

**MEMORIAL DE CÁLCULO DA MALHA DE ATERRAMENTO
CABINE DE MEDIÇÃO/PROTEÇÃO**

**SERVICO SOCIAL DO COMERCIO - SESC/AR/PA
CNPJ: 03.593.364/0002-00**

**BELÉM-PA
23/06/2024**

SUMÁRIO

1	OBJETIVO.....	3
2	DEFINIÇÕES INICIAIS.....	5
3	DADOS DA CONCESSIONÁRIA.....	5
4	SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR.....	6
5	NÚMERO DE CONDUTORES PRINCIPAIS E DE JUNÇÃO.....	6
6	COMPRIMENTO DO CONDUTOR.....	7
7	COEFICIENTES DE AJUSTE.....	7
8	COMPRIMENTO MÍNIMO DO CONDUTOR DA MALHA.....	8
9	TENSÃO DE PASSO.....	9
10	TENSÃO DE PASSO EXISTENTE NA PERIFERIA.....	9
11	TENSÃO MÁXIMA DE TOQUE.....	9
12	TENSÃO DE TOQUE... EXISTENTE.....	9
13	CORRENTE MÁXIMA DE CHOQUE.....	10
14	CORRENTE DE CHOQUE EXISTENTE DEVIDO À TENSÃO DE PASSO.....	10
15	CORRENTE DE CHOQUE DEVIDO À TENSÃO DE TOQUE EXISTENTE, COM BRITA 10	
16	CORRENTE MÍNIMA DE ACIONAMENTO DO RELÉ DE TERRA.....	10
17	CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DA MALHA DE TERRA.....	11
18	OBSERVAÇÕES.....	13

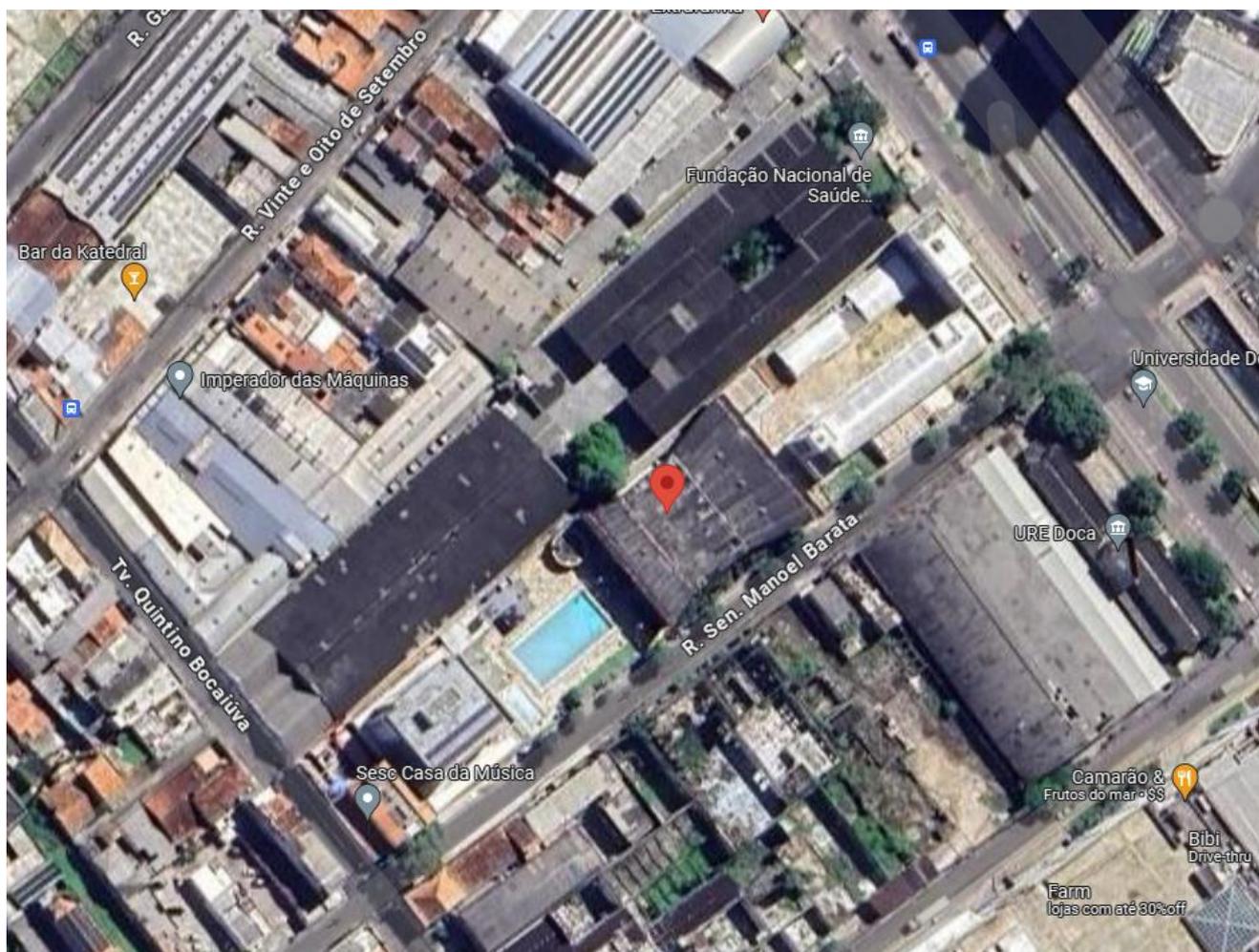
1 OBJETIVO

O presente memorial de cálculo tem como objetivo definir a malha de aterramento de uma cabine de medição/proteção, de propriedade de SERVIÇO SOCIAL DO COMERCIO - SESC/AR/PA (CNPJ: 03.593.364/0002-00), localizada no seguinte endereço: RUA SENADOR MANOEL BARATA, 1873, BAIRRO: REDUTO, BELÉM/PA, CEP: 66053-320.

1.1 DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

Unidade consumidora:	15890	
Coord. UTM transformação:	X = 779279.95 m E	Y = 9840134.51 m S
Coord. UTM derivação:	X = 779274.03 m E	Y = 9840113.71 m S
ID poste de derivação:	sem identificação	

Figura 1 - Localização do posto de transformação



1.2 NORMAS TÉCNICAS APLICADAS

As principais normas (versões mais recentes) utilizadas na elaboração do projeto elétrico do prédio e que devem ser consideradas na execução estão listadas abaixo:

ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
ABNT NBR 5419: Proteção Contra Descargas Atmosféricas;
ABNT NBR NM 280: Condutores de Cabos Isolados (IEC 60228, MOD);
ABNT NBR NM 247-2: Cabos Isolados com Policloreto de Vinila (PVC) para Tensões Nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 2: Métodos de Ensaio (IEC 60227-2, MOD);
ABNT NBR NM 247-3: Cabos Isolados com Policloreto de Vinila (PVC) para Tensões Nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 3: Condutores Isolados (sem Cobertura) para Instalações Fixas (IEC 60227-3, MOD);
ABNT NM 60898: Disjuntores para Proteção de Sobrecorrentes para Instalações Domésticas e Similares (IEC 60898:1995, MOD);
ABNT NBR 15465: Sistemas de Eletrodutos Plásticos para Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Requisitos de Desempenho;
ABNT NBR IEC 60439-3: Conjunto de Manobra e Controle de Baixa Tensão Parte 3: Requisitos Particulares para Montagem de Acessórios de Baixa Tensão Destinados a Instalação em Locais Acessíveis a Pessoas não Qualificadas Durante sua Utilização – Quadros de Distribuição;
ABNT NBR IEC 61643-1: Dispositivo de Proteção Contra Surto em Baixa Tensão Parte 1: Dispositivo de Proteção Conectados a Sistemas de Distribuição de Energia em Baixa Tensão – Requisitos de Desempenho e Métodos de Ensaio;
ABNT NBR 6524: Fios e Cabos de Cobre Duro e Meio Duro com ou sem Cobertura Protetora para Instalação Aéreas – Especificação;
ABNT NBR 13571: Haste de Aterramento Aço-Cobreado e Acessórios;
ABNT NBR 6323: Galvanização por Imersão a Quente de Produtos de Aço e Ferro Fundido – Especificação;
ABNT NBR 13057: Eletroduto rígido de aço-carbono, com costura, zincado eletroliticamente e com rosca ABNT NBR 8133 – Requisitos;
ABNT NBR 15701: Conduletes metálicos roscados e não roscados para sistemas de eletrodutos;
ABNT NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
ABNT NBR 6251: Cabos de Potência com Isolação Extrudada para Tensões de 1 kV a 35 kV – Requisitos Construtivos;
ABNT NBR 7286: Cabos Isolados com Isolação Extrudada de Borracha Etilenopropileno (EPR, HEPR ou EPR 105) para Tensões de 1 kV a 35 kV – Requisitos de Desempenho;
NR 10: Segurança em Instalações Elétricas e Serviços em Eletricidade;

Também foram seguidas as recomendações estabelecidas nas normas da concessionária de energia local, a saber: (a) NT.001.EQTL.Normas e Padrões, que trata do Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão; (b) NT.002.EQTL.Normas e Padrões, que trata do Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão e (c) NT.009.EQTL.Normas e Padrões, que trata da Conexão de Geradores Particulares ao Sistema Elétrico.

2 DEFINIÇÕES INICIAIS

Através de bases teóricas estimamos o valor da resistência de aterramento obtida com a malha supracitada, em solo típico da região. De acordo com o trabalho publicado no Seminário sobre Tecnologia de Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua, Belém 09 e 10 de agosto de 2010, Eletrobrás, a resistividade aparente típica para a região varia em torno de 80 a 150 Ω .m.

3 DADOS DA CONCESSIONÁRIA

Foi fornecido através do documento de viabilidade técnica, os níveis de curto-circuito, sintetizando a contribuição do alimentador da concessionária, bem como os dados da proteção do equipamento a montante da unidade consumidora, abaixo relacionados.

Tabela 1 - Impedância no Ponto de Conexão fornecida pela concessionária

Impedância	R [ohms]	X [ohms]
Z0	0,7015	3,8562
Z1	0,3841	1,473
Z2	0,3841	1,473

Tabela 2 - Níveis de curto-circuito Equatorial - Cliente

Curto	Simétrico (A)	Assimétrico (A)
Trifásico	5234	6167,13
Fase-Fase	4532	5345,05
Fase-Terra	3434,7	4227,18
Fase-Terra_mínimo	196,5	196,83

Tabela 3 - Ajuste da proteção do alimentador da concessionária

Ajuste	Fase	Neutro
Tap Temporizado	600	120
Dial	0,38	1
Curva	IEC-M.I.	IEC-M.I.
Tap Instantâneo	4393	4393
Tempo Instantâneo	-	-

4 SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR (S_c)

Para o tempo de atuação do relé, $T_f = 0,5$ s, obtém-se da Tabela 4, o valor da seção mínima do condutor de cobre em mm^2/A . Considerando que a conexão dos eletrodos de terra seja em solda exotérmica e a corrente de curto-circuito fase terra seja igual a 3434,7 A, a seção mínima é dada por:

$$S_c = K \times I_{cft}$$

$$S_c = 0,002533 \times 3434,7$$

$$S_c = 8,700095 \text{ mm}^2$$

K - Coeficiente de segurança;

I_{cft} - Curto-circuito fase terra

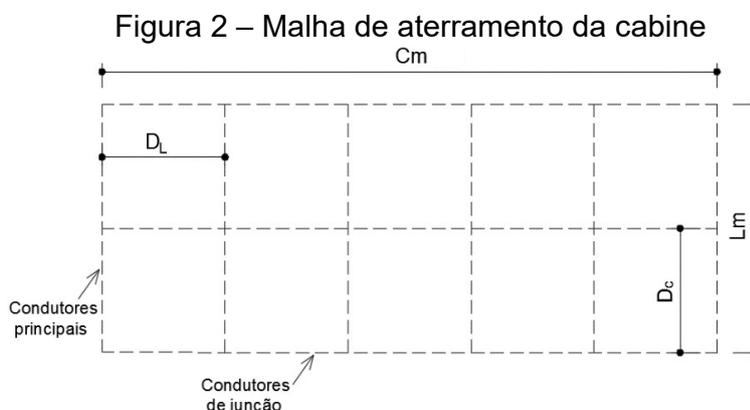
Tabela 4 - Seção mínima do condutor (mm^2/A)

Tempo (s)	Cabo simples – solda exotérmica (K)	Cabo com juntas soldadas (K)	Cabo com juntas rebitadas (K)
30	0,020268	0,025335	0,032935
4	0,007093	0,010134	0,012160
1	0,003546	0,005067	0,006080
0,5	0,002533	0,003293	0,004306

Em função da rigidez mecânica para cabos enterrados no solo, adotou-se o valor mínimo $S_c = 50 \text{ mm}^2$

5 NÚMERO DE CONDUTORES PRINCIPAIS E DE JUNÇÃO

A configuração da malha de aterramento para a qual os cálculos estão sendo realizados é apresentada na Figura 2.



5.1 CONDUTORES PRINCIPAIS (N_{cp})

$$N_{cp} = \frac{C_m}{D_l} + 1 \quad \begin{array}{l} C_m = 12,00 \text{ m} \\ D_l = 2,40 \text{ m} \end{array}$$

C_m - Comprimento da malha de terra, em m;

D_l - Distância entre os cabos correspondentes à largura da malha de terra, em m;

$$\begin{array}{l} N_{cp} = (12 / 2,4) + 1 \\ N_{cp} = \boxed{6,00} \end{array}$$

5.2 CONDUTORES DE JUNÇÃO (N_{cj})

$$N_{cj} = \frac{L_m}{D_c} + 1 \quad \begin{array}{l} L_m = 4,80 \text{ m} \\ D_c = 2,40 \text{ m} \end{array}$$

L_m - Largura da malha de terra, em m;

D_c - Distância entre os cabos correspondentes ao comprimento da malha de terra, em m;

$$\begin{array}{l} N_{cj} = (4,8 / 2,4) + 1 \\ N_{cj} = \boxed{3,00} \end{array}$$

6 COMPRIMENTO DO CONDUTOR (L_{cm})

$$L_{cm} = 1,05 \times [(C_m \times N_{cj}) + (L_m \times N_{cp})]$$

$$\begin{array}{l} L_{cm} = 1,05 \times [(12 \times 3 + 4,8 \times 6)] \\ L_{cm} = \boxed{68,04} \text{ m} \end{array}$$

7 COEFICIENTES DE AJUSTE

7.1 COEFICIENTE DA MALHA (K_m)

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \times \ln \left[\frac{D^2}{4\pi \times (N - 1) \times H \times D_{ca}} \right] \quad \begin{array}{l} H = 0,50 \text{ m} \\ D_{ca} = 0,00827 \text{ m} \end{array}$$

D - Espaçamento médio entre os condutores, na direção considerada, em m;

H - Profundidade da malha, em m;

N - Número de condutores na direção considerada;

D_{ca} - Diâmetro do condutor, em m;

$$\begin{array}{l} K_{mp} = (1/2\pi) \times \ln(2,4^2 / [4\pi \times (6-1) \times 0,5 \times 0,00827]) \\ K_{mp} = \boxed{0,49} \end{array}$$

$$\begin{aligned} K_{mj} &= \frac{(1/2\pi) \times \ln(2,4^2 / [4\pi \times (3-1) \times 0,5 \times 0,00827])}{\pi} \\ K_{mj} &= \boxed{0,64} \end{aligned}$$

7.2 COEFICIENTE DE SUPERFÍCIE (Ks)

$$K_s = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \frac{1}{2 \times H} + \frac{1}{D + H} + \frac{\ln[0,655 \times (N - 1) - 0,328]}{D} \right\}$$

$$\begin{aligned} K_{sp} &= \frac{(1/\pi) \times \{ [1 / (2 \times 0,5)] + [1 / (2,4 + 0,5)] + \{ \text{LN}[0,655 \times (6 - 1) - 0,328] \} / 2,4 \}}{\pi} \\ K_{sp} &= \boxed{0,57} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sj} &= \frac{(1/\pi) \times \{ [1 / (2 \times 3000)] + [1 / (80 + 3000)] + \{ \text{LN}[0,655 \times (0 - 1) - 0,328] \} / 80 \}}{\pi} \\ K_{sj} &= \boxed{0,43} \end{aligned}$$

7.3 COEFICIENTE DE IRREGULARIDADE (Ki)

$$K_i = 0,65 + 0,172 \times N$$

$$\begin{aligned} K_{ip} &= 0,65 + 0,172 \times 6 \\ K_{ip} &= \boxed{1,68} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{ij} &= 0,65 + 0,172 \times 3 \\ K_{ij} &= \boxed{1,17} \end{aligned}$$

8 COMPRIMENTO MÍNIMO DO CONDUTOR DA MALHA

$$L_c = \frac{K_m \times K_i \times \rho_a \times I_{cft\min} \times \sqrt{T_f}}{0,116 + 0,174 \times \rho_s}$$

ps - Resistividade da camada superior da malha, normalmente brita, cujo valor é de 3.000 Ω.m;

pa - Resistividade aparente do solo, cujo valor é de 80 Ω.m;

Icftmínimo - Curto-circuito fase terra mínimo;

Tf - Tempo de atuação do relé , cujo valor é de 0,5 s;

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{(0,49 \times 1,68 \times 80 \times 196,5 \times \sqrt{0,5})}{(116 + 0,174 \times 3000)} \\ L_c &= \boxed{14,45} \text{ m} \end{aligned}$$

Adicionando-se eletrodos verticais e recalculando-se o comprimento dos condutores (Lcm) tem-se:

$$L_{cm} = 1,05 \times [(C_m \times N_{cj}) + (L_m \times N_{cp})] + (N_h \times L_h)$$

Nh - Número de eletrodos verticais; (Nh = 18)

Lh - Comprimento de um eletroduto vertical, em m; (Lh = 2,4 m)

$$\begin{aligned} L_{cm} &= 1,05 \times [(12 \times 3 + 4,8 \times 6)] + (18 \times 2,4) \\ L_{cm} &= \boxed{111,24} \text{ m} \end{aligned}$$

A seguinte condição deverá ser atendida:

$$L_{cm} \geq L_c$$

111,24 m \geq 14,45 m (condição atendida)

9 TENSÃO DE PASSO (Epa)

$$E_{pa} = \frac{116 + 0,7 \times \rho_s}{\sqrt{T_f}}$$

$$\begin{aligned} E_{pa} &= (116 + 0,7 \times 3000) / \sqrt{0,5} \\ E_{pa} &= \boxed{3133,90} \text{ V} \end{aligned}$$

10 TENSÃO DE PASSO EXISTENTE NA PERIFERIA (Eper)

$$E_{per} = \frac{K_s \times K_i \times \rho_a \times I_{cftmín}}{L_{cm}}$$

$$\begin{aligned} E_{per} &= (0,57 \times 1,68 \times 80 \times 196,5) / 111,24 \\ E_{per} &= \boxed{135,82} \text{ V} \end{aligned}$$

A seguinte condição deverá ser atendida:

$$E_{pa} \geq E_{per}$$

3133,9 V \geq 135,82 V (condição atendida)

11 TENSÃO MÁXIMA DE TOQUE (Etm)

$$E_{tm} = \frac{116 + 0,174 \times \rho_s}{\sqrt{T_f}}$$

$$\begin{aligned} E_{tm} &= (116 + 0,174 \times 3000) / \sqrt{0,5} \\ E_{tm} &= \boxed{902,27} \text{ V} \end{aligned}$$

12 TENSÃO DE TOQUE EXISTENTE (Ete)

$$E_{te} = \frac{K_m \times K_i \times \rho_a \times I_{cftmín}}{L_{cm}}$$

$$\begin{aligned} E_{te} &= (0,64 \times 1,68 \times 80 \times 196,5) / 111,24 \\ E_{te} &= \boxed{151,89} \text{ V} \end{aligned}$$

A seguinte condição deverá ser atendida:

$$E_{tm} \geq E_{te}$$

902,27 V \geq 151,89 V (condição atendida)

13 CORRENTE MÁXIMA DE CHOQUE (I_{ch})

$$I_{ch} = \frac{116}{\sqrt{T_f}}$$

$$\begin{aligned} I_{ch} &= 116 / \sqrt{0,5} \\ I_{ch} &= \boxed{164,05} \text{ mA} \end{aligned}$$

14 CORRENTE DE CHOQUE EXISTENTE DEVIDO À TENSÃO DE PASSO, COM BRITA NA PERIFERIA DA MALHA (I_{pmsb})

$$I_{pmsb} = \frac{1000 \times E_{per}}{1000 + 6 \times \rho_a}$$

$$\begin{aligned} I_{pmsb} &= (1000 \times 135,82) / (1000 + 6 \times 80) \\ I_{pmsb} &= \boxed{91,77} \text{ mA} \end{aligned}$$

A seguinte condição deverá ser atendida:

$$I_{pmsb} \leq I_{ch}$$

91,77 mA \leq 164,05 mA (condição atendida)

15 CORRENTE DE CHOQUE DEVIDO À TENSÃO DE TOQUE EXISTENTE, COM BRITA (I_{tmsb})

$$I_{tmsb} = \frac{1000 \times E_{te}}{1000 + 1,5 \times \rho_a}$$

$$\begin{aligned} I_{tmsb} &= (1000 \times 151,89) / (1000 + 1,5 \times 80) \\ I_{tmsb} &= \boxed{135,62} \text{ mA} \end{aligned}$$

A seguinte condição deverá ser atendida:

$$I_{tmsb} \leq I_{ch}$$

135,62 mA \leq 164,05 mA (condição atendida)

16 CORRENTE MÍNIMA DE ACIONAMENTO DO RELÉ (I_a)

$$I_a = \frac{(R_{ch} + 1,5 \times \rho_s) \times 9 \times L_{cm}}{1000 \times K_m \times K_i \times \rho_a}$$

Rch - Resistência do corpo humano, em ohms; (Rch = 1000 ohms)

$$I_a = \frac{((1000+1,5 \times 3000) \times 9 \times 111,24)}{(1000 \times 0,64 \times 1,68 \times 80)}$$

$$I_a = \boxed{64,04} \text{ A}$$

17 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DA MALHA DE TERRA

17.1 RESISTÊNCIA DA MALHA DE TERRA APENAS COM CONDUTORES HORIZONTAIS (Rmc)

$$R_{mc} = \frac{\rho_a}{4 \times R} + \frac{\rho_a}{L_{cm}} \quad R = 7,59 \text{ m}$$

R - Raio do círculo equivalente a área destinada a malha de terra em m; (R = 7,59 m)

$$R_{mc} = \frac{80}{(4 \times 7,59)} + \frac{80}{111,24}$$

$$R_{mc} = \boxed{3,35} \text{ ohms}$$

17.2 RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DE UM ELETRODO VERTICAL (Rel)

$$R_{el} = \frac{\rho_a}{2\pi \times L_h} \times \ln \left[\frac{400 \times L_h}{2,54 \times D_h} \right]$$

Dh - Diâmetro equivalente da haste de terra, em polegadas

$$R_{el} = \frac{80}{(2\pi \times 2,4)} \times \ln \left[\frac{400 \times 2,4}{(2,54 \times 0,625)} \right]$$

$$R_{el} = \boxed{33,98} \text{ ohms}$$

17.3 COEFICIENTE DE REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE UM ELETRODO VERTICAL (Kh)

$$K_h = \frac{1 + A \times B}{N_h} \quad A = 0,1307 \quad B = 9,1950$$

$$K_h = \frac{1 + (0,1307 \times 9,195)}{18}$$

$$K_h = \boxed{1,07}$$

A – Determinado segundo a tabela:

Diâmetro do eletrodo	Distância entre eletrodos (m)					
	2	3	4	5	9	12
Para eletroduto de comprimento igual a 3,0 m						
1/2"	0,2292	0,1528	0,1149	0,0917	0,0509	0,0382
3/4"	0,2443	0,1629	0,1222	0,0977	0,0543	0,0407
1"	0,2563	0,1709	0,1282	0,1025	0,0570	0,0427
Para eletroduto de comprimento igual a 2,40 m						
1/2"	0,1898	0,1266	0,0949	0,0759	0,0422	0,0316
3/4"	0,2028	0,1352	0,1014	0,0811	0,0450	0,0338
1"	0,2132	0,1421	0,1066	0,0853	0,0474	0,0355

B – Determinado segundo a tabela:

Número de eletrodos	B
4	2,7071
9	5,8917
16	8,5545

17.4 RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DO CONJUNTO DE ELETRODOS VERTICAIS (R_{ne})

$$R_{ne} = K_h \times R_{el}$$

$$\begin{aligned} R_{ne} &= 1,07 \times 33,98 \\ R_{ne} &= \boxed{36,25} \text{ ohms} \end{aligned}$$

17.5 RESISTÊNCIA MÚTUA DOS CABOS E ELETRODOS VERTICAIS (R_{mu})

$$K = \frac{C_m}{L_m}$$

$$L_{th} = N_h \times L_h$$

$$K_1 = 1,14125 - 0,0425 \times K$$

$$K_2 = 5,49 - 0,1443 \times K$$

$$R_{mu} = \frac{\rho_a}{\pi \times L_{cm}} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times L_{cm}}{L_{th}} + \frac{K_1 \times L_{cm}}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right) \right]$$

S - Área da malha, em m²;

L_{th} - Comprimento total das hastes utilizadas, em m;

Portanto:

K	=	12 / 4,8	=	<table border="1"><tr><td>2,50</td></tr></table>	2,50	
2,50						
L_{th}	=	18 x 2,4	=	<table border="1"><tr><td>43,20</td></tr></table>	43,20	m
43,20						
K₁	=	1,14125 - 0,0425 x 2,5	=	<table border="1"><tr><td>1,035000</td></tr></table>	1,035000	
1,035000						
K₂	=	5,49 - 0,1443 x 2,5	=	<table border="1"><tr><td>5,129250</td></tr></table>	5,129250	
5,129250						
R_{mu}	=	[80/(π x 111,24)] x LN[(2 x 111,24) / 43,2) + (1,04 x 111,24)/7,59 - 5,13 + 1]				
R_{mu}	=	<table border="1"><tr><td>0,64</td></tr></table>	0,64	ohms		
0,64						

17.6 RESISTÊNCIA TOTAL DA MALHA (R_{tm})

$$R_{tm} = \frac{R_{mc} \times R_{ne} - R_{mu}^2}{R_{mc} + R_{ne} - 2 \times R_{mu}}$$

$$R_{mu} = \frac{(3,35 \times 36,25 - 0,64^2)}{(3,35 + 36,25 - 2 \times 0,64)}$$

$$R_{mu} = \boxed{3,16} \text{ ohms}$$

13 OBSERVAÇÕES

A autoria deste estudo de proteção será anulada parcial ou totalmente em caso, de no momento de sua execução, ocorrer:

Não cumprimento do estabelecido nas especificações, critérios e procedimentos contidos no projeto.

Alteração que ocorram sem o conhecimento prévio do projetista e/ou da CONCESSIONÁRIA.

Belém, domingo, 23 de junho de 2024

Raphael Pablo de Souza Barradas
Engenheiro eletricitista projetista
CREA: 151418615-2