

Simulação de Campo Elétrico 3D em Instalações Complexas do Setor Elétrico para a Verificação do Atendimento da Resolução Normativa ANEEL 398/2010

(EMField, *short paper* 09 - 2010)

Ricardo L. Araújo*, Artur R. Araújo
EMField Engineering do Brasil Ltda

1 RESUMO

Este artigo técnico apresenta os resultados de simulações computacionais de campo elétrico feitas pela EMField para a verificação do atendimento dos requisitos da Resolução Normativa 398/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica [4] em instalações complexas do setor elétrico utilizando-se de ferramenta tridimensional (3D).

2 INTRODUÇÃO

A Resolução Normativa ANEEL 398/2010 exige que todas as instalações do setor elétrico brasileiro (Transmissão, Geração e Distribuição) devem operar de modo a não submeter seus funcionários e o público em geral a níveis de campo elétrico e magnético (em 60 Hz) superiores aos recomendados pela Organização Mundial de Saúde - OMS. Tal legislação segue o estipulado pela Lei Federal 11934 de 2009.

A partir da R.N. 398/2010 os limites de exposição a serem respeitados no Brasil para campos de 60 Hz são os seguintes:

Tabela 1 – Limites de exposição

População exposta	Campo elétrico	Campo magnético
Trabalhadores	8,33 kV/m	416,67 μ T
Público em geral	4,17 kV/m	83,33 μ T

A resolução indica que os limites podem ser verificados nas instalações já existentes de duas maneiras distintas:

- Medição diretamente no empreendimento;
- Cálculo através de metodologia consagrada.

No caso da opção pelos cálculos teóricos, existem diferentes métodos disponíveis, porém o mais comum no país é o método descrito em [3] onde os cálculos são feitos de maneira manual ou auxiliados por planilhas eletrônicas. Tal método é extremamente eficaz para cálculos de sistemas como linhas de transmissão que possuem simetrias construtivas que permitem soluções bidimensionais.

A realização de cálculos em estruturas complexas e com pouca simetria é pouco empregada devido à dificuldades no modelamento das estruturas e à complexidade dos cálculos envolvidos no processo.

Para situações complexas a EMField emprega medições em campo através de instrumentação específica e também simulações computacionais extremamente confiáveis, sendo uma das poucas empresas do setor privado nacional com estas duas possibilidades de verificação dos níveis de campo em baixa frequência.

2.1 A Simulação Computacional

A metodologia computacional utilizada pela EMField para a simulação de campo elétrico é dividida em três partes distintas, a primeira trata-se de um programa comercial do tipo CAD para a construção do modelo tridimensional do problema em estudo. A segunda ferramenta desenvolvida pela própria EMField realiza a conversão dos dados do programa CAD para o programa de simulação propriamente dito e que também é uma ferramenta computacional comercial, neste caso o programa Sefield que emprega como algoritmo o método da simulação de cargas.

O método da simulação de cargas consiste basicamente no cálculo do campo elétrico de um sistema a partir da distribuição das cargas elétricas do mesmo, o que é obtido através das tensões envolvidas, ângulos de fase, e acoplamentos mútuos. Neste método o solo é considerado um condutor perfeito o que é possível devido ao curto tempo de relaxação do mesmo se comparado ao período da frequência do sistema em 60 Hz.

Usualmente são calculados os campos elétricos nos três eixos coordenados do sistema cartesiano, porém o valor utilizado para a comparação com os limites de

exposição corresponde ao vetor resultante das três componentes ($\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$) o que é ilustrado na Figura 1.

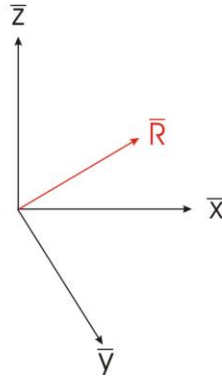


Figura 1 - Eixos cartesianos coordenados e o vetor resultante

Na apresentação dos resultados é utilizado sempre valor RMS da componente resultante do campo. No caso da verificação da exposição a campos elétricos no chão, os valores calculados correspondem ao campo a uma altura de 1,5 m em relação à superfície do solo conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 15415/2006.

A metodologia de simulação empregada pela EMField oferece resultados com um desvio típico de aproximadamente 5 % em relação às medições. A validação foi realizada pela empresa assim como por E. E. Ribeiro [1].

3 EXEMPLOS DE SIMULAÇÕES

3.1 Trabalhador em Torre de Transmissão

Este exemplo ilustra os níveis de campo elétrico a que estará submetido um trabalhador quando da execução de atividade em uma torre de transmissão de energia. O modelo ilustra uma linha de 138 kV com circuito duplo, formando ângulos de aproximadamente 35 graus com as estruturas adjacentes.

Nesta situação a questão é a exposição laboral quando da necessidade de escalada na estrutura para verificações de rotina, não se tratando portanto de atividade em linha viva onde o trabalhador utilizará roupa apropriada por regra.

O modelo computacional em 3D construído para o estudo do problema é apresentado na Figura 2 em vista frontal e na Figura 3 em vista aérea. O plano laranja nas figuras representa a superfície do solo.

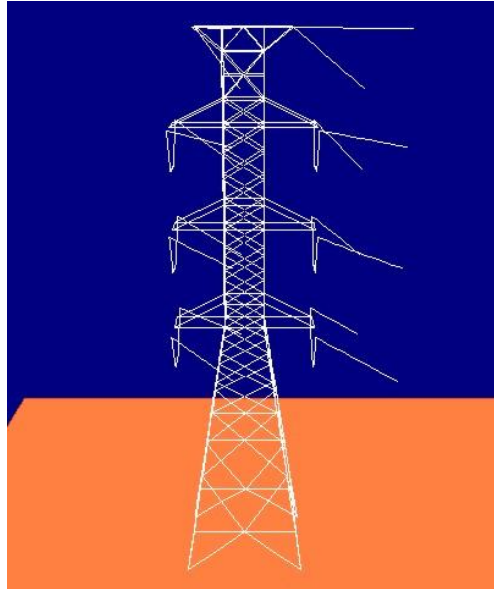


Figura 2 – Modelo em vista frontal

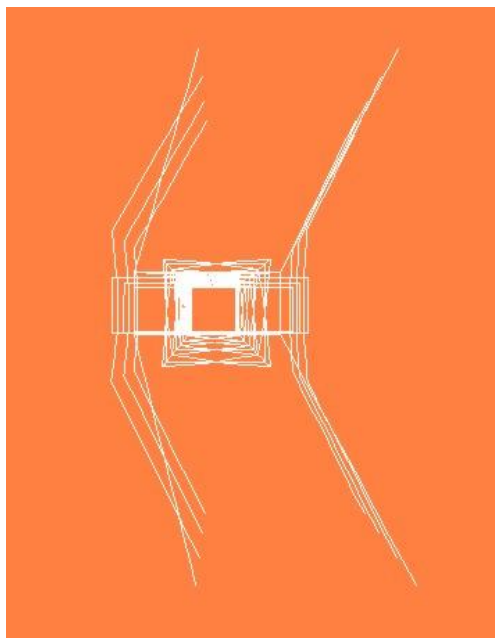


Figura 3 – Modelo em vista aérea

A técnica de simulação utilizada pela EMField ignora a presença dos isoladores, levando-se em consideração apenas as estruturas metálicas envolvidas de maneira significativa: cabos, pára raios e ferragem de sustentação.

Os elementos metálicos da estrutura que são comumente constituídos de ferragem de aço carbono com perfil em L são modelados na forma de cilindros em uma aproximação do problema que não apresenta erro significativo desde que não seja necessária a determinação exata do campo exatamente sobre o elemento simulado.

Para efeito de verificação do campo elétrico foram levadas em consideração duas situações distintas em que o trabalhador escala a estrutura externamente em duas rotas possíveis desde a base até o topo da mesma. Tais rotas (A e B) são apresentadas na Figura 4.

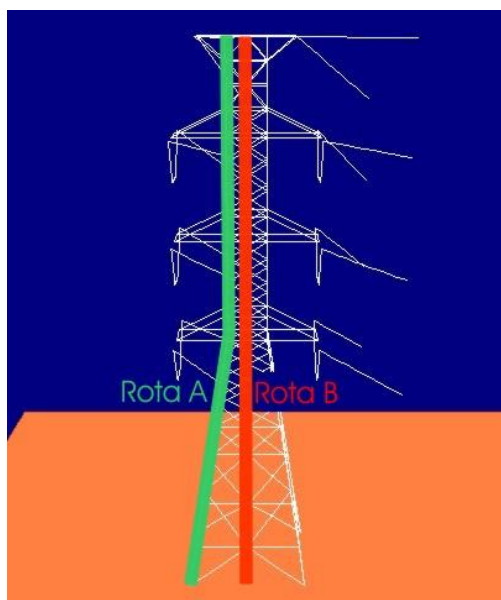


Figura 4 – Rotas externas de trajeto do trabalhador entre a base e o topo da estrutura

Os resultados da simulação são apresentados no gráfico da Figura 5. Neste gráfico é apresentada a exposição do trabalhador ao campo elétrico gerado pela linha de transmissão em função da rota percorrida pelo mesmo ao escalar a estrutura e à altura em relação ao solo. Também é apresentado o limite de exposição fixado pela ANEEL na Resolução 398/2010.

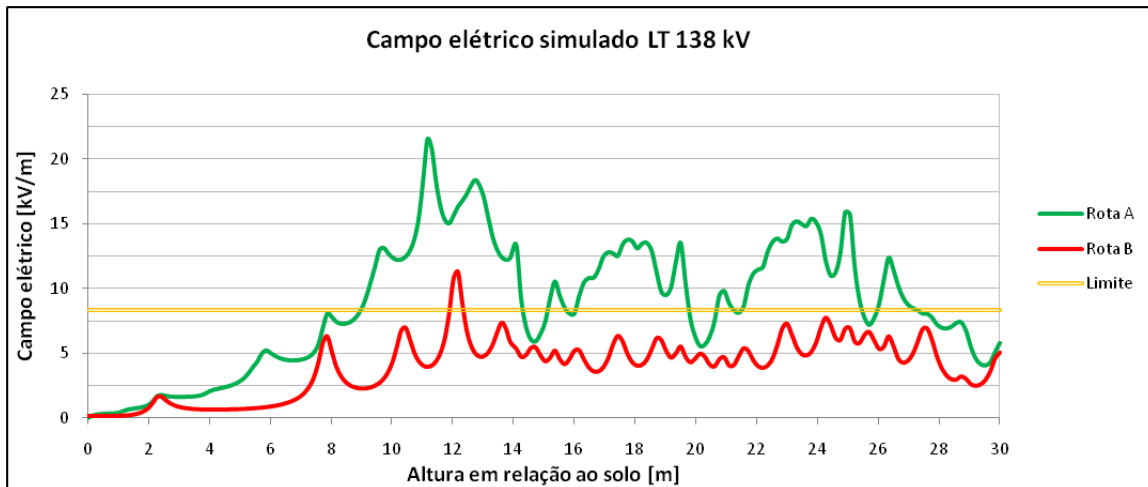


Figura 5 – Rotas externas de trajeto do trabalhador entre a base e o topo da estrutura (campo a 40 cm de distância da ferragem da estrutura)

Na análise dos resultados da simulação fica evidente a grande exposição do trabalhador ao utilizar a Rota A que segue pela lateral da estrutura. A partir de aproximadamente 9 metros de altura em relação ao solo o trabalhador estará constantemente sendo submetido a níveis de campo superiores ao estabelecido na R.N. 398/2010. O pico de exposição ocorre em aproximadamente 11 metros de altura com um nível de 21,56 kV/m.

Caso o trabalhador opte pela Rota B haverá um único ponto de exposição superior ao limite máximo por volta de 12 metros de altura em relação ao solo.

Frente aos resultados apresentados quaisquer atividades de longa duração a serem realizadas nas imediações da Rota A exigem que o trabalhador utilize roupa com blindagem eletrostática em suas atividades, necessitando portanto de investimento financeiro por parte das empresa proprietária da linha, em material e treinamento.

Duas medidas extremamente simples podem levar à solução do problema. A primeira e mais óbvia é a desenergização da linha caso sejam necessárias atividades e não exista a vestimenta adequada disponível. A segunda medida é a escalada pela parte interna da estrutura que fornece uma excelente blindagem eletrostática. Caso o trabalhador exerça suas atividades no interior da Gaiola de Faraday proporcionada pela ferragem da estrutura a exposição será extremamente reduzida conforme apresentado no gráfico da Figura 6 onde foi utilizada uma rota de escalada pelo centro da torre.

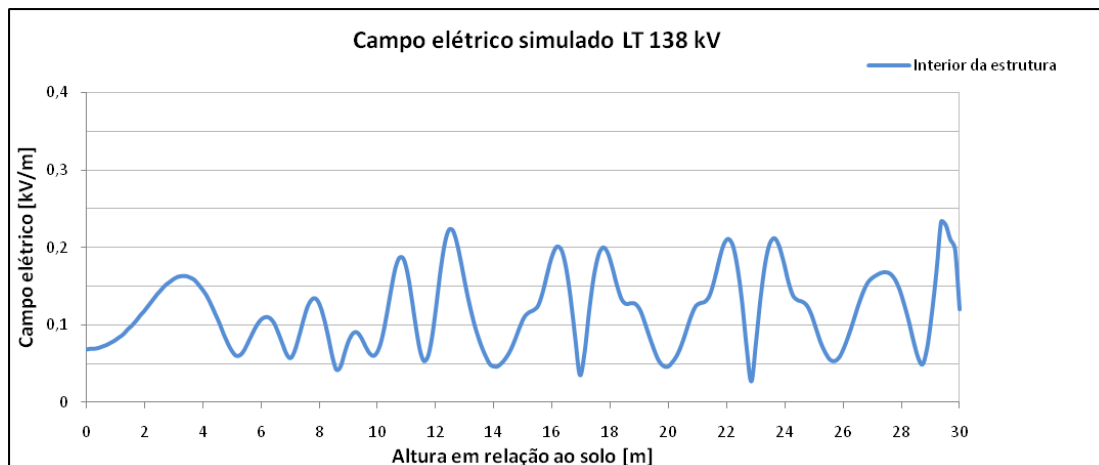


Figura 6 – Exposição do trabalhador em uma escada pelo interior da estrutura

3.2 Pátio de Subestação

Outro caso complexo em que a simulação 3D foi aplicada com sucesso refere-se a uma região de vão livre típica em subestações de 525 kV. Neste caso existe a possibilidade de trânsito de trabalhadores na área que é completamente desprovida de estruturas metálicas que poderiam auxiliar na redução do campo elétrico.

O modelo do problema é apresentado na Figura 7 e apresenta dois barramentos trifásicos de 525 kV interconectados e é fiel ao caso prático em dimensões e seqüência de fases.

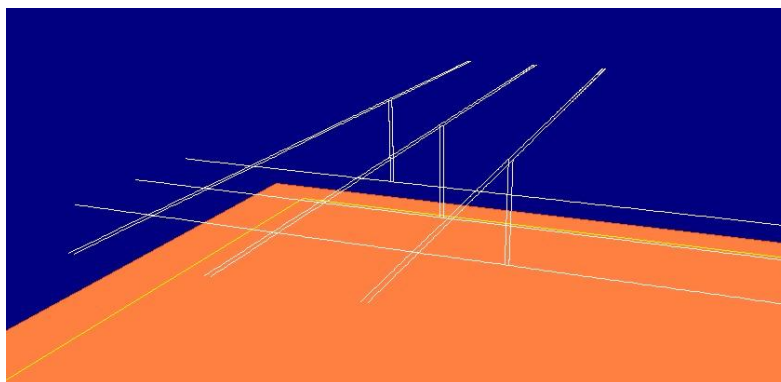


Figura 7 – Modelo de pátio de subestação de 525 kV

Os resultados da simulação são apresentados na Figura 8 na forma de linhas de campo elétrico sobre um plano situado a uma altura de 1,5 metro em relação ao solo do

pátio da subestação, conforme estabelecido na R.N. 398/2010 e ABNT NBR 15415/2006.

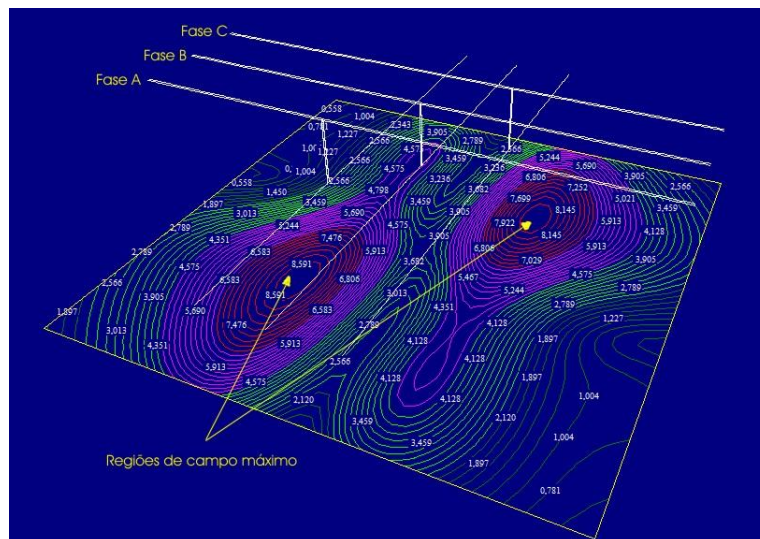


Figura 8 – Resultado da simulação do campo elétrico a uma altura de 1,5 m em relação ao solo

Nas regiões em vermelho da Figura 7 os campos são próximos ou superam os limites de exposição da Resolução 398/2010.

A solução mais simples para o problema é a restrição da circulação e permanência de pessoal nas duas regiões críticas em situações normais evitando assim a exposição a níveis superiores aos estabelecidos. Outra solução seria a elevação da altura dos barramentos em relação ao solo o que é obviamente impraticável devido ao alto custo envolvido.

4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados nas simulações permitem uma avaliação bastante precisa dos campos elétricos gerados por instalações de alta tensão. Apesar da complexidade geométrica de alguns problemas os resultados são muito realistas, o que só é obtido com um modelamento extremamente cuidadoso e sobretudo com experiência no tocante às variáveis envolvidas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVES, M.F., RIBEIRO, E. E. **Cálculo e Medição de Campos Elétricos em Subestações**. XIII SNPTEE – Seminário Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica: Balneário Camboriú, SC, outubro de 1995.
- [2] ABNT NBR 15415:2006. **Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, outubro de 2006.
- [3] EPRI-Electric Power Research Institute. **Transmission Line Reference Book**. EPRI: Segunda edição, Palo Alto, 1975.
- [4] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 398/2010**. ANEEL: Brasília, 23 de março de 2010.
- [5] IEEE 644/2004. **IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from Power Lines**. Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York, 2004.