



CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO – SUBESTAÇÃO ETD GOMES CARDIM

ESTUDO TÉCNICO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

GERÊNCIA DE GESTÃO DE INVESTIMENTOS

Elaborado por:	Carlos Ossamu Kajikawa Andrius Gaspar Diego dos Reis Vasconcelos	
Verificado por:	Gilmar Domingues	
Aprovado por:	Sergio Caparroz	
Data	Abril/2016	Versão: 0.0

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	OBJETIVO	3
3.	ABRANGENCIA	3
4.	REFERENCIAS	3
5.	TERMINOLOGIA	4
5.1.	Capacidade máxima em operação normal.....	4
5.2.	Condição de contingência.....	4
5.3.	Fator de carga.....	4
5.4.	Curva de carga	4
5.5.	ETD.....	4
5.6.	ETR.....	5
6.	ÁREAS E PROCESSOS ENVOLVIDOS.....	5
6.1.	Áreas.....	5
6.2.	Processos	5
7.	ETD GOMES CARDIM	5
7.1.	Localização	5
7.2.	Características da Ampliação	6
7.3.	Características Elétricas da ETD Gomes Cardim	6
7.4.	Previsão de carregamento da subestação.....	7
7.5.	Planejamento da ampliação da subestação ETD Gomes Cardim	9
7.6.	Memorial descritivo do projeto	9
7.7.	Cabos de saída dos circuitos de distribuição	11
7.8.	Principais distâncias.....	11
7.9.	Caracterização da vizinhança	12
7.10.	Escolha desta alternativa técnica.....	14
8.	SUBESTAÇÃO SIMILAR	14
8.1.	Características Elétricas	15
8.2.	Principais distâncias.....	15
9.	MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO E MEGNÉTICO	17
9.1.	Campo Elétrico – Condição atual.....	17
9.2.	Campo Elétrico – Condição futura	18
9.3.	Configuração da ETD Gomes Cardim na tensão de operação 138 kV	18
9.4.	Campo Magnético – Condição atual	19
9.5.	Campo Magnético – Condição futura.....	20
9.6.	Configuração da ETD Gomes Cardim na tensão de operação 138 kV	20
9.7.	Estimativa de campo magnético máximo instantâneo em função da curva de carga	21
9.8.	Estimativa de campo magnético médio da ETD Gomes Cardim	23
10.	CONCLUSÕES.....	24
ANEXO I – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO – ETD GOMES CARDIM		25

1. INTRODUÇÃO

A região Metropolitana da grande São Paulo está em constante expansão econômica e tem possibilitado nos últimos anos importante crescimento imobiliário e industrial.

Neste contexto, a exigência de insumos básicos cresce rapidamente, em especial a demanda por energia elétrica.

Diversos estudos técnicos específicos são realizados pela área de Planejamento para identificar a necessidade de realização de obras e melhorias no sistema elétrico para atender com qualidade o fornecimento de energia elétrica.

Dentre os investimentos necessários está a modernização e ampliação da subestação ETD Gomes Cardim que tem por principal objetivo ampliar a capacidade de atendimento ao crescente aumento da demanda de energia e proporcionar maior flexibilidade operativa, além de melhorar a qualidade de fornecimento de energia elétrica na região.

Os benefícios originados são a melhoria no nível de confiabilidade, continuidade e qualidade no fornecimento de energia para aproximadamente 20 mil clientes envolvendo consumidores residenciais e comerciais nos bairros de Chácara Califórnia, Chácara Santo Antonio, Jardim Têxtil, Vila Antonina, Vila Carrão, Vila Formosa, Vila Gomes Cardim, Vila Mafra, Vila Nova Manchester, Vila Regente Feijó e Vila Santo Estevão da Zona Leste do município de São Paulo.

2. OBJETIVO

O objetivo desse estudo é obter os valores de campo elétrico e magnético da subestação ETD Gomes Cardim através de medição, analisando os valores obtidos com as recomendações que dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, Lei Federal 11.934 de 05/05/09, Norma ABNT/NBR 15415, Guia ICNIRP e Portaria 80/SVMA/2005 da Secretaria do Verde e Meio Ambiente do Município de São Paulo.

3. ABRANGENCIA

Este documento servirá de referência para o desenvolvimento dos Estudos de Viabilidade Ambiental e obtenção de Licenciamento Ambiental para implantação da subestação ETD Gomes Cardim, bem como, para futuros projetos de construção e reconstrução de subestações e similares.

4. REFERENCIAS

- Lei Federal 11.934 de 05/05/09, que dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos;
 - Norma NBR 15415 – Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz;
 - Guidelines for Limiting Exposure to Time – Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (UP to 300 GHz), da Comissão Internacional de Proteção a Radiação Não – Ionizante (ICNIRP);
 - Portaria 80/SVMA/2005 – Secretária do Verde e Meio Ambiente do município de São Paulo;
 - Projeto Básico da subestação ETD Gomes Cardim;
-

- Relatório de medição de campo elétrico e magnético da subestação ETD Gomes Cardim.

5. TERMINOLOGIA

Os termos contidos neste estudo, bem como qualquer outro documento que fizer parte ou referir-se aos mesmos, terão o alcance indicado a seguir, sempre que não apresentarem explicitamente outro significado.

5.1. Capacidade máxima em operação normal

É a máxima potência de carregamento da subestação dividida igualmente pelo número de transformadores em operação. Essa capacidade é dividida igualmente para todos os transformadores da subestação, com isso nenhum transformador trabalha em sobrecarga.

5.2. Condição de contingência

É a condição de operação onde um transformador está desligado e os demais estão ligados com um carregamento máximo de até 20% acima da capacidade nominal do transformador, com isso nenhum transformador trabalha em sobrecarga.

5.3. Fator de carga

É a relação entre potência média e a potência máxima fornecida por uma subestação ou a um cliente, isto é, é um fator que equivale a uma potência constante fornecida por um período constante. Estes valores são obtidos através da curva de carga do mesmo.

$$F_c = \frac{P_{média}}{P_{máxima}} \times 100\%$$

Onde:

$F_c \Rightarrow$ fator de carga;

$P_{média} \Rightarrow$ potência média de um ciclo de carga;

$P_{máximo} \Rightarrow$ potência máxima dentro de um ciclo de carga.

5.4. Curva de carga

É a representação do carregamento de uma subestação ou cliente por um período definido. Esta curva mostra como é o consumo ponto a ponto.

5.5. ETD

Subestação transformadora de distribuição contendo equipamentos de manobra, proteção e transformação, com capacidade para transformar e fornecer tensão e corrente para o sistema de distribuição de energia (aéreo ou subterrâneo)

5.6. ETR

Subestação de transição contendo ou não equipamentos de manobra e proteção, responsável pela transição de linha de transmissão aérea para linha de transmissão subterrânea.

6. ÁREAS E PROCESSOS ENVOLVIDOS

6.1. Áreas

- Engenharia;
- Segurança do trabalho;
- Manutenção da Subtransmissão;
- Meio Ambiente.

6.2. Processos

- Operação de subestações;
- Operação de linhas de subtransmissão.

7. ETD GOMES CARDIM

A seguir temos uma descrição das características técnicas e construtivas da ampliação da subestação ETD Gomes Cardim.

Esta subestação encontra-se atualmente em operação alimentada através de duas linhas de transmissão subterrânea de 88 kV denominadas LTS Adelino – Gomes Cardim e a LTS ETR-ETD Gomes Cardim.

7.1. Localização

A subestação ETD Gomes Cardim está localizada na Rua Francisco Marengo, 1339 – Bairro Tatuapé – São Paulo - SP – CEP 03313-001.



Figura 1 – Localização da subestação ETD Gomes Cardim

7.2. Características da Ampliação

A subestação ETD Gomes Cardim será ampliada e modernizada com a instalação de equipamentos de tensão de 138/88 kV na alta tensão e tensão de 13,8 kV na média tensão, sendo implantada em uma única etapa com a instalação de:

- 02 transformadores de potência de 32/40 MVA
- 10 chaves seccionadoras de 145 kV
- 02 disjuntores isolados a gás de 145 kV
- 06 Transformadores de corrente e de potencial indutivos de 145 kV
- 01 conjunto blindado de 15 kV – 2.000 A
- 02 transformadores de serviços auxiliares secos de 150 kVA.

7.3. Características Elétricas da ETD Gomes Cardim

A subestação terá as seguintes características elétricas:

- Tensão Nominal: 138 kV
- Tensão de operação: 88 kV (inicial) e 138kV (futuro).
- Capacidade máxima instalação: 80 MVA
- Capacidade máxima em operação normal: 48 MVA.
- Número de transformadores: 2 (dois).
- Potência de cada transformador: 32/40 MVA.
- Carregamento em operação normal:
 - TR1: 24 MVA
 - TR2: 24 MVA.
- Carregamento em operação de contingência:

- 24 MVA no transformador TR1 ou TR2.

7.4. Previsão de carregamento da subestação

A subestação tem uma previsão de carregamento máximo planejado para um horizonte de 10 anos que corresponde a 35,9 MVA, sendo que a previsão deste carregamento máximo acontecerá de forma gradativa e dependerá do desenvolvimento da região, coordenado pela própria Prefeitura do Município e Governo Estadual, como também do desenvolvimento econômico e social do país.

Quando se planeja uma previsão de carregamento da subestação consideram-se fatores sócios econômicos envolvidos, desta forma estima-se uma previsão de crescimento de mercado. Essa previsão de mercado é concedida de forma nacional, com isso define-se o planejamento estratégico para atendimento de cargas da Eletropaulo como também de toda a rede básica do sistema nacional de geração e transmissão de energia, esta atividade é realizada anualmente. Para esta região da subestação ETD Gomes Cardim, o crescimento de mercado previsto é de 2,2% ao ano para as cargas instaladas, previsto para os próximos 10 anos. O gráfico 1 representa a previsão de carregamento, em termos de demanda da subestação em função das cargas até 2027.

O gráfico 2 representa a curva de carga diária inicial previsto para a subestação ETD Gomes Cardim, apresentando a potencia máxima em termos de demanda, bem como, a potência média da subestação, utilizados para determinação do fator de carga. Esta curva foi determinada considerando os circuitos atualmente são alimentados pela subestação e que permanecerão após a sua ampliação, formando assim o sua curva de carga e o carregamento inicial.

O gráfico 3 representa a curva de carga projetada da subestação ETD Gomes Cardim até 2026, considerando a taxa de crescimento previsto.

Esse perfil de curva somente será alterado se for modificado o tipo de zoneamento da região, por exemplo, alterar de perfil predominantemente comercial para um perfil predominantemente residencial.

Em função destas curvas de carga apresentadas nos gráficos 2 e 3 pode-se calcular o fator de carga da subestação, sendo que esse fator não deve ser alterado até 2026, pois o perfil é o mesmo como mostrado acima.

$$F_c = \frac{P_{média}}{P_{máxima}} = \frac{23,01}{29,50} \times 100 = 78,0\%$$

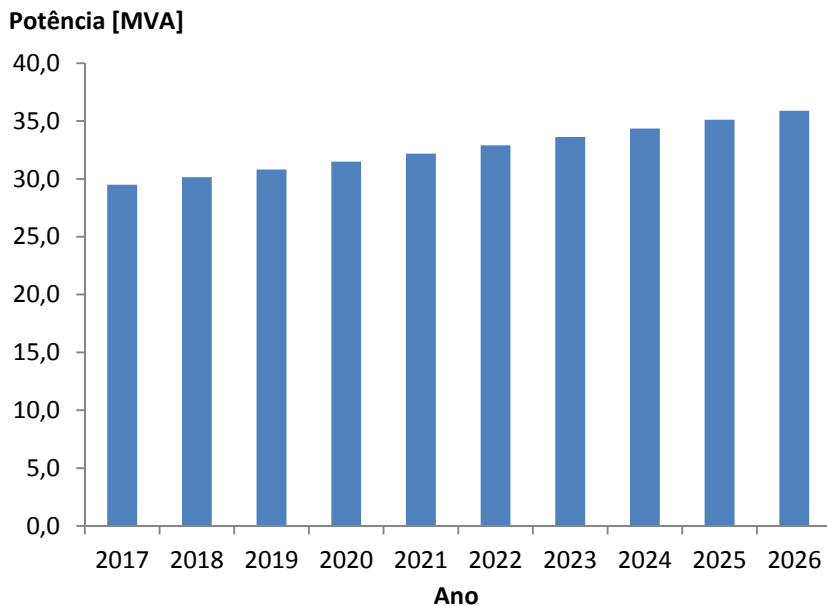


Gráfico 1: Projeção de carregamento da ETD Gomes Cardim até 2026.

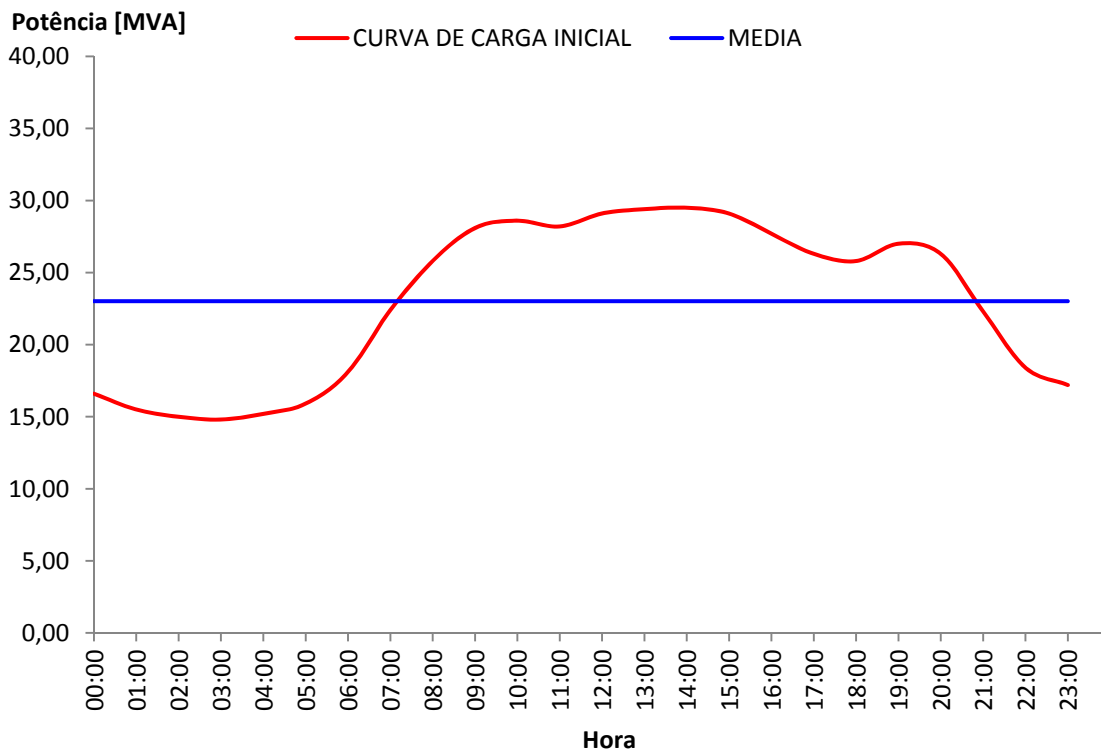


Gráfico 2: Curva de carga diária inicial previsto para a ETD Gomes Cardim.

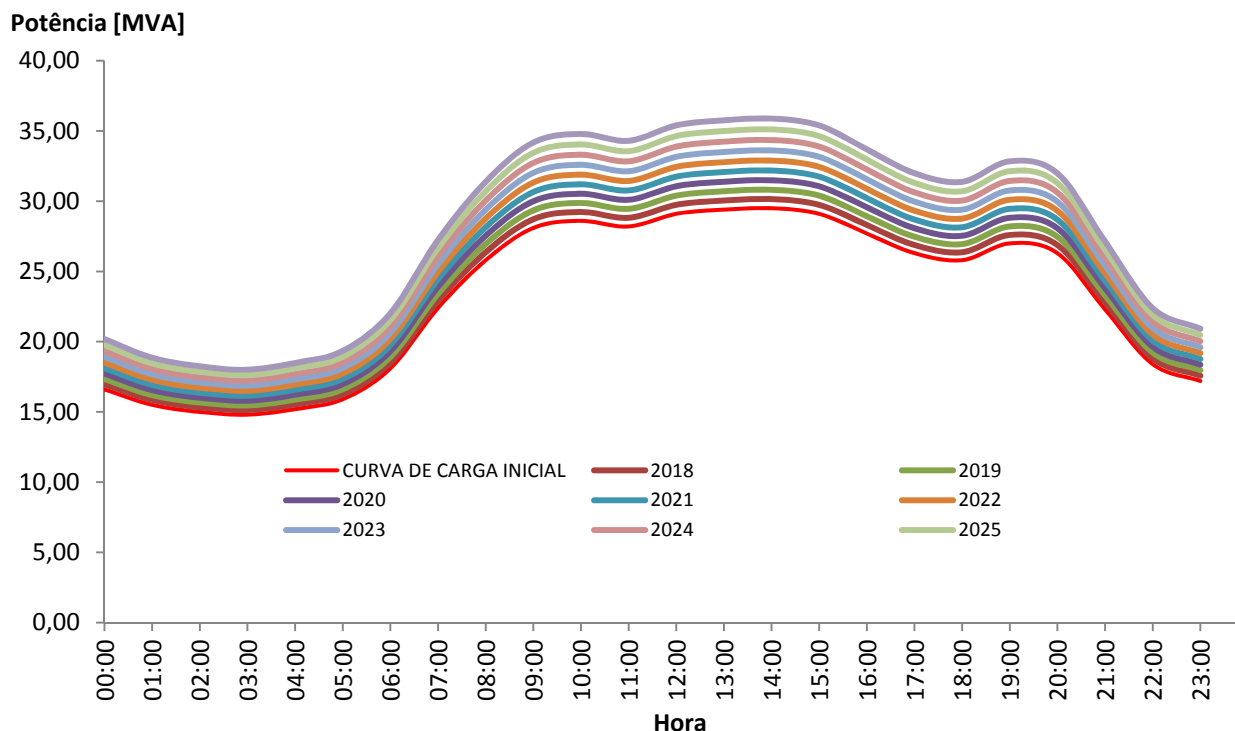


Gráfico 3: Curva de carga diária projetada até 2026.

7.5. Planejamento da ampliação da subestação ETD Gomes Cardim

As obras de ampliação da subestação serão realizadas para atender as necessidades de planejamento e operação da mesma, em uma única etapa de instalação.

- Projeto: Será executado o projeto de ampliação da subestação contemplando todas as necessidades técnicas para o pleno desenvolvimento da subestação e minimizando os impactos ambientais durante o processo de obras civis, montagem eletromecânica e também na operação da subestação.
- Obras civis: Serão executados conforme projeto, contemplando todas as necessidades de instalação de equipamentos incluindo a construção de sistemas de aterramento, drenagem e contenção de óleo, barramentos de entrada da alimentação e saída dos circuitos e edificação para sala de comando e controle.
- Montagem eletromecânica: Serão realizadas conforme projeto energizando os 02 novos transformadores de 32/40 MVA inicialmente em tensão e executando as transferências de circuitos existentes gradativamente, para permitir desativação e retirada dos transformadores atualmente em operação.

7.6. Memorial descritivo do projeto

O projeto eletromecânico da subestação é mostrado na figura 1. No projeto de ampliação dessa subestação serão mantidas as mesmas estruturas e a disposição atual dos equipamentos e obedecerão aos padrões aplicados em qualquer subestação padrão da Eletropaulo, como distanciamento entre fases, distanciamento entre fase e terra, alturas dos barramentos, mesmo tipo e bitola de cabos e barramentos.

A modernização e ampliação da subestação contemplará a instalação dos seguintes equipamentos com a limitação de potências descritas no item 7.3:

- Equipamentos de proteção na entrada da subestação, para-raios, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores de potencial e de corrente;
- Transformadores de potência, 2 unidades, para alimentação dos barramentos de media tensão;
- Conjunto blindado instalado abrigado, localizado dentro da sala de comando e controle da subestação;
- Conjunto de banco de capacitores;
- Todos os cabos de interligação entre transformadores e conjunto blindado e banco de capacitores, são de classe de tensão 15 kV, com blindagem metálica instalados a uma profundidade média de 1,5 metros;
- Todos os cabos de saída dos circuitos de distribuição são de classe 15 kV com blindagem metálica, instalados a uma profundidade média de 1,5 metros e locada conforme projeto de distribuição.

As obras civis serão construídas para atender também as necessidades do projeto, como:

- Bases para equipamentos;
- Edificação de controle;
- Sistema de coleta de óleo;
- Sistema de drenagem de águas pluviais.

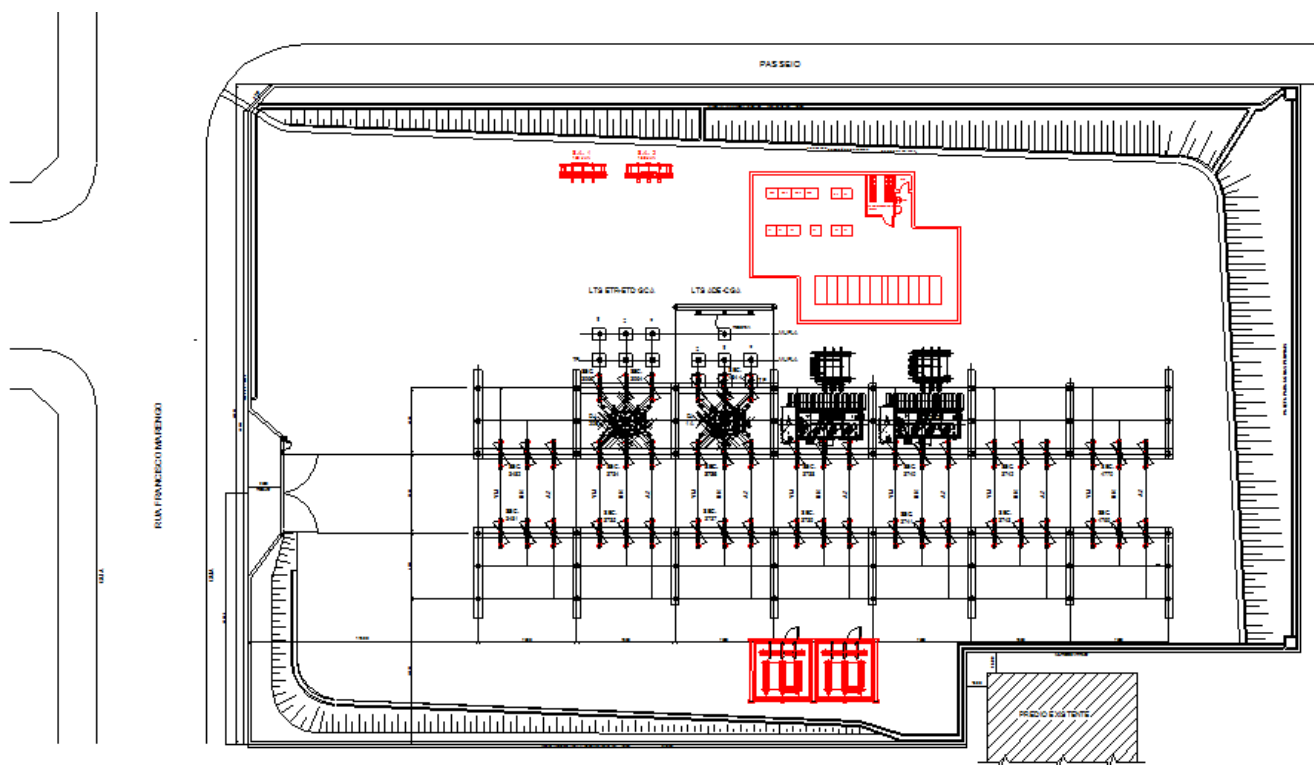


Figura 1: Arranjo dos equipamentos após ampliação da subestação ETD Gomes Cardim.

7.7. Cabos de saída dos circuitos de distribuição

Os cabos subterrâneos que alimentam os circuitos de distribuição da subestação serão instalados nos mesmos dutos de saída existentes na Rua Santa Gertrudes e Rua Francisco Marengo.

Cada conjunto de saída será composto de diversos circuitos trifásicos que acessam a uma caixa subterrânea, as quais permitiram a instalação da separação dos circuitos em cada ponto específico onde será realizada a conexão com o circuito aéreo.

7.8. Principais distâncias

Nas tabelas 1 a 4 contem as principais distâncias de alguns equipamentos aos muros de divisa da subestação, essas distâncias são em linha reta ao muro na projeção vertical. Estes valores são obtidos da figura 1 referente à planta geral da subestação.

Tabela 1: Principais distâncias ao muro de divisa com a Rua Francisco Marengo

Descrição	Distância ao Muro em metros
Barramento de 138/88 kV	17,5
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	44,0
Barramento de 13,8kV	43,0

Tabela 2: Principais distâncias ao muro de divisa do vizinho – Lado da Rua Francisco Marengo

Descrição	Distância ao Muro em metros
Barramento de 138/88 kV	4,0
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	17,5
Barramento de 13,8kV	27,5

Tabela 3: Principais distâncias ao muro de divisa com a Rua Santa Gertrudes

Descrição	Distância ao Muro em metros
Barramento de 138/88 kV	23,0
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	26,5
Barramento de 13,8kV	15,6

Tabela 4: Principais distâncias ao muro de divisa do fundo – Lado da Rua Santa Gertrudes

Descrição	Distância ao Muro em metros
Barramento de 138/88 kV	10,0
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	28,8
Barramento de 13,8kV	27,0

Nota:

- 1) As distâncias apresentadas nas tabelas 1 a 4 referente ao barramento de 138 kV não contemplam a componente vertical referente à altura que este barramento está em relação ao solo. A distância apresentada refere-se à distância horizontal referente à projeção da fase do barramento no solo. Caso contemple a componente vertical a distância será maior do que a informada.

7.9. Caracterização da vizinhança

A subestação ETD Gomes Cardim possui os seguintes vizinhos:

- Rua Francisco Marengo: Trata-se de uma rua composta de 02 pistas de rolamento, sentido duplo, de aproximadamente 10 metros de largura. A vizinhança está situada a frente da subestação, a aproximadamente 15 metros do muro da subestação e é composta de um edifício da unidade da Rede D'Or Hospital São Luiz.



Figura 2: Rua Francisco Marengo – Vizinhança de frente a subestação ETD Gomes Cardim

Ao lado da subestação, na Rua Francisco Marengo, encontram-se as instalações de uma unidade escolar (Colégio Antonio de Lisboa).



Figura 3: Rua Francisco Marengo – Vizinhança ao lado da subestação ETD Gomes Cardim

- Rua Santa Gertrudes: Trata-se de uma rua composta de 02 pistas de rolamento, sentido unico, de aproximadamente 10 metros de largura. A vizinhança está situada no outro lado da rua, a aproximadamente 15 metros do muro da subestação, é composta de casas residenciais e comerciais.



Figura 4: Rua Santa Gertrudes – Vizinhança em frente a subestação ETD Gomes Cardim

No fundo da subestação, na Rua Santa Gertrudes, temos edifícios comerciais e residenciais localizadas ao lado do muro de divisa da subestação.



Figura 5: Rua Santa Gertrudes – Vizinhança ao lado da subestação ETD Gomes Cardim

7.10. Escolha desta alternativa técnica

O crescimento da demanda de energia na região tem causado elevado carregamento nos circuitos de distribuição supridos pela subestação ETD Gomes Cardim, trazendo prejuízo as condições de flexibilidade de confiabilidade operativa no fornecimento de energia elétrica na região.

Os estudos técnicos realizados pela Eletropaulo indicaram como melhor alternativa técnica e econômica para melhoria na qualidade e continuidade no fornecimento de energia elétrica nessa região, bem como, atender ao crescimento de demanda, a ampliação desta subestação. Esta alternativa ainda não gera impactos sociais na região causado pela necessidade de desapropriações no caso da construção de nova subestação e de respectiva da linha de transmissão para sua alimentação.

8. SUBESTAÇÃO SIMILAR

A modernização e ampliação da subestação ETD Gomes Cardim se caracteriza pela manutenção do arranjo e da configuração atual onde serão mantidos os barramento de alta tensão de 88 kV e o posicionamento dos transformadores de potência e dos conjuntos blindados responsáveis pela distribuição dos circuitos alimentadores de 13,8 kV.

A condição de carregamento também será mantida, sendo que a curva de carga atual da subestação é a base para a curva de carga projetada para os próximos 10 anos conforme taxa de crescimento previsto.

Face a esta condição de similaridade do padrão construtivo e operativo, os estudos e estimativas do campo elétrico e magnético para condição futura da subestação Gomes Cardim serão realizados com base nas medições das condições atuais desta subestação.

8.1. Características Elétricas

A subestação tem as seguintes características elétricas:

- Tensão de operação: 88 kV
- Capacidade máxima instalação: 42 MVA
- Capacidade máxima em operação normal: 31,2 MVA.
- Número de transformadores: 3
- Potência de cada transformador:
 - TR3 e TR4: 12/15 MVA
 - TR5: 9,6/12 MVA
- Carregamento em operação normal:
 - TR3: 9 MVA
 - TR4: 9 MVA
 - TR5: 12 MVA
- Carregamento em operação de contingência:
 - 18 MVA no transformador TR3 ou TR4
 - 13,2 MVA no transformador TR5.

8.2. Principais distâncias

O projeto eletromecânico da subestação ETD Gomes Cardim na condição atual é mostrado na figura 6, que traz as principais distâncias de alguns equipamentos ao muro de divisa da subestação para comparação com as distâncias desta subestação na condução futura, após a ampliação (figura 1). Estas distâncias estão apresentadas na tabela 5.

Tabela 5: Principais distâncias ao muro de divisa – ETD Gomes Cardim – Situação atual

Descrição	Referência	Distância ao Muro em metros
Barramento de 138/88 kV	Rua Francisco Marengo	17,5
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	Rua Francisco Marengo	21,0
Barramento de 13,8kV	Rua Francisco Marengo	16,0
Barramento de 138/88 kV	Vizinho - Rua Francisco Marengo	4,0
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	Vizinho - Rua Francisco Marengo	17,5
Barramento de 13,8kV	Vizinho - Rua Francisco	23,0

	Marengo	
Barramento de 138/88 kV	Rua Santa Gertrudes	23,0
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	Rua Santa Gertrudes	26,5
Barramento de 13,8kV	Rua Santa Gertrudes	15,5
Barramento de 138/88 kV	Vizinho fundo	10,0
Transformador de potência 138/88 – 13,8kV	Vizinho fundo	13,5
Barramento de 13,8kV	Vizinho fundo	11,5

Notas:

- 1) As distâncias apresentadas na tabela 5 referente ao barramento de 138 kV não contemplam a componente vertical referente à altura que este barramento está em relação ao solo. A distância apresentada refere-se à distância horizontal referente à projeção da fase do barramento no solo. Caso contemple a componente vertical a distância será maior do que a informada.

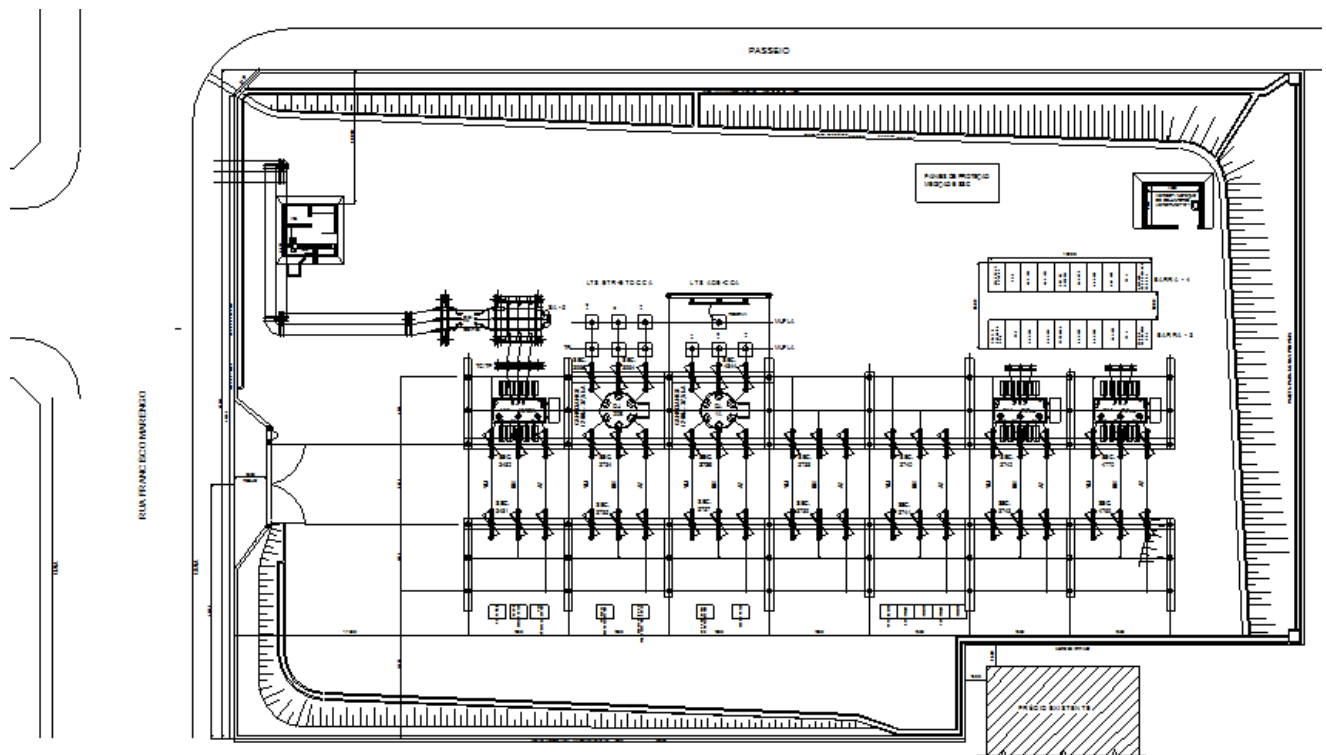


Figura 6: Planta da subestação ETD Gomes Cardim – Situação atual

9. MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO E MEGNÉTICO

As medições de campo elétrico e magnético na ETD Gomes Cardim foram realizadas no dia 12/04/2016, no período entre 13h20min as 16h30min e curva de carga da subestação neste dia é apresentado no Gráfico 4.

Analisando a curva de carga, observa-se que a carga atual da ETD Gomes Cardim possui uma característica tipicamente comercial, pois a demanda máxima ocorre entre o período de 10 horas até 21 horas, aproximadamente.

O gráfico 4 mostra ainda que a curva de carga diária é similar a curva de carga projetada, cujo fator de carga é de 75,1% conforme equação apresentada no item 5.3 deste relatório.

$$F_c = \frac{P_{média}}{P_{máxima}} = \frac{18,01}{23,99} \times 100 = 75,1\%$$

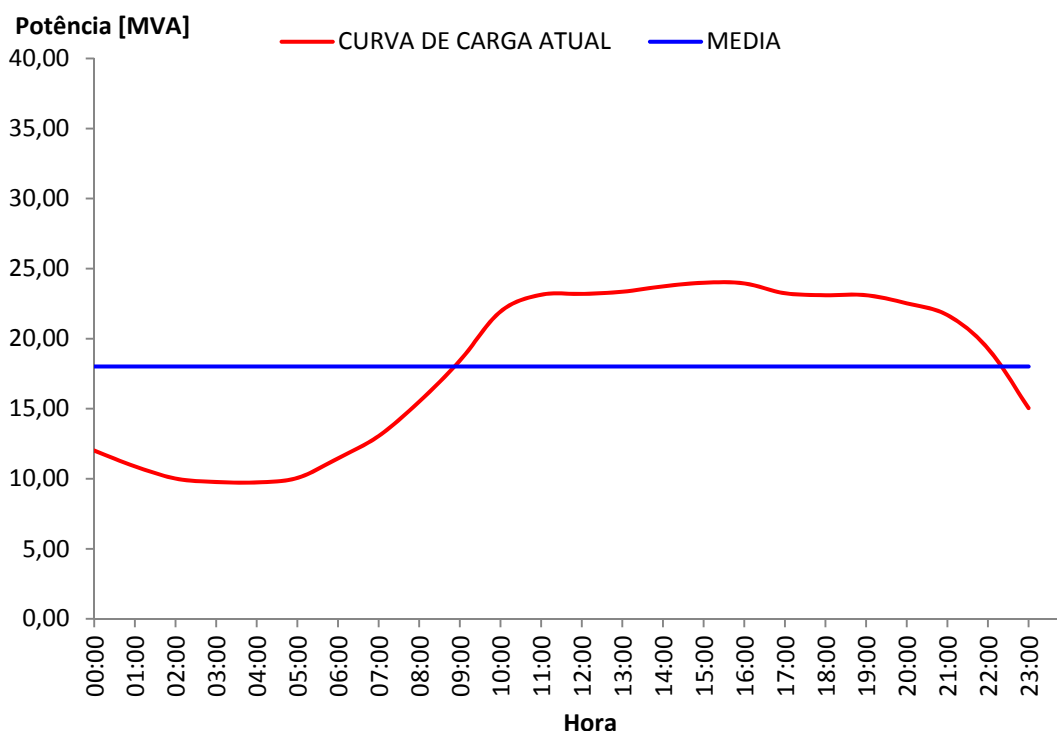


Gráfico 4: Curva de carga diária atual da ETD Gomes Cardim.

9.1. Campo Elétrico – Condição atual

Foram realizadas as medições de campo elétrico na subestação ETD Gomes Cardim na condição atual. As medições realizadas a altura de 1,5 metros nos pontos de divisa estão mostradas na tabela 6, conforme relatório de medição (Anexo I). As demais medições que constam deste relatório referem-se pontos internos para público ocupacional.

Tabela 6: Medição de campo elétrico – Subestação ETD Gomes Cardim

Ponto	Campo elétrico (kV/m)	Descrição
P1	0,053	Muro de divisa – Portão de entrada – Rua Francisco Marengo
P2	0,003	Muro de divisa – Lateral direito – Rua Francisco Marengo
P3	0,147	Muro de divisa – Lateral direito – Rua Francisco Marengo
P4	0,108	Muro de divisa – Lateral direito – Rua Francisco Marengo
P22	0,074	Muro de divisa – Fundo – Rua Santa Gertrudes
P42	0,001	Muro de divisa – Frente – Rua Francisco Marengo
P43	0,002	Muro de divisa – Lateral – Rua Santa Gertrudes
P44	0,000	Muro de divisa – Fundo – Rua Santa Gertrudes
P45	0,002	Muro de divisa – Lateral – Rua Santa Gertrudes

9.2. Campo Elétrico – Condição futura

Analisando os valores medidos de campo elétrico na subestação ETD Gomes Cardim em sua configuração atual e considerando que as características construtivas e operativas para a condição atual e futura serão mantidas, estima-se que os valores de campo elétrico na subestação ETD Gomes Cardim ao qual o público geral estará exposto, deverá estar aproximadamente na mesma faixa de valores de campo medidos atualmente, ou seja:

Valor mínimo estimado: 0,001 kV/m

Valor máximo estimado: 0,147 kV/m

9.3. Configuração da ETD Gomes Cardim na tensão de operação 138 kV

Quando da realização da medição de campo elétrico da subestação a mesma estava operando no nível de 88 kV. Quando a subestação operar com a tensão de 138 KV, nos mesmos pontos geográficos medidos anteriormente teremos os campos elétricos mostrados na tabela 7.

A tabela 7 apresenta os valores obtidos através da relação direta do aumento da tensão.

$$E_{138kV} = E_{88kV} \left(\frac{V_{138kV}}{V_{88kV}} \right)$$

Tabela 7: Campo elétrico estimado para a operação na tensão de 138 kV – ETD Gomes Cardim.

Ponto	Campo elétrico (kV/m)	
	Campo elétrico medido (operação 88 kV)	Campo elétrico estimado (operação 138 kV)
P1	0,053	0,083
P2	0,003	0,005
P3	0,147	0,231
P4	0,108	0,169
P22	0,074	0,116
P42	0,001	0,002
P43	0,002	0,003
P44	0,000	0,000
P45	0,002	0,003

Analisando a tabela 7 para a tensão de operação 88 kV e para tensão de operação 138 kV, observa-se um aumento médio do campo elétrico na ordem da relação dos níveis de tensão de operação, concluindo que o público geral estará exposto a um nível de campo elétrico menor que as recomendações existentes.

9.4. Campo Magnético – Condição atual

Realizou-se a medição de campo magnético na condição atual da subestação, medindo a altura de 1,5 metros nos pontos mostrada na tabela 8, conforme relatório de medição (Anexo I). Os demais pontos que constam deste relatório de medição referem-se ao público ocupacional.

Tabela 8: Medição de campo magnético – Subestação ETD Gomes Cardim

Ponto	Campo Magnético (μT)	Descrição
P1	0,49	Muro de divisa – Portão de entrada – Rua Francisco Marengo
P2	0,31	Muro de divisa – Lateral direito – Rua Francisco Marengo
P3	0,25	Muro de divisa – Lateral direito – Rua Francisco Marengo
P4	0,33	Muro de divisa – Lateral direito – Rua Francisco Marengo
P22	0,16	Muro de divisa – Fundo – Rua Santa Gertrudes
P42	0,57	Muro de divisa – Frente – Rua Francisco Marengo
P43	0,74	Muro de divisa – Lateral – Rua Santa Gertrudes
P44	0,72	Muro de divisa – Fundo – Rua Santa Gertrudes
P45	0,59	Muro de divisa – Lateral – Rua Santa Gertrudes

Pode-se observar, conforme o relatório de medição de campo elétrico e magnético, que os valores encontrados para a exposição do campo elétrico e magnético para o público

em geral na subestação ETD Gomes Cardim, encontra-se inferior aos valores estabelecidos pelas recomendações da Lei Federal 11.934 de 05/05/09, que dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, NBR-15415, da ICNIRP e a portaria 80/SVMA/2005 da Secretaria do Verde e Meio Ambiente do município de São Paulo.

9.5. Campo Magnético – Condição futura

Analisando os valores medidos de campo elétrico na subestação ETD Gomes Cardim em sua configuração atual e considerando que as características construtivas e operativas para a condição atual e futura serão mantidas, estima-se que os valores de campo magnético na subestação ETD Gomes Cardim ao qual o público geral estará exposto, deverá estar aproximadamente na mesma faixa de valores de campo medidos atualmente, ou seja:

Valor mínimo estimado: 0,16 μT

Valor máximo estimado: 0,74 μT

9.6. Configuração da ETD Gomes Cardim na tensão de operação 138 kV

A tabela 8 apresenta os pontos medidos referente à exposição instantânea do público geral com a subestação operando na tensão de 88 kV, medidos no horário entre as 13h20min às 16h30min.

Para a operação na tensão de 138 kV, a corrente que é o fator gerador do campo magnético deverá ser reduzida em função da potencia do transformador não alterar em função da tensão de operação, isto é, a potencia dos transformadores é a mesma para qualquer nível de tensão de operação.

Assim, conforme item 8.1 do relatório técnico do projeto, a subestação possui atualmente 3 (tres) transformadores totalizando uma capacidade máxima em operação normal de 31,2 MVA correspondendo a seguintes correntes.

Na tensão de operação de 88 kV:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I = \frac{31200}{\sqrt{3} \times 88} = 204,70 A$$

Na tensão de operação de 138 kV:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I = \frac{31200}{\sqrt{3} \times 138} = 130,53 A$$

Quando da realização da medição de campo magnético da subestação a mesma estava operando no nível de 88 kV. Quando for operar com a tensão de 138 kV, para os mesmos pontos geográficos medidos anteriormente, teremos os campos magnéticos

apresentado na tabela, sendo que os valores são obtidos através da relação direta da diminuição da corrente.

$$B_{138kV} = B_{88kV} \left(\frac{I_{138kV}}{I_{88kV}} \right)$$

Tabela 9: Campo magnético estimado para a operação na tensão de 88 e 138 kV – ETD Gomes Cardim

Ponto	Campo magnético B(μT)	
	Campo magnético medido (operação 88 kV)	Campo magnético estimado (operação 138 kV)
P1	0,49	0,31
P2	0,31	0,20
P3	0,25	0,16
P4	0,33	0,21
P22	0,16	0,10
P42	0,57	0,36
P43	0,74	0,47
P44	0,72	0,46
P45	0,59	0,38

Como a capacidade máxima dos transformadores e a tensão da baixa tensão do mesmo não são alteradas em função da tensão de operação da subestação, o campo magnético gerado em função da corrente proveniente da baixa tensão do transformador também não é alterado, portanto não contribui na alteração do valor estimado do campo magnético na tensão de operação de 138 kV apresentado na tabela 9. A contribuição do campo magnético devido a corrente proveniente da baixa tensão do transformador já está contemplado no valor do campo magnético medido. Comparando os valores apresentados na tabela 9 dos campos magnéticos gerados com a subestação operando na tensão de 88 kV ou 138 kV, conclui-se que na tensão de operação de 138 kV teremos uma redução estimada do campo magnético na ordem de 36%.

9.7. Estimativa de campo magnético máximo instantâneo em função da curva de carga

Através da curva de carga pode-se estimar o valor do campo magnético máximo nos mesmos pontos geográficos medidos através do cálculo de variação da corrente.

Pelo gráfico 4 pode-se observar que a máxima carga da subestação ocorre a aproximadamente 15h00 sendo ordem de 23,99 MVA, enquanto que o horário que se realizou a medição de campo magnético da subestação foi das 13h20 as 16h30min conforme relatório de medição (Anexo I). Neste período de medição, o carregamento médio da subestação, conforme gráfico 4 é da ordem de 23,75 MVA. Deste modo necessita-se realizar uma correlação da tabela 9 com o horário de máximo carregamento da subestação.

Assim, para determinar o máximo campo magnético estimado deve-se encontrar um Índice de correção I_c que é dado por:

$$I_c = \frac{\text{Carregamento máximo}}{\text{Carregamento medi medição}}$$

$$I_c = \frac{23,99}{23,75} = 1,01$$

Com esse índice I_c corrigem-se os valores de campo magnético medido e apresentado na tabela 9, estimando o campo magnético máximo instantâneo na ETD Gomes Cardim. Esses valores são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Campo magnético Máximo estimado da ETD Gomes Cardim no horário de máximo carregamento

Ponto	Campo magnético B(μ T)	
	Campo magnético máximo (operação 88 kV)	Campo magnético máximo (operação 138 kV)
P1	0,49	0,32
P2	0,31	0,20
P3	0,25	0,16
P4	0,33	0,21
P22	0,16	0,10
P42	0,58	0,37
P43	0,75	0,48
P44	0,73	0,46
P45	0,60	0,38

O maior valor encontrado na tabela 10 de campo magnético instantâneo corresponde ao ponto P43, cujo valor calculado é de 0,75 μ T para o máximo carregamento conforme curva de carga apresentada no gráfico 4.

Se relacionarmos com a capacidade máxima em operação normal da subestação ETD Gomos Cardim que é de 48 MVA conforme item 7.3, o índice de correção será de

$I_c=2,02$ que corresponderá a um campo magnético máximo instantâneo no ponto P43 de $1,50 \mu T$ na tensão de 88kV e $0,95 \mu T$ na tensão de 138 kV.

Conclui-se assim que os valores acima são os máximos que a população em geral estará exposta para o campo magnético instantâneo, portanto abaixo dos valores recomendados pelas normas técnicas, lei federal e portaria da SVMA.

9.8. Estimativa de campo magnético médio da ETD Gomes Cardim

No gráfico 4 apresenta a curva de carga média da subestação que corresponde a potencia média de 18,01 MVA para um período de 24 horas, com isso a um fator de carga de 75,1%.

Observando a tabela 10 conclui-se que o ponto P43 é o ponto de máximo campo magnético instantâneo que o público geral está exposto. O campo médio que neste ponto pode ser obtida através da relação de correntes, pois as distancias geográficas não se alterarão:

$$B_{medio} = B_{maximo} \left(\frac{I_{medio}}{I_{maximo}} \right)$$

A relação entre corrente media e máxima representa o fator de carga da subestação. Então:

$$B_{medio} = B_{maximo} * Fc$$

Logo, os valores de campo médio considerando o fator de carga atual da subestação ETD Gomes Cardim serão:

Na tensão de operação de 88 kV:

$$B_{medio} = 0,75 * 0,751 = 0,563 \mu T$$

Na tensão de operação de 138 kV:

$$B_{medio} = 0,48 * 0,751 = 0,360 \mu T$$

Se considerarmos o fator de carga projetada da subestação ETD Gomes Cardim de 78% teremos os seguintes valores de campo médio:

Na tensão de operação de 88 kV:

$$B_{medio} = 0,75 * 0,78 = 0,585 \mu T$$

Na tensão de operação de 138 kV:

$$B_{medio} = 0,48 * 0,78 = 0,374 \mu T$$

Conclui-se assim que o campo médio estimado para a ETD Gomes Cardim é menor do que a recomendação da portaria da SVMA.

10. CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados nos itens anteriores, pode-se concluir que:

- Os valores estimados de campo elétrico e campo magnético são inferiores aos valores estabelecidos pela Lei Federal 11.934 de 05/05/09 e pela Resolução 616 da ANEEL, que dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, cujos valores correspondem a que corresponde a 4,167 kV/m e 200 μ T para campo elétrico e magnético respectivamente
- Os valores estimados de campo elétrico e campo magnético são inferiores aos valores estabelecidos na norma NBR 15415 - 2006, que corresponde a 4,16 kV/m e 83,3 μ T para campo elétrico e magnético respectivamente.
- Os valores estimados de campo elétrico e campo magnético são inferiores aos valores estabelecidos pelo Guia de exposição do ICNIRP, que corresponde a 4,167 kV/m e 200 μ T para campo elétrico e magnético respectivamente.
- Os valores estimados de campo elétrico e campo magnético são inferiores aos valores estabelecidos na portaria 80/SVMA/2005, que corresponde a 4,166 kV/m e 83,333 μ T para campo elétrico e magnético respectivamente.

A utilização de medição de campo elétrico e magnético é a melhor condição de avaliar e estimar o campo elétrico e magnético de uma subestação que uma população está exposta, pois não existe até o momento um software que modele espacialmente todos os equipamentos da subestação, como barramentos de alta tensão, disjuntores, chaves seccionadoras, conjuntos blindados de média tensão, cabos subterrâneos, malha terra, etc. Estes equipamentos deveriam ser modelados em forma espacial, isto é, contemplando suas reais localizações dentro da subestação e definindo suas contribuições em função de sua forma construtiva dos equipamentos.

Após a conclusão das obras e as transferências de cargas para esta subestação a Eletropaulo estará realizando novas medições para avaliação de campo elétrico e magnético.

**ANEXO I – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO – ETD
GOMES CARDIM**
