



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO -X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS NÍVEIS DOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS NA VIZINHANÇA DE LINHAS E SUBESTAÇÕES DE 138 KV DA CELESC.

Athanasio Mpalantinos Neto (*)
CEPEL

Luís Adriano M. C. Domingues
CEPEL

Rafael Monteiro da Cruz Silva
CEPEL

Carlos Ruy Nunez Barbosa
CEPEL

César Augusto Cedrola Jr.
CEPEL

Sidney Luiz Correia
CELESC

Monica Accioly da Costa
CELESC

RESUMO

O processo de expansão das redes elétricas das concessionárias de energia é realizado de tal forma que se atenda ao crescimento da demanda dos seus centros consumidores sem prejuízos à segurança e continuidade do fornecimento de energia elétrica associados a um controle efetivo de possíveis impactos ambientais.

Neste IT é apresentado o estudo que avaliou o desempenho do projeto de construção da subestação da CELESC quanto aos níveis dos campos em locais de acesso público, verificando se estavam em conformidade com os estabelecidos por normas de exposição e legislação pertinente, nacionais e internacionais. O estudo realizado apoiou o processo de obtenção das licenças para construção e operação deste empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE

Campos elétricos e magnéticos, impactos ambientais, subestação, linhas de transmissão, mitigação

1.0 - INTRODUÇÃO

O processo de expansão das redes elétricas das empresas concessionárias de energia é realizado de tal forma que se atenda ao crescimento da demanda dos seus centros consumidores sem prejuízos à segurança e continuidade do fornecimento de energia elétrica.

Em geral, reforços e ampliações da rede necessitam de investimentos na construção de novas subestações e linhas de transmissão, e/ou modernização e recapitação das instalações já existentes, que por sua vez, devem estar sempre associados a um controle efetivo de possíveis impactos ambientais.

Parte considerável desses impactos está ligada, diretamente ou indiretamente aos campos eletromagnéticos – CEM - produzidos por essas instalações elétricas.

Por se tratar de empreendimentos localizados em área urbana, com grande densidade populacional, existe a preocupação com relação aos níveis dos campos gerados em locais de livre acesso ao público em geral.

Desta forma as empresas concessionárias de energia elétrica têm procurado incorporar a avaliação dos campos elétricos e magnéticos aos projetos de ampliação e reforço de seus sistemas, assegurando que atendam às normas que regulamentam a exposição a CEM. (1,2,3)

2.0 - CRITÉRIOS DE EXPOSIÇÃO

As mais importantes Diretrizes de exposição a campos, ICNIRP (2) e IEEE (3), adotam a seguinte estrutura:

1. São determinados valores para grandezas físicas (correntes, campos) que quando superados podem provocar efeitos fisiológicos indesejáveis no corpo.
2. São aplicados fatores de redução, baseados em critérios de segurança (fator 5, ICNIRP, e fator 3, IEEE) definindo os máximos valores admissíveis para estas grandezas – Restrições Básicas. As Restrições Básicas compreendem valores de densidades máximas de correntes (ICNIRP) e de campo elétrico máximo induzido em certas regiões do corpo (IEEE) para os quais já não se verificam efeitos como estimulação do sistema nervoso central e dos nervos periféricos. A partir desses valores são aplicados fatores de redução distintos para as duas categorias de exposição consideradas: a ocupacional e o público em geral. Isso resulta em níveis de exposição mais restritivos para o público em geral, oferecendo proteção adicional, considerando a maior heterogeneidade nas condições de saúde dessa categoria.
3. Calculam-se através de modelos matemáticos os valores dos campos aplicados externamente (elétrico e magnético) que se pode assegurar que não induzirão aqueles níveis determinados. Estes limites de CEM's são os Níveis de Referência. Os modelos matemáticos empregados por IEEE e ICNIRP para derivar os níveis de referência a partir das restrições básicas são bastante similares. Para relacionar as grandezas internas (densidades de correntes induzidas) com o campo magnético externo a ICNIRP utilizou em sua Diretriz o modelo de laço (loop), diretamente da Lei de Faraday, enquanto o IEEE em sua Norma utilizou um modelo de indução elíptico para associar o campo elétrico *in situ* com o campo externo.

Os Níveis de Referência das principais Diretrizes, especificamente para o público em geral, encontram-se reunidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de referência para o público em geral – 60 Hz

Diretriz	Campo Elétrico (kV/m)	Campo Magnético (mG)*
ICNIRP	4,2	833
IEEE	5,0	9040

(*) 1 mG = 10 μ T

No Brasil, entre as principais ações a respeito da regulamentação da exposição a campos eletromagnéticos estão:

- Publicação da norma NBR 15415 (1) - Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos nas frequências de 50 Hz e 60 Hz - que além de definir os níveis de referência e critérios da ICNIRP para utilização nos empreendimentos no Brasil, ainda define critérios para realização de medições de campo;
- O projeto de Lei n 2.576, que dispõe sobre a instalação de fontes emissoras de radiação eletromagnética, que já tramitou na Câmara e no Senado e está aguardando sanção.

3.0 - SUBESTAÇÃO FLORIANÓPOLIS AGRONÔMICA

A CELESC identificou a necessidade de construção de uma nova subestação na cidade de Florianópolis, mais especificamente no bairro Agrônômica, para aumentar a confiabilidade e flexibilidade na operação do sistema, tendo em vista a projeção de aumento de consumo nessa região.

Como parte integrante dos requisitos legais para obtenção da licença de construção e operação de uma subestação na cidade de Florianópolis, a CELESC solicitou ao CEPEL que fizesse uma avaliação dos níveis de campo elétrico e magnético a que poderão ser expostas pessoas na vizinhança da nova instalação, de modo a mostrar a adequação desses níveis às Normas Técnicas Nacionais e Internacionais. Essa avaliação foi realizada com apoio da CELESC, e consistiu de medições e simulações computacionais visando determinar a intensidade dos campos na vizinhança da futura SE. (4,5)

3.1 ETAPAS DO PROJETO

3.1.1 Medições de Campo

Em sua primeira etapa, o estudo técnico compreendeu a realização de uma série de medições de campo elétrico e magnético na vizinhança de uma subestação já em operação (Ilha Centro) de mesmo nível de tensão e potência

instalada similar a potência inicial do futuro empreendimento, e do levantamento dos campos atualmente existentes na área de construção da futura SE [5], visando estabelecer um padrão comparativo de desempenho.

Foram medidos os valores de campo elétrico e magnético em perfis que acompanharam o muro da subestação, área de acesso do público em geral, inclusive as saídas dos circuitos subterrâneos dos cabos de alimentação de 138 kV, Figura 1.



Figura 1 – Trajetos de Medição na Subestação Ilha Centro

Para o campo elétrico, os valores encontrados foram sempre muito baixos (zero ou próximos de zero), a presença de campo elétrico é devida a rede de distribuição, uma vez que a entrada e saídas da SE são subterrâneas e de cabos blindados. Estes resultados eram esperados já que os circuitos aéreos de 13,8 kV na vizinhança da Subestação estão a alturas superiores a 6 m, com a presença de cabos de aço aterrados, e os subterrâneos são de cabos blindados.

Para o campo magnético, baseado nos resultados de medições efetuadas com instrumento convencional de campo magnético (dados discretos de medição) e através de instrumento de dosimetria instalado junto ao corpo do operador (dados contínuos de medição), verificou-se que os valores medidos nas vizinhanças da subestação são inferiores aos normalizados para o público em geral, ver Tabela 1.

Também foram realizadas avaliações dosimétricas do campo magnético no terreno da futura subestação, Figura 2, para comparação com os valores que serão medidos após a sua construção e energização. Pode-se observar, como era esperado, valores próximos de zero.

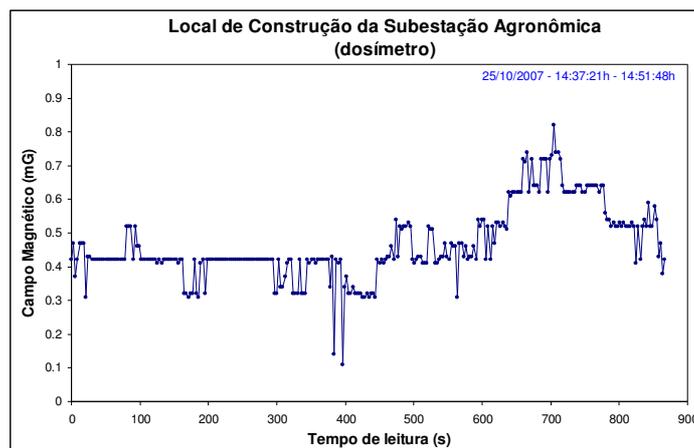


Figura 2 – Medições com o dosímetro com intervalo de medição de 3s.

3.1.2 Simulações Computacionais

Em sua segunda etapa o estudo teve por objetivo mapear os níveis dos campos que serão gerados quando da implantação da SE Agronômica, com detalhe em especial para as calçadas vizinhas a SE, onde poderá haver circulação do público.

O projeto da nova SE prevê que todos os alimentadores (138 kV e 13,8 kV) serão construídos utilizando cabos subterrâneos, em disposição horizontal de fases. Pelas características construtivas, incluindo as blindagens metálicas dos cabos, além da própria característica condutiva do solo, os estudos realizados indicam uma completa proteção com relação ao campo elétrico, cujos valores na superfície são totalmente desprezáveis. Assim, todas as simulações apresentadas a seguir referem-se a campos magnéticos em 60 Hz. A intensidade do campo magnético gerado pelos cabos é dependente do carregamento das diversas linhas.

Para esse estudo foi adotado um carregamento máximo para as linhas cuja ocorrência é prevista para um horizonte estimado em 25 anos.

Considerou-se uma corrente de 800 A por fase nos alimentadores de 138 kV e de 430 A por fase para os alimentadores de 13,8 kV.

Nas condições usuais de operação, quando os níveis de corrente estiverem abaixo desses valores limites, os campos gerados serão proporcionalmente menores.

3.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Na seqüência são apresentados os resultados das simulações dos campos magnéticos na frequência de operação (60 Hz) para o projeto da nova subestação Agronômica a ser construída em Florianópolis.

Na Figura 3 é apresentada na forma de um mapa a distribuição de campo magnético máximo na superfície do solo na condição de carregamento máximo das linhas de transmissão.

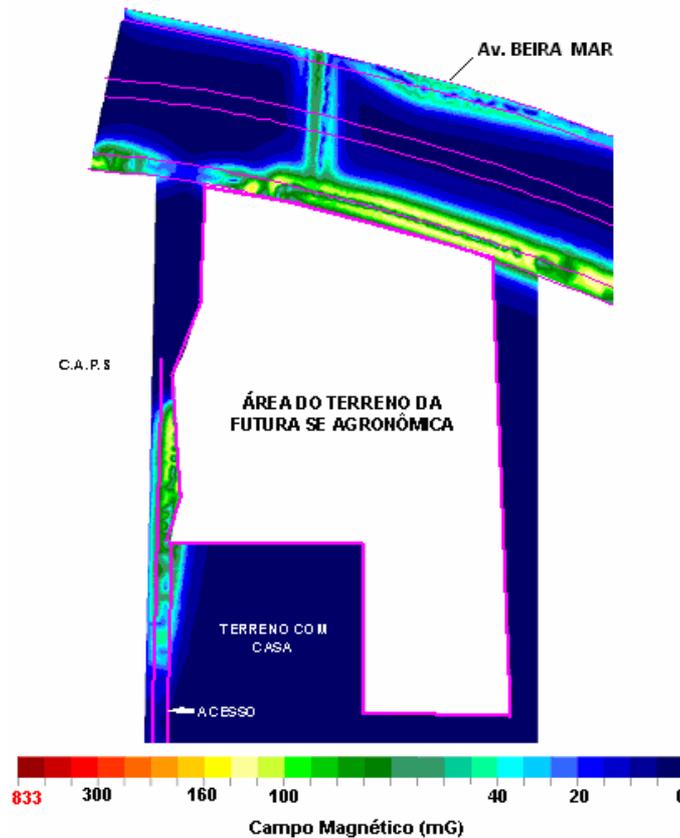


Figura 3 – Visualização da intensidade do campo magnético máximo, gerado pela SE Agronômica na condição de carregamento máximo das LTs

Foi realizada uma análise detalhada de trajetos de circulação de pedestres na vizinhança da SE, identificados como perfis de 1 a 7 na Figura 4.

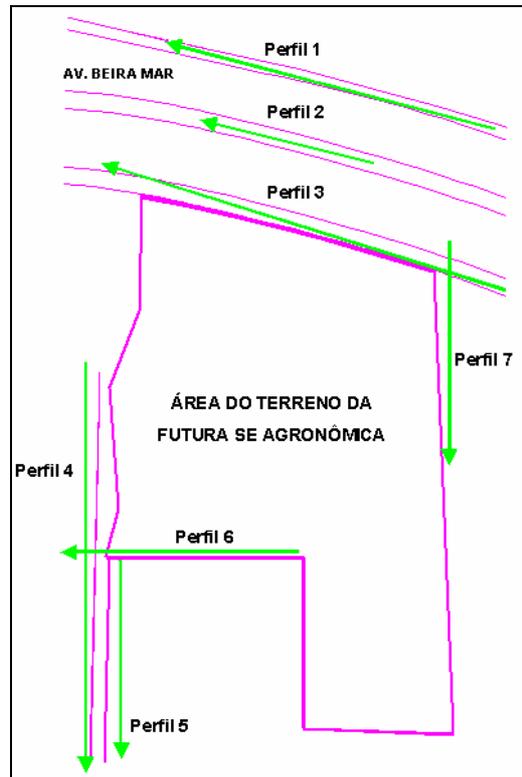


Figura 4 – Vista esquemática da planta da SE com a identificação dos perfis de cálculo ao longo de vias de circulação do público em torno da SE

Na Tabela 2 são apresentados os valores de campo magnético máximo para os perfis apresentados na Figura 4.

Tabela 2 – Campo magnético máximo observado em cada perfil

Número do perfil	Campo Magnético Máximo (mG)	Valor percentual em relação ao nível de referência (ICNIRP)
1	75	9.0
2	60	7.2
3	200 *	22.2
4	130	15.6
5	13	1.6
6	125	15.0
7	200 *	24.0

(*) O valor máximo de campo magnético se localiza no ponto de cruzamento dos perfis de cálculo 3 e 7 (Figura 4) na calçada da Avenida Beira Mar.

Conforme os resultados apresentados na Figura 3 e Tabela 2, a análise dos campos elétricos e magnéticos que serão gerados pela SE Agronômica indicam que o projeto proposto para esta SE apresenta excelente desempenho no que se refere ao quesito de exposição a campos elétricos e magnéticos, no sentido de que os valores nas áreas acesso livre ao público são reduzidos, muito abaixo dos valores recomendados nas normas nacionais e internacionais (1, 2, 3).

4.0 - ALTERNATIVAS DE PROJETO

Apesar do nível máximo de campo magnético nas áreas de acesso do público ser reduzido, muito inferior aos limites indicados nas Normas de Exposição é possível obter uma redução adicional dos valores de campo com alternativas de projeto de baixo custo. Isto é uma prática recomendada por propiciar proteção adicional. Neste caso em particular foi possível obter uma redução significativa do campo magnético a custo zero.

Existem diversas alternativas que podem ser utilizadas para mitigação dos valores máximos de campo em projetos desta natureza: compactação dos circuitos, adoção de combinações otimizadas de faseamento no caso de circuitos múltiplos, aumento da profundidade de colocação dos alimentadores subterrâneos, colocação de chapas de aço no invólucro dos dutos de modo a defletir o campo, etc.

Na seqüência serão apresentadas duas alternativas:

- Aumento da profundidade de colocação das linhas (alternativa para as linhas em 138 kV)
- Adoção de faseamento otimizado (alternativa para as linhas em 13,8 kV)

4.1 INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DAS LINHAS SUBTERRÂNEAS

É possível reduzir os valores de campo na superfície do solo aumentando a profundidade de colocação das linhas subterrâneas. Embora esta alternativa seja de custo relativamente elevado é importante poder dimensionar os efeitos práticos de tal medida. Na Figura 5 apresentam-se os resultados em termos de redução do campo máximo na superfície do solo em função do aumento da profundidade de colocação das linhas de 138 kV.

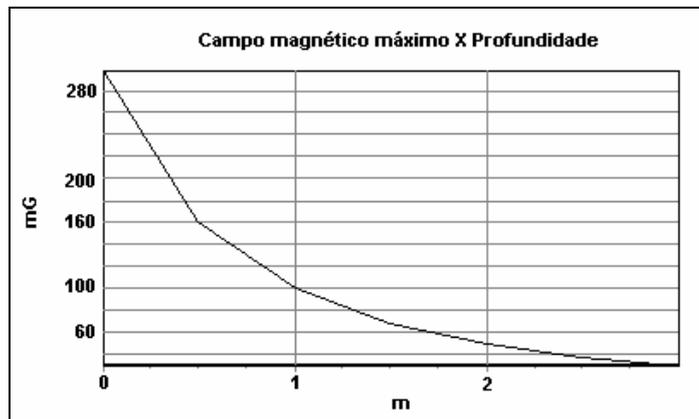


Figura 5 – Variação do campo máximo na superfície do solo com o aumento da profundidade de colocação das linhas subterrâneas em 138 kV

4.2 INFLUÊNCIA DO FASEAMENTO

Como as linhas de 13,8 kV foram projetadas no sistema de banco de alimentadores, com 4 linhas em cada circuito, dispostas em pilhas verticais, o campo magnético resultante é dependente do faseamento adotado nesses circuitos.

Foi feito um estudo detalhado do desempenho das diversas alternativas de faseamento desses circuitos, chegando-se a uma configuração que apresentou redução de 87,5 % em relação à configuração original.

Na Figura 6 são apresentados os perfis de campo magnético, na superfície do solo, para a alternativa original de projeto (abc-abc-abc-abc) e para a alternativa que apresentou melhor desempenho em termos de redução de campo (abc-cba-abc-cba).

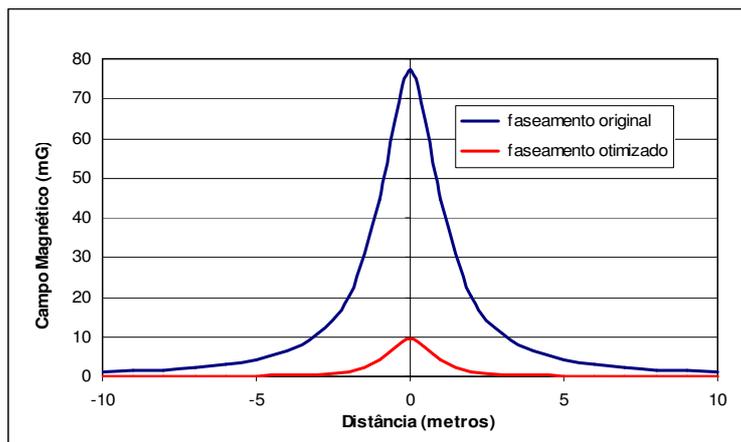


Figura 6 – Perfil transversal de campo magnético na superfície do solo, centrado no eixo do alimentador em 13,8 kV

5.0 - CONCLUSÃO

A avaliação dos níveis de campo elétrico e magnético da futura SE Agronômica, em Florianópolis, foi desenvolvida utilizando uma abordagem metodológica que consistiu em simulações utilizando modelos computacionais desenvolvidos pelo CEPTEL, validados e consolidados por medições realizadas em instalações em operação, de características e níveis de tensão e potência comparáveis com os da futura SE.

O estudo realizado mostrou que os valores de campo na vizinhança da futura SE Agronômica são baixos, muito inferiores aos limites das Normas Nacionais e Internacionais em vigor, mesmo considerando as condições máximas de carga previstas para um horizonte de 25 anos.

No estudo foram desenvolvidas alternativas e soluções técnicas que permitem uma redução adicional dos valores de campo reduzindo ainda mais a exposição a campos eletromagnéticos na vizinhança da SE.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NBR 15415 - Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz, ABNT, 2006.
- (2) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Technical Report, ICNIRP, 2001.
- (3) Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz (IEEE C95.6-2002). [Standard] Piscataway, N.J.: Subcommittee 3 of Standards Coordinating Committee 28, IEEE Standards Department, 2002.
- (4) Simulações de campos elétricos e magnéticos da futura subestação Florianópolis Agronômica 138 kV/13,8 kV, Relatório Técnico, DOMINGUES, L. A. M. C., CRUZ, R. M., MPALANTINOS, A., BARBOSA, C. R. N., CEDROLA Jr., C. A., Relatório Técnico DIE 49580/07.
- (5) Medições de campos elétricos e magnéticos na vizinhança da subestação Ilha Centro da CELESC – 138 kV/13,8 kV – e na área da futura instalação da subestação Agronômica, MPALANTINOS, A., BARBOSA, C. R. N., DOMINGUES, L. A. M. C., CRUZ, R. M., Relatório Técnico DIE 45010/07.