos de sistemas elétricos de linhas e subestações da Cemig Distribuição. Membro do Cobei. Coordenador do guia de aplicação de para-raios raios de resistor não linear em sistemas de potência de corrente alternada -procedimentos.



**Elilson Eustáquio Ribeiro.** Nascido em 1961 em Morada Nova de Minas, MG. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1984 e mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1987. É engenheiro consultor da NSA Consultoria e professor da PUC Minas.



**Letícia Marques de Souza.** Nascida em 1987 em Contagem, MG. Aluna do curso de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), com colação de grau prevista para Julho/2011. Realiza estágio na NSA Consultoria desde maio/2010.