

Avaliação dos Campos Eletromagnéticos das Subestações 138 kV da Elektro

Ernesto Alberto Mertens Jr. e Madjer Mairo Santos de Oliveira

Elektro Eletricidade e Serviços S.A. – Rua Ary Antenor de Souza, 321, Jardim Nova América, Campinas – SP

Ricardo Luiz Araújo

EMField Engineering do Brasil – Rua Vereador Constante Pinto, 256, Unidade 203, Bacacheri, Curitiba – PR

Resumo — Em virtude da publicação da resolução normativa nº 398/2010 da ANEEL, que dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz, a Elektro iniciou uma campanha de medição dessas grandezas nas suas instalações de 138 kV. Este artigo mostra a metodologia utilizada nessas medições, feitas pela empresa EMField, os resultados dessas medições e as conclusões, além de um exemplo prático das medições realizadas em uma das 76 subestações da distribuidora.

Palavras-chaves — Campo magnético, campo elétrico, subestação, baixa frequência, medição, exposição.

I. INTRODUÇÃO

Os efeitos da exposição humana aos Campos Elétricos e Magnéticos dependem principalmente da intensidade e da frequência dos mesmos. Tais campos são divididos de modo simplificado em três categorias: Estáticos, Baixas Frequências e Altas Frequências.

Os campos gerados por sistemas de energia elétrica são os campos de baixa frequência, os quais induzem correntes no organismo, que, dependendo da intensidade, podem causar efeitos no funcionamento no corpo humano.

Atualmente, existe uma grande preocupação com a exposição humana a campos elétricos e magnéticos, inclusive os gerados por instalações elétricas. Um agravante desse problema é o número de pessoas expostas aos campos de baixa frequência (60 Hz), que cresceu muito rapidamente nos últimos anos, devido à grande expansão do setor de energia elétrica.

Em estudos realizados por um grupo de trabalho envolvendo peritos da IARC (International Agency for Research on Cancer), ligada à Organização Mundial da Saúde – OMS, os campos de baixa frequência foram classificados como “Possivelmente carcinogênicos para humanos”. Entretanto, trata-se de uma classificação usada para um agente que apresenta evidências limitadas (possível mais pouco provável). Para se ter um exemplo, o café está classificado na mesma categoria (pode aumentar o risco de câncer renal).

Mertens, E. A., ernesto.mertens@elektro.com.br, Oliveira, M. M. S., madjer.oliveira@elektro.com.br, Tel. +55-47-3221-6020, Fax +55-47-3221-3790; Araújo, R. A., ricardo@emfield.com.br, Tel. +55-41-3044-0197, Fax +55-41-3044-0197.

Através da aplicação do chamado “princípio de precaução”, e visando o gerenciamento deste eventual risco para a população, o poder público sancionou a Lei 11.934 de 05/05/2009, visando o estabelecimento de limites para a exposição humana aos campos de baixa frequência.

A fiscalização do atendimento aos limites estabelecidos por empresas de transmissão geração e distribuição de energia elétrica ficou a cargo da ANEEL. Com base nesta necessidade foi publicada pela Agência a Resolução Normativa Nº 398 de 23/03/2010. A Resolução 398/2011 tem por objetivo regulamentar a Lei 11.934, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários das instalações de energia elétrica (60 Hz). A verificação do atendimento aos limites estabelecidos envolve o público em geral e o público ocupacional (trabalhadores que exercem atividades em áreas energizadas).

Frete ao exposto, o presente trabalho visa apresentar o resultado das medições efetuadas nas Subestações de 138 kV na área de concessão da Elektro.

II. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

A. Procedimento de medição

As medições foram realizadas em conformidade com as recomendações da norma técnica ABNT NBR 15415:2006. O instrumento de medição foi disposto sobre um tripé de madeira (dielétrico), com a sonda posicionada a uma altura de 1,5 m em relação ao solo. Este arranjo pode ser visto na Fig. 1. Durante as medições o operador manteve-se a uma distância mínima de 2 metros do instrumento. Tais providências são necessárias para se evitar possíveis interferências sobre os níveis medidos, especialmente de campo elétrico, altamente susceptível a perturbações.



Fig. 1 – Equipamento utilizado nas medições

Os valores de campo elétrico e de campo magnético medidos, referem-se à componente resultante (R) do campo medido nos três eixos cartesianos coordenados (x,y,z) conforme apresentado na Fig. 2. O medidor utilizado é tipo isotrópico, apresentando diretamente o vetor resultante do campo elétrico e magnético além de realizar medições simultâneas de campo elétrico e magnético o que abrevia sensivelmente o trabalho de caracterização dos níveis de campo de uma instalação.

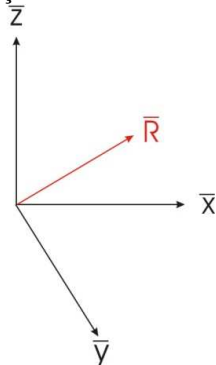


Fig. 2 - Eixos cartesianos coordenados e o vetor resultante

O medidor de campo elétrico e magnético teve seu filtro selecionado para coletar valores *true RMS* de campo situados entre 5 Hz e 2 kHz, registrando assim o campo resultante da componente fundamental em 60 Hz, além das contribuições de possíveis componentes harmônicas até a trigésima primeira ordem.

O instrumento possui incerteza de medição de $\pm 5\%$ do valor medido para campo elétrico e para campo magnético. Tal incerteza é típica para este tipo de medição uma vez que o instrumento e seu tripé causam impreterivelmente uma distorção nos campos a serem medidos, especialmente no campo elétrico.

B. Escolha dos locais de medição

Os pontos de medição foram definidos em conjunto pela Elektro e pela EMField. Os locais escolhidos são caracterizados pela circulação ou permanência de trabalhadores durante suas atividades de rotina com os equipamentos energizados.

A norma técnica ABNT NBR 15415:2006 não estabelece o número de pontos a serem medidos para a caracterização dos campos gerados por uma instalação. Desta maneira foram realizadas medições exploratórias em aproximadamente 45 pontos por subestação. Tal amostragem permite a avaliação segura dos níveis de campo da instalação.

Foi dada preferência para a realização das medições em locais com maior probabilidade de apresentar campos elétricos e magnéticos intensos como por exemplo: embaixo de condutores energizados, nas proximidades do tanque de transformadores de força, na proximidades de equipamentos de manobra dentre outros. Este estudo não se aplica a trabalhos em linha viva dentro das zonas de risco estabelecidas para cada nível de tensão presente na instalação.

C. Rastreabilidade das medições

No Brasil, não existe atualmente nenhum laboratório credenciado pelo INMETRO para a calibração de medidores de campo elétrico e magnético em baixas frequências. Sendo assim o equipamento empregado neste estudo é calibrado anualmente na sede do fabricante, na Alemanha, e possui rastreabilidade aos padrões mundiais através do DKD (Laboratório Oficial de Metrologia do Governo Alemão).

Adicionalmente à calibração anual, ao longo do estudo apresentado neste artigo os instrumentos utilizados nas medições tiveram seu desempenho acompanhado no laboratório da própria EMField, que, apesar de não ser credenciado pelo INMETRO, possui rastreabilidade aos padrões nacionais. Tal procedimento foi adotado a garantia da confiabilidade das medições devido ao manuseio intenso dos instrumentos em campo, o que pode causar danos nos mesmos devido a choques mecânicos, variações bruscas de temperatura além de vibrações durante o transporte.

Na Fig. 3 é apresentada a Bobina de Helmholtz empregada para a calibração interna de campo magnético. O campo elétrico é calibrado em um capacitor de placas paralelas com espaçamento de 1 metro entre as placas e área de 2 metros quadrados. Tais artefatos de calibração possuem suas incertezas perfeitamente definidas, no entorno de 1%.



Fig. 3 – Bobina de Helmholtz

III. VALORES DE REFERÊNCIA PARA A EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

Para a avaliação dos resultados obtidos nas medições, foram utilizados os limites de exposição definidos pela Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante – ICNIRP, que são reconhecidos oficialmente pela Organização Mundial da Saúde – OMS.

A Lei Federal 11934 de 2009, complementada pelas Resoluções Normativas ANEEL 398/2010 e 413/2010,

definem que os limites de exposição a campos elétricos e magnéticos de baixa frequência a serem respeitados no Brasil são os definidos pela ICNIRP/OMS.

Frete ao exposto, os limites de exposição a serem obedecidos no país são apresentados na Tabela 1, abaixo.

TABELA 1 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM 60 HZ

Referência	Campo Elétrico	Campo Magnético (Densidade de Fluxo Magnético)
População em geral	4,17 kV/m	83,33 μ T
Trabalhadores	8,33 kV/m	416,67 μ T

IV. EXEMPLO PRÁTICO: SUBESTAÇÃO MIRANDÓPOLIS

Para um melhor entendimento da metodologia utilizada nas medições e na análise dos resultados encontrados, a seguir é exemplificado o procedimento de medição da intensidade dos campos elétricos e magnéticos na subestação Mirandópolis, situada na cidade de mesmo nome no estado de São Paulo.

A. Coleta de Dados

O relatório de medição dos campos elétricos e magnéticos de uma subestação deve possuir uma série de informações relevantes que permitem o rastreamento das condições ambientais e de operação da instalação e que permitem a realização de medições comprobatórias caso seja necessário.

Os dados mínimos segundo a Resolução ANEEL 398/2010 são os seguintes:

- Data e horário das medições;
- Situação de carregamento médio da instalação ao longo do período de medição;
- Temperatura durante o processo de medição.

Adicionalmente aos dados obrigatórios, os relatórios de medição das instalações da Elektro contaram ainda com o registro da umidade relativa do ar e também com a descrição detalhadas das condições físicas da instalação em análise como equipamentos fora de operação, obras em andamento ou outras. As medições foram realizadas com as subestações operando sempre na condição de carga pesada.

As medições na subestação Mirandópolis foram executadas em 22/11/2010, das 10h15min às 11h50min. A temperatura observada era de 28,6 ° C e a umidade relativa do ar, 37%. Todos os equipamentos da subestação operavam normalmente nesta data com exceção do transformador de força TR-1 que operava como reserva quente.

Para a medição da temperatura e umidade foram utilizados termo higrômetros portáteis devidamente calibrados.

B. Definição dos pontos de medição

Os pontos de medição na SE Mirandópolis foram definidos com base na planta da instalação, na observação da mesma

em campo e em informações fornecidas pelo pessoal de operação ou manutenção da Elektro.

Foi dada prioridade para a escolha de locais com maior circulação de pessoas no pátio, locais de maior necessidade de longas permanências e situações especiais como cabos a baixas alturas.

Na Fig. 4, é feita a caracterização de cada um dos pontos em que as medições foram realizadas. Os pontos em vermelho são os pontos referentes à exposição da população ocupacional, enquanto que os pontos em azul se referem à população em geral.

No total, 42 pontos foram medidos na SE Mirandópolis, sendo que, na parte superior da Fig. 4 são apresentados os cubículos de 13,8 kV, no centro estão localizados os dois transformadores de força e na parte inferior, o setor de 138 kV. Cada ponto possui marcação adicional via GPS para que o local seja perfeitamente identificável.

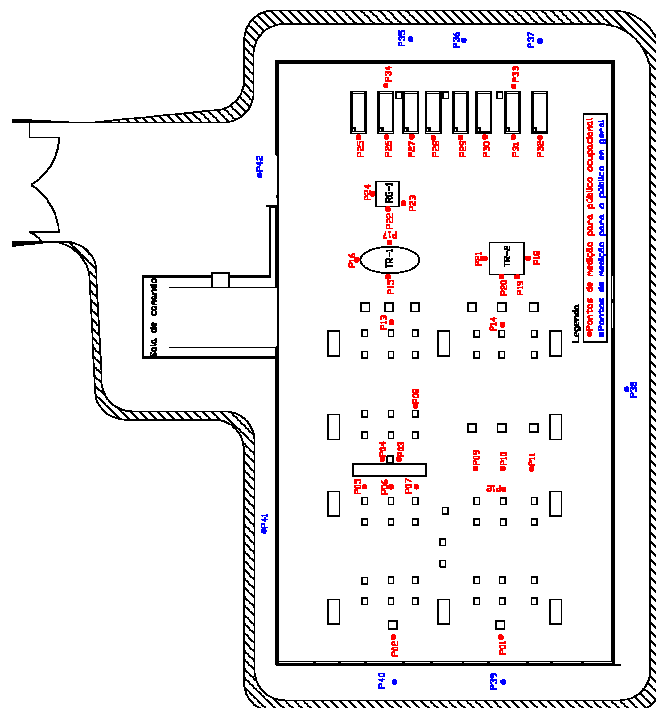


Fig. 4 – Pontos de medição

Na Fig. 5, pode-se observar o ponto de P12 durante a medição, em frente ao comando da seccionadora 16229-10.



Fig. 5 – Ponto de medição P12

C. Resultados das medições – público ocupacional

No interior do pátio da subestação, para o público ocupacional os maiores níveis medidos de campo magnético foram nos seguintes pontos:

- P31 (em frente ao cubículo 16252-3, disjuntor geral de baixa do TR-2) = 23,1 μ T;
- P33 (atrás do cubículo 16252-3, disjuntor geral de baixa do TR-2) = 22,5 μ T;
- P18 (próximo ao tanque do TR-2) = 12,3 μ T.

Para o campo elétrico os maiores níveis medidos são:

- P7 (Vão entre o disjuntor 16252-1 e a seccionadora 16229-9, embaixo da fase C) = 3,68 kV/m;
- P9 (saída da seccionadora 16229-10, embaixo da fase A) = 3,62 kV/m;
- P5 (Vão entre o disjuntor 16252-1 e a seccionadora 16229-9, embaixo da fase A) = 3,61 kV/m.

Na Fig. 6, pode ser observado o ponto P7, que apresentou o maior valor de intensidade de campo elétrico. O local é típico na maioria das subestações da Elektro, ou seja, embaixo de um dos condutores de interligação de um equipamento de manobra/chaveamento em uma região com pouca massa metálica.



Fig. 6 – Ponto de medição P12

D. Resultados das medições – público em geral

As medições referentes à exposição do público em geral foram realizadas nas imediações da subestação, em pontos de vias públicas, abertas ao trânsito da população.

Para esses pontos, temos os piores casos para campo elétrico e magnético apresentados abaixo:

- Campo magnético: P36 (embaixo da saída do alimentador AL07) = 2,46 μ T
- Campo elétrico: P39 (Embaixo da entrada do circuito 2 da LT) = 0,728 kV/m.

E. Relatório de Medição

Com base nos dados coletados e nas medições efetuadas cada subestação recebe dois relatórios. O primeiro relatório em formato PDF lista os procedimentos de medição, os

resultados encontrados, características operacionais da instalação bem como características ambientais. Tal relatório é conclusivo e indica pontos que tenham extrapolado os níveis máximos estabelecidos pela Resolução 398/2010 além de eventuais recomendações técnicas pertinentes. O segundo relatório é do tipo XML, formato pelo qual a ANEEL pode rapidamente analisar e disponibilizar ao público seja interno ou externo os resultados de uma medição.

No caso da SE Mirandópolis, com base nas medições efetuadas, cujos resultados estão muito abaixo dos limites de exposição, a conclusão do relatório indica que a instalação está em “conformidade” com o estabelecido pela OMS/ICNIRP e Resolução 398/2011. Tal procedimento atende completamente os requisitos técnicos e burocráticos estabelecidos pela resolução.

V. RESULTADOS DO ESTUDO

Os resultados das medições deram origem a planilhas individuais para cada uma das subestações em estudo. Tais planilhas foram analisadas caso a caso para a definição dos pontos de em que o campo elétrico e magnético apresentam maior intensidade à semelhança da análise feita para a Subestação Mirandópolis.

A seguir são apresentados os resultados compilados do estudo.

A. Compilação – público em geral

No conjunto das subestações da Elektro não foi identificado qualquer ponto que viesse a transgredir os limites estabelecidos pela Resolução Aneel 398/2010 para a exposição da população em geral.

Na prática os maiores valores medidos para a exposição da população encontram-se sempre distribuídos em dois locais distintos das instalações analisadas:

- Campo elétrico máximo: na proximidade das saídas de linhas de transmissão em 138 kV;
- Campo magnético máximo: na proximidade das saídas dos alimentadores de distribuição em 13,8 kV.

B. Compilação – público ocupacional

À semelhança dos níveis medidos para a exposição da população, os níveis medidos no pátio das subestações da Elektro apresentam valores máximos distribuídos em regiões extremamente bem definidas das instalações.

Os valores máximos medidos para o campo magnético concentram-se sempre em 3 regiões das subestações, invariavelmente nos setores de média tensão (13,8 kV). Na Fig. 7 é apresentada a distribuição percentual de cada uma das regiões.

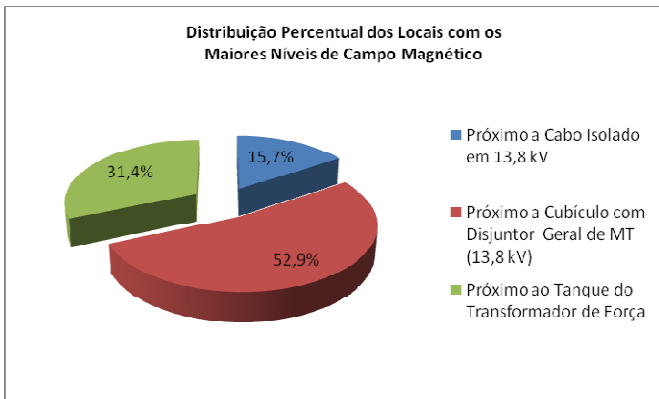


Fig. 7 – Distribuição Percentual – Campo Magnético – Exposição Ocupacional

Em 11,8 % das subestações da Elektro foram encontrados níveis de campo magnético que superaram o limite máximo estabelecido para a exposição ocupacional. Nestes casos o local é sempre o mesmo, ou seja, na proximidade de cabos de 13,8 kV isolados, em trechos de transição entre circuitos aéreos e subterrâneos no pátio das subestações. Este tipo de local é apresentado na Fig. 8.



Fig. 8 – Local Típico em que o Limite de Exposição ao Campo Magnético é Superado

Os máximos valores medidos para campo elétrico concentram-se tipicamente em apenas 4 diferentes regiões das subestações, sempre no setor de 138 kV conforme pode ser verificado no gráfico da Fig. 9.

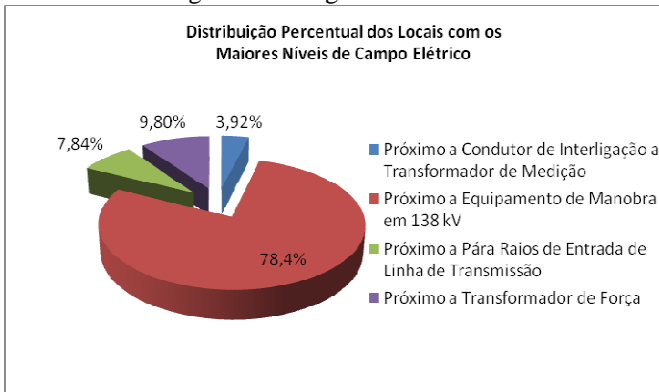


Fig. 9 – Distribuição Percentual – Campo Elétrico – Exposição Ocupacional

Em apenas uma subestação da Elektro, em um único local, o nível de campo elétrico medido extrapolou o limite máximo estabelecido pela Resolução ANEEL 398/2010. O ponto está situado junto ao painel de comando de um disjuntor de 138 kV cujo acesso é feito através de uma escada metálica próxima ao condutor energizado. Trata-se de um equipamento antigo em uma situação atípica no ambiente da empresa. A Fig. 10 apresenta este local.



Fig. 10 – Local em que o campo elétrico tem o limite de exposição ocupacional extrapolado

V. CONCLUSÕES

Com base nos dados encontrados nas medições e na boa amostragem realizada, pode-se afirmar com precisão que todas as subestações em 138 kV da Elektro possuem um baixo impacto ambiental no que se refere aos campos elétricos e magnéticos gerados pelas mesmas, não sendo este um fator de risco para a população em geral, conforme orientação da OMS/ICNIRP e da Resolução ANEEL 398/2010.

Para a população ocupacional serão aplicadas as seguintes medidas corretivas para os poucos casos em que os limites máximos foram extrapolados:

A. Para o Campo Elétrico

O único caso em que o limite de exposição ocupacional ao campo elétrico foi extrapolado será tratado na forma da realização de um estudo tratado pela Resolução ANEEL 398/2010 com a nomenclatura de Relatório de Conformidade. Trata-se de um estudo em que o tempo de exposição é levado em consideração, além de outros cálculos visando a verificação do atendimento às Restrições Básicas recomendadas pela Organização Mundial da Saúde [1].

Como o local raramente é visitado por funcionários da Elektro e quando necessário, o tempo de permanência é mínimo, esta é a solução mais adequada para o problema.

B. Para o Campo Magnético

O local em que o limite de exposição ao campo magnético foi superado é sempre o mesmo para as diferentes

subestações da Elektro, ou seja, em trechos com cabos isolados em 13,8 kV na saída dos transformadores de força. Tais locais não exigem a presença de funcionários da empresa durante a operação normal da instalação. Além disto foram realizadas medições de campo magnético em função do afastamento dos condutores. Com base nestas informações deverá ser instalada uma barreira de isolamento que mantenha os trabalhadores a uma distância mínima de 40 cm com relação a estes condutores. Tal restrição de proximidade é suficiente para que não exista mais a exposição a níveis de campo superiores ao estabelecido. Além disto, deve ser feita uma recomendação formal para que qualquer intervenção no local seja realizada apenas com a subestação desenergizada.

C. Conclusões de Cunho Geral

Além do cumprimento da Resolução 398/2010, este estudo, devido à grande amostragem realizada e à criteriosa análise dos dados colhidos permite o estabelecimento de diretrizes de medição que visam à economia de tempo e de recursos quando da necessidade do mapeamento de campos elétricos e magnéticos em outras subestações da Elektro. Tal experiência pode ser ainda empregada por outras concessionárias de distribuição de energia. Tais diretrizes são:

- Restringir as medições para a verificação da exposição do público em geral a apenas duas regiões: nas proximidades da saída de linhas de transmissão e de alimentadores de distribuição da subestação;
- Restringir as medições de campo elétrico apenas na área de manobra do setor com a maior tensão da instalação, dando-se preferência para os pontos contendo os condutores mais baixos em relação ao solo;
- Restringir as medições de campo magnético para o setor com a menor tensão da subestação, especialmente nas proximidades do tanque dos transformadores de força e de cubículos em 13,8 ou 34,5 kV.

REFERÊNCIAS

- [1] Icnirp, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection", Health Physics, Volume 74, no 4, 1998.
- [2] World Health Organization, "Environmental Health Criteria 238 (2007): Extremely Low Frequency Fields (ELF) WHO", Geneva, Switzerland, 2007.
- [3] World Health Organization, "Establishing a Dialogue on Risks from Electromagnetic Fields", Geneva, Switzerland, 2002.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, "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", ABNT, Rio de Janeiro, outubro de 2006;
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica, "Resolução Normativa 398", ANEEL, Brasília, de 23 de março de 2010;
- [6] R. L. Araújo, L. M. Ardjomand, A. L. Borille, N. S. R. Quoirin, A. A. Costa, A. C. Kuster, "Medições de Campos Elétricos e Magnéticos de Baixa Frequência em Linhas de Transmissão e Subestações", XVIII SNPTEE, Grupo XIII, Curitiba, 2005.

- [7] R. L. Araújo, L. M. Ardjomand, N. S. R. Quoirin. "Measurement of Power-Frequency Electric and Magnetic Fields from Transmission Lines in the Fortaleza Area", International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Campina Grande, 2005.
- [8] ABRICEM, "Exposição a campos eletromagnéticos e saúde: Um estudo brasileiro", Ed. Papirus, Campinas, 2010.