

JF Engenharia Ltda.

CNPJ: 08.944.122/0001-48

www.jfengenharia.srv.br

Telefone: (62) 3245-1512

Memorial Descritivo

Sistema de proteção Contra

Descargas Atmosféricas -

SPDA

Cliente: SENAC - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL

Endereço: Rua 31-A, Nº 43, Setor Aeroporto, Goiânia, Goiás.

Obra: Reforma do CEP- ELIAS BUFAIÇAL.

Autor do Projeto: Jairo França Júnior – Engenheiro Eletricista – Crea 3384/D Go.

OBJETO

Dimensionar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas para atender as instalações do CEP - Elias Bufaiçal, situado na Rua 31-A, Nº 43, Setor Aeroporto, Goiânia, Goiás e sobre tudo atender aos requisitos técnicos e de segurança.

1. NORMAS

Deverão ser observadas as normas e códigos aplicáveis ao serviço em pauta, sendo que as especificações da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e normas abaixo relacionadas serão consideradas como elementos base para quaisquer serviços ou fornecimentos de materiais e equipamentos.

Onde estas faltarem ou forem omissas, deverão ser consideradas as prescrições, indicações, especificações normas e regulamentos internacionais reconhecidos pelos profissionais do setor como referência técnica, bem como condições de instalação de equipamentos que compõem os sistemas.

Na análise, dimensionamento e detalhamento dos elementos deste projeto foram utilizadas as prescrições indicadas pelas seguintes normas:

- ABNT/NBR 5419:2015 - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (Partes 1, 2, 3 e 4).
- NBR 5410 - Execução de instalações elétricas de baixa tensão.
- Norma Técnica/CBMGO 40/2014 - Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
- Normas do Ministério do Trabalho.
- Normas, Padrões e Procedimentos do SENAC Go.

2. DOCUMENTAÇÃO

Fazem parte integrante do projeto, além do presente Memorial Descritivo:

- Prancha enumerada 01/01 a 01/01, constantes nos arquivos (01 - SENAC CEP ELIAS BUFAIÇAL
- SPDA - 01-01-R1)
- Planilha com Relação e Especificações de Materiais.
- ART Registrada no Crea.

3. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), é destinado a minimizar os danos físicos causados por descargas atmosféricas na estrutura. Consistindo nos sistemas de proteção externo e interno, o sistema externo de proteção consiste em um subsistema de captação, subsistema de descida e um subsistema de aterramento e interno consistindo em ligações equipotenciais para descargas atmosféricas, conforme será descrito.

Na elaboração do projeto levou em consideração, como premissas básicas, os fatores que se seguem:

- Análise das definições de arquitetura;
- Avaliação dos ambientes físicos, englobando as facilidades de instalações dos componentes do sistema;
- Avaliação dos meios a serem utilizados;

3.1- Malhas e condutores

Malha de captação (cobertura) em torno de toda a cobertura do prédio, interligando as descidas através de cordoalha de cobre nu de #35mm².

Condutor #50mm² interligando a barra BEP existente, localizado dentro da caixa do QGBT na Subestação, interligado ao anel de aterramento em um ponto por meio de solda exotérmica.

Condutores isolados interligando a barra BEP aos elementos metálicos não ativos do sistema.

3.2- Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento é destinado a conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra, formada por uma condutor em anel formando um laço fechado ao redor da estrutura, em contato com o solo e interconectando ao contêiner para a distribuição da corrente da descarga atmosférica entre eles e dispersando-a no solo.

O método deste subsistema de aterramento é a utilização de captos tipo cordoalha de cobre nu de #50mm² dispostos diretamente no solo e interligados a estrutura metálica utilizados como subsistema de descida para interligação das malhas superiores e inferiores. Os condutores serão interligados por solda exotérmica (cabo x cabo, cabo x haste) ou por meio de vínculo mecânico – ver detalhes na prancha 01/01.

3.3- Detalhes do SPDA

A execução das instalações componentes do SPDA será feita de acordo com o projeto específico em obediência à norma NBR 5419/2015 da ABNT que rege o assunto.

O sistema de proteção projetado é baseado no método dos condutores em malha ou gaiola (método Faraday), conforme tabelas 1, 2 e figura 1 da NBR 5419-3, cujos componentes são descritos a seguir.

3.4- Subsistema de Captação

Os captosres serão constituídos por condutores de cobre nu, têmpera dura, 35 mm², no perímetro externo da cobertura e interligando-se entre si formando uma malha (Método de Faraday) – ver prancha 01/01.

Para assegurar a continuidade elétrica, os captosres deverão estar rigidamente interligados; a ligação deve ser assegurada, sendo necessário conectá-los em vários pontos através de uma cordoalha de cobre nu de #35mm².

3.5- Subsistema de Descida

Em todos pontos de descida indicados em planta por setas descendentes, a malha da cobertura deverá ser fixada a uma barra chata de alumínio de 3/4"x1/4" , externa desde a platibanda até o sistema de aterramento..

3.6- Subsistema de Aterramento

O subsistema de aterramento é destinado a conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra, formada por uma condutor em anel formando um laço fechado ao redor da estrutura, em contato com o solo para a distribuição da corrente da descarga atmosférica dispersando-a no solo.

O método deste subsistema de aterramento é a utilização de captosres tipo cordoalha de cobre nu de #50mm² dispostos diretamente no solo e interligados ao subsistema de descida para interligação das malhas superiores e inferiores. Os condutores serão interligados por solda exotérmica, ver detalhes na prancha 01/01

4. TESTES

Deverá ser realizados testes com equipamentos compatíveis e elaborar laudo final das medições efetuadas e de todo o sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os materiais a serem empregados na execução dos serviços deverão ser de primeira qualidade, obedecendo às especificações e normas técnicas. O conjunto de materiais escolhidos

para execução do objeto devem funcionar perfeitamente em conjuntos, levando em consideração que os materiais existentes não serão reaproveitados.

O serviço deverá ser entregue sem instalações provisórias, livre de entulhos ou quaisquer outros elementos que possam impedir a utilização imediata das unidades.

Todos os serviços a serem executados deverão obedecer à melhor técnica vigente, enquadrando-se rigorosamente dentro das normas técnicas.

Goiânia, Fevereiro de 2022.

JF ENGENHARIA LTDA

Fone/Fax: (62) 3245-1512

E-mail: jairo.jfengenharia@gmail.com

ANEXO I – MEMÓRIA DE CÁLCULO

NBR-5419:2015

SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas)

Projeto: SENAC CEP ELIAS BUFAIÇAL.O

1) Densidade e descargas atmosféricas para a terra [Ng]

$$Ng = 4.11 \text{ [Descargas / km}^2\text{/ano]}$$

Fonte = Mapa - Centro-Oeste

2) Geometria da Estrutura

$$\text{Comprimento [L]} = 17.6 \text{ m}$$

$$\text{Largura [W]} = 21.75 \text{ m}$$

$$\text{Altura [H]} = 25.62 \text{ m}$$

3) Ad - Área de exposição equivalente [em m²]

$$Ad = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2$$

$$Ad = 17.6 * 21.75 + 2 * (3 * 25.62) * (17.6 + 21.75) + 3.14159 * (3 * 25.62)^2$$

$$Ad = 24990.51 \text{ m}^2$$

4) Fatores de Ponderação

4.1) Fator de Localização da Estrutura PRINCIPAL - Cd (Tabela A.1)

Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos

$$Cd = 0.5$$

4.2) Comprimento da Linha de Energia

$$Ll = 20 \text{ [m]}$$

4.3) Fator de Instalação da Linha ENERGIA - Ci (Tabela A.2)

Enterrado

$$Ci = 0.5$$

4.4) Fator do Tipo de Linha ENERGIA - Ct (Tabela A.3)

Linha de Energia em AT (com transformador AT/BT)

$$Ct = 0.2$$

4.5) Fator Ambiental da Linha ENERGIA - Ce (Tabela A.4)

Urbano

$$Ce = 0.1$$

4.6) Comprimento da Linha de Sinal

$$Llt = 20 \text{ [m]}$$

4.7) Fator de Instalação da Linha SINAL - Cit (Tabela A.2)

$$\begin{aligned} &\text{Enterrado} \\ &Cit = 0.5 \end{aligned}$$

4.8) Fator do Tipo de Linha SINAL - Ctt (Tabela A.3)

$$\begin{aligned} &\text{Linha de Energia ou Sinal} \\ &Ctt = 1.0 \end{aligned}$$

4.9) Fator Ambiental da Linha SINAL - Cet (Tabela A.4)

$$\begin{aligned} &\text{Urbano} \\ &Cet = 0.1 \end{aligned}$$

4.10) Nd - Número de Eventos Perigosos para a Estrutura [por ano]

$$\begin{aligned} Nd &= Ng * Ad * Cd * 10^{-6} \\ Nd &= 0.05136 \end{aligned}$$

4.11) Nm - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura [por ano]

$$\begin{aligned} Nm &= Ng * Am * 10^{-6} \\ Am &= 2 * 500 * (L + W) + Pi * 500^2 \\ Am &= 824748.16 \\ Nm &= 3.38971 \end{aligned}$$

4.12) NI - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha de Energia [por ano]

$$\begin{aligned} NI &= Ng * Al * Ci * Ce * Ct * 10^{-6} \\ Al &= 40 * Ll \\ Al &= 800 \\ NI &= 0.03288 * 10^{-3} \end{aligned}$$

4.13) Ni - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha de Energia [por ano]

$$\begin{aligned} Ni &= Ng * Ai * Ci * Ce * Ct * 10^{-6} \\ Ai &= 4000 * Ll \\ Ai &= 80000 \\ Ni &= 0.00329 \end{aligned}$$

4.14) Nlt - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha SINAL [por ano]

$$\begin{aligned} Nlt &= Ng * Al * Cit * Cet * Ctt * 10^{-6} \\ Alt &= 40 * Llt \\ Alt &= 800 \\ Nlt &= 0.00016 \end{aligned}$$

4.15) Nit - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha SINAL [por ano]

```
Nit = Ng * Ait * Cit * Cet * Ctt * 10^-6
Ait = 4000 * Llt
Ait = 80000
Nit = 0.01644
```

4.16) Proteção da Estrutura - Pb (Tabela B.2)

```
Estrutura protegida por SPDA - Classe I
Pb = 0.02
```

4.17) Tipo de linha externa Energia - Cld e Cli (Tabela B.4)

```
Linha enterrada não blindada
Cld = 1
Cli = 1
```

4.18) Tipo de linha externa SINAL - Cldt e Clit (Tabela B.4)

```
Linha enterrada não blindada
Cldt = 1
Clit = 1
```

4.19) Ks1

Ks1: leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1;

Dentro de uma ZPR, em uma distância de segurança do limite da malha no mínimo igual à largura da malha Wm,

fatores Ks1 e Ks2 para SPDA ou blindagem tipo malha espacial podem ser avaliados como: $Ks1 = 0,12 \times Wm1$

$Ks1 = 1$

4.20) Uw Energia

Uw: é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

$Uw = 2.5$

4.21) Ks4 Energia

Ks4: leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido. $Ks4 = 1 / Uw$

$Ks4 = 0.4$

4.22) Uwt Sinal

$Uwt = 1.5$

4.23) Ks4t Sinal

$Ks4t = 0.67$

4.24) Nível de Proteção NP - Peb (Tabela B.7)

DPS Classe I
Peb = 0.01

4.25) Roteamento, blindagem e interligação ENERGIA - Pld (Tabela B.8)

Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo
barramento de equipotencialização do equipamento (Uw=2.5)
Pld = 1

4.26) Roteamento, blindagem e interligação SINAL - Pldt (Tabela B.8)

Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo
barramento de equipotencialização do equipamento (Uw=1.5)
Pldt = 1

4.27) Pv - Probabilidade de Descarga na linha de Energia Causar danos físicos

$P_v = P_{eb} * P_{ld} * C_{ld}$
Pv = 0.01

4.28) Pvt - Probabilidade de Descarga na linha de Sinal Causar danos físicos

$P_{vt} = P_{eb} * P_{ldt} * C_{ldt}$
Pvt = 0.01

5) Zonas da Edificação

5.1) Zona: Zona 1 (Interna)

5.1.1) Número de pessoas na Zona

nz = 350

5.1.2) Número total de pessoas na Estrutura

nt = 350

5.1.3) Tempo de presença das pessoas na Zona (h/ano)

tz = 4380

5.1.4) Tempo de presença das pessoas em locais perigosos fora da estrutura (h/ano)

te = 0

5.1.5) L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente

Considerar

5.1.6) L2 - Perda inaceitável de serviço ao público

Desprezar

5.1.7) L3 - Perda inaceitável de patrimônio cultural

Desprezar

5.1.8) L4 - Perda econômica

Considerar

5.1.9) Risco de Explosão / Hospitais

Não

5.1.10) Medidas de Proteção (descargas na linha) - Ptu (Tabela B.6)

Nenhuma medida de proteção

Ptu = 1

5.1.11) Ks2

Ks2 = 1

5.1.12) Nível de Proteção NP ENERGIA - Pspd (Tabela B.3)

DPS Classe I

Pspd = 0.01

5.1.13) Fiação Interna ENERGIA - Ks3 (Tabela B.5)

laços Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar

Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios
(área do laço da ordem de 50 m²)

Ks3 = 1

5.1.14) Nível de Proteção NP SINAL - Pspdt (Tabela B.3)

DPS Classe I

Pspdt = 0.01

5.1.15) Fiação Interna SINAL - Ks3t (Tabela B.5)

laços Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar

Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios
(área do laço da ordem de 50 m²)

Ks3t = 1

5.1.16) Pc - Probabilidade de Descarga na Estrutura causar Danos em sistemas internos

$$P_c = P_{spd} * C_{ld}$$

$$P_c = 0.01$$

5.1.17) Pct - Probabilidade de Descarga na Estrutura causar Danos em sistemas internos SINAL

$$P_{ct} = P_{spdt} * C_{ldt}$$

$$P_{ct} = 0.01$$

5.1.18) Pms

$$P_{ms} = (K_{s1} * K_{s2} * K_{s3} * K_{s4})^2$$

$$P_{ms} = 0.16$$

5.1.19) Pmst

$$P_{mst} = (K_{s1} * K_{s2} * K_{s3t} * K_{s4t})^2$$

$$P_{mst} = 0.4489$$

5.1.20) Pm - Probabilidade de Descarga perto da Estrutura causar Danos em sistemas internos

$$P_m = P_{spd} * P_{ms}$$

$$P_m = 0.0016$$

5.1.21) Pmt - Probabilidade de Descarga perto da Estrutura causar Danos em sistemas internos SINAL

$$P_{mt} = P_{spdt} * P_{mst}$$

$$P_m = 0.00449$$

5.1.22) Pu - Probabilidade de Descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque

$$P_u = P_{tu} * P_{eb} * P_{ld} * C_{ld}$$

$$P_u = 0.01$$

5.1.23) Put - Probabilidade de Descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque SINAL

$$P_{ut} = P_{tu} * P_{eb} * P_{ldt} * C_{ldt}$$

$$P_{ut} = 0.01$$

5.1.24) Pw - Probabilidade de Descarga na linha Causar falha de sistemas internos

$$P_w = P_{spd} * P_{ld} * C_{ld}$$

$$P_w = 0.01$$

5.1.25) Pwt - Probabilidade de Descarga na linha Causar falha de sistemas internos SINAL

$$P_{wt} = P_{spdt} * P_{ldt} * C_{ldt}$$

$$P_{wt} = 0.01$$

5.1.26) Pli

$$P_{li} \text{ para } U_w = 2.5 \text{ kV}$$

$$P_{li} = 0.3$$

5.1.27) Plit

$$P_{lit} \text{ para } U_{wt} = 1.5 \text{ kV}$$

$$P_{lit} = 0.5$$

5.1.28) Pz - Probabilidade de Descarga perto da linha Causar falha de sistemas internos

$$P_z = P_{spd} * P_{li} * C_{li}$$

$$P_z = 0.003$$

5.1.29) Pzt - Probabilidade de Descarga perto da linha Causar falha de sistemas internos SINAL

$$P_{zt} = P_{spdt} * P_{lit} * C_{lit}$$

$$P_{zt} = 0.005$$

5.1.30) Medidas de Proteção (descargas na estrutura) - Pta (Tabela B.1)

Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida

$$P_{ta} = 0$$

5.1.31) Tipo de superfície do solo ou piso - Fator de redução r_t (Tabela C.3)

Agricultura, concreto (Resistência de contato $\leq 1 \text{ ohm}$)

$$r_t = 0.01$$

5.1.32) Providências para reduzir consequências de incêndio - Fator de redução r_p (Tabela C.4)

Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes. compartimentos à prova de fogo, rotas de escape

$$r_p = 0.5$$

5.1.33) Risco de incêndio ou explosão na estrutura - Fator de redução r_f (Tabela C.5)

Incêndio: Risco Baixo

$$r_f = 0.001$$

5.1.34) Perigo Especial - Fator h_z (Tabela C.6)

Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos

culturais

ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1000 pessoas)
 $h_z = 5$

5.1.35) Pa - Probabilidade de Descarga na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque

$P_a = P_{ta} * P_b$
 $P_a = 0$

5.1.36) L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente

5.1.36.1) Lt

$L_t = 0.01$

5.1.36.2) D2 - Danos Físicos - Lf (Tabela C.2)

Hospital, hotel, escola, edifício cívico
 $L_f = 0.1$

5.1.36.3) D3 - Falhas de sistemas internos - Lo (Tabela C.2)

Não Aplicável
 $L_o = 0$

5.1.36.4) La

$L_a = r_t * L_t * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
 $L_a = 0.00005$

5.1.36.5) Lu

$L_u = L_a = 0.00005$

5.1.36.6) Lb

$L_b = r_p * r_f * h_z * L_f * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
 $L_b = 0.00013$

5.1.36.7) Lv

$L_v = L_b = 0.00013$

5.1.36.8) Lc

$L_c = L_o * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
 $L_c = 0$

5.1.36.9) Lm Lw Lz

$L_m = L_w = L_z = L_c = 0$

5.1.37) L4 - Perda econômica

5.1.37.1) D2 - Danos físicos - Lf (Tabela C.12)

Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
 $Lf4 = 0.2$

5.1.37.2) D3 - Falha de sistemas internos - Lo (Tabela C.12)

Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
 $Lo4 = 0.001$

5.1.37.3) ca - Valor dos animais na Zona (milhões)

$ca = 0$ milhões

5.1.37.4) cb - Valor da edificação relevante à Zona (milhões)

$cb = 5$ milhões

5.1.37.5) cc - Valor do conteúdo da Zona (milhões)

$cc = 1$ milhões

5.1.37.6) cs - Valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na Zona (milhões)

$cs = 0.5$ milhões

5.1.37.7) ct - Valor total da estrutura (soma de todas as zonas) (milhões)

$ct = 6.5$ milhões

5.1.37.8) La4

$La4 = rt * Lt4 * (ca / ct)$
 $La4 = 0$

5.1.37.9) Lu4

$Lu4 = La4 = 0$

5.1.37.10) Lb4

$Lb4 = rp * rf * Lf4 * ((ca + cb + cc + cs) / ct)$
 $Lb4 = 0.0001$

5.1.37.11) Lv4

$Lv4 = Lb4 = 0.0001$

5.1.37.12) Lc4

$$\begin{aligned} Lc4 &= Lo4 * (cs / ct) \\ Lc4 &= 0.00008 \end{aligned}$$

5.1.37.13) Lm4 Lw4 Lz4

$$Lm4 = Lw4 = Lz4 = Lc4 = 0.00008$$

5.1.37.14) Le4

$$\begin{aligned} Le4 &= Lfe4 * (ce / ct) \\ Le4 &= 0 \end{aligned}$$

5.1.37.15) Lft4

$$\begin{aligned} Lft4 &= Lf4 + Le4 \\ Lft4 &= 0.2 \end{aligned}$$

5.1.38) Riscos [R1] da Zona [Zona 1 (Interna)]

5.1.38.1) Ra

$$\begin{aligned} Ra &= Nd * Pa * La \\ Ra &= 0.05136 * 0 * 0.00005 \\ Ra &= 0 \end{aligned}$$

5.1.38.2) Rb

$$\begin{aligned} Rb &= Nd * Pb * Lb \\ Rb &= 0.05136 * 0.02 * 0.00013 \\ Rb &= 0.01284 * 10^{-5} \end{aligned}$$

5.1.38.3) Ru

$$\begin{aligned} Ru &= (Nl + Ndj) * Pu * Lu \\ Ru &= (0.03288 * 10^{-3} + 0) * 0.01 * 0.00005 \\ Ru &= 0.01644 * 10^{-9} \end{aligned}$$

5.1.38.4) Rut

$$\begin{aligned} Rut &= (Nlt + Ndj1) * Put * Lu \\ Rut &= (0.00016 + 0) * 0.01 * 0.00005 \\ Rut &= 0.00822 * 10^{-8} \end{aligned}$$

5.1.38.5) Rv

$$\begin{aligned} Rv &= (Nl + Ndj) * Pv * Lv \\ Rv &= (0.03288 * 10^{-3} + 0) * 0.01 * 0.00013 \\ Rv &= 0.0411 * 10^{-9} \end{aligned}$$

5.1.38.6) Rvt

$$\begin{aligned} R_{vt} &= (N_{lt} + N_{dj1}) * P_{vt} * L_v \\ R_{vt} &= (0.00016 + 0) * 0.01 * 0.00013 \\ R_{vt} &= 0.02055 * 10^{-8} \end{aligned}$$

5.1.38.7) R1z

$$\begin{aligned} R_{1z} &= R_a + R_b + R_u + R_v + R_{ut} + R_{vt} \\ R_{1z} &= 0 + 0.01284 * 10^{-5} + 0.01644 * 10^{-9} + 0.0411 * 10^{-9} + 0.00822 * 10^{-8} + 0.02055 * 10^{-8} \\ R_{1z} &= 0.0129 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

5.1.39) Riscos [R4] da Zona [Zona 1 (Interna)]

5.1.39.1) Rb4

$$\begin{aligned} R_{b4} &= N_d * P_b * L_{b4} \\ R_{b4} &= 0.05136 * 0.02 * 0.0001 \\ R_{b4} &= 0.01027 * 10^{-5} \end{aligned}$$

5.1.39.2) Rc4

$$\begin{aligned} R_{c4} &= N_d * P_c * L_{c4} \\ R_{c4} &= 0.05136 * 0.01 * 0.00008 \\ R_{c4} &= 0.0395 * 10^{-6} \end{aligned}$$

5.1.39.3) Rm4

$$\begin{aligned} R_{m4} &= N_m * P_m * L_{m4} \\ R_{m4} &= 3.38971 * 0.0016 * 0.00008 \\ R_{m4} &= 0.04172 * 10^{-5} \end{aligned}$$

5.1.39.4) Rv4

$$\begin{aligned} R_{v4} &= (N_l + N_{dj}) * P_v * L_{v4} \\ R_{v4} &= (0.03288 * 10^{-3} + 0) * 0.01 * 0.0001 \\ R_{v4} &= 0.03288 * 10^{-9} \end{aligned}$$

5.1.39.5) Rvt4

$$\begin{aligned} R_{vt4} &= (N_{lt} + N_{dj1}) * P_{vt} * L_{v4} \\ R_{vt4} &= (0.00016 + 0) * 0.01 * 0.0001 \\ R_{vt4} &= 0.01644 * 10^{-8} \end{aligned}$$

5.1.39.6) Rw4

$$\begin{aligned} R_{w4} &= (N_l + N_{dj}) * P_w * L_{w4} \\ R_{w4} &= (0.03288 * 10^{-3} + 0) * 0.01 * 0.00008 \\ R_{w4} &= 0.02529 * 10^{-9} \end{aligned}$$

5.1.39.7) Rwt4

$$R_{wt4} = (N_{lt} + N_{dj1}) * P_{wt} * L_{w4}$$

$$\begin{aligned} R_{wt4} &= (0.00016 + 0) * 0.01 * 0.00008 \\ R_{wt4} &= 0.01265 * 10^{-8} \end{aligned}$$

5.1.39.8) R_{z4}

$$\begin{aligned} R_{z4} &= N_i * P_z * L_{z4} \\ R_{z4} &= 0.00329 * 0.003 * 0.00008 \\ R_{z4} &= 0.00759 * 10^{-7} \end{aligned}$$

5.1.39.9) R_{4z}

$$\begin{aligned} R_{4z} &= R_{b4} + R_{c4} + R_{m4} + R_{v4} + R_{w4} + R_{z4} + R_{vt4} + R_{wt4} + R_{zt4} \\ R_{4z} &= 0.01027 * 10^{-5} + 0.0395 * 10^{-6} + 0.04172 * 10^{-5} + 0.03288 * 10^{-9} + \\ &0.02529 * 10^{-9} + 0.00759 * 10^{-7} + 0.01644 * 10^{-8} + 0.01265 * 10^{-8} + 0.00632 * 10^{-6} \\ R_{4z} &= 0.000567 * 10^{-3} \end{aligned}$$

6) Risco Total

6.1) R₁

$$\begin{aligned} R_a + R_b &= 0.0128 * 10^{-5} \\ R_1 &= 0.0129 * 10^{-5} \\ R_{t1} &= 1 * 10^{-5} \\ R_1 &\leq R_{t1} \\ (R_a + R_b) &\leq R_{t1} \\ &[\text{OK}] \end{aligned}$$

6.2) R₄

$$\begin{aligned} R_a + R_b &= 0.000103 * 10^{-3} \\ R_4 &= 0.000567 * 10^{-3} \\ R_{t4} &= 1 * 10^{-3} \\ R_4 &\leq R_{t4} \\ (R_a + R_b) &\leq R_{t4} \\ &[\text{OK}] \end{aligned}$$

6.3) Estrutura Protegida.

$$\begin{aligned} R_1 &\leq R_{t1} \\ R_4 &\leq R_{t4} \end{aligned}$$

7) Nível de Proteção adotada: **I**

8) Método Utilizado

8.1) Método Franklin

Ângulo de Proteção (alfa)

Altura do Captor	Ângulo (Graus) [Nível de Proteção I]
Até 2m	70°
3m	67°
4m	63°

5m	59°
6m	56°
7m	53°
8m	50°
9m	48°
10m	45°
11m	43°
12m	41°
13m	38°
14m	36°
15m	34°
16m	32°
17m	30°
18m	27°
19m	25°
20m	23°
maior que 20m	
* Utilizar Método Eletrogeométrico ou Malha (Gaiola de Faraday) *	

9) Cálculo do Número de descidas [N]

Area = 382.8 m².
 Altura = 25.62 m.
 Perímetro = 78.7 m.
 Cantos Salientes da Estrutura = 4

Nível de Proteção I: Espaçamento médio = 10m

N = Perímetro / 10m + (número de cantos salientes) [N = 12] para Nível de Proteção: I

N = Altura / 10m + (número de cantos salientes) | N = 25.62 / 10 + 4 |
N = 7

N >= 2 (Para descidas não naturais)

N = 12 descidas.

10) Cálculo do Comprimento do Condutor enterrado horizontalmente

Condutor enterrado horizontalmente

r = 100 ohms.m [resistividade do solo]
 R = 10 ohms [Resistência de aterramento]
 L = Comprimento do Condutor Horizontal enterrado em (m)

L = (2 * r) / R
 L = (2 * 100) / 10
 L = 20 m

l1(min) = 5 m

L = 20 m

Re = 12.53 m [Raio médio da área abrangida pelos eletrodos]

Comprimento Adicional [Re >= 11] [OK]

11) Anéis horizontais de interligação das descidas

Instalação de 1 Anél horizontal de aterramento enterrado

Altura: 25.62m > 10m

Instalação de 2 anéis horizontais intermediários.

Espaçamento vertical = 8.54m

12) Seções mínimas

12.1) Condutores de Captação, Hastes Captoras e Condutores de Descidas

	Cobre - Fita maciça	35mm ²	Espessura 1.75 mm
	Cobre - Arredondado maciço	35mm ²	Diâmetro 6 mm
	Cobre - Encordado	35mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha
2.5mm			
	Cobre - Arredondado maciço (b)	200mm ²	Diâmetro 16 mm
	Alumínio - Fita maciça	70mm ²	Espessura 3 mm
	Alumínio - Arredondado maciço	70mm ²	Diâmetro 9.5mm
	Alumínio - Encordado	70mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha
3.5mm			
	Alumínio - Arredondado maciço (b)	200mm ²	Diâmetro 16 mm
	Aço Cobreado IACS 30% - Arredondado maciço	50mm ²	Diâmetro 8 mm
	Aço Cobreado IACS 30% - Encordado	50mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha
3 mm			
	Alumínio Cobreado IACS 64% - Arredondado maciço	50mm ²	Diâmetro 8 mm
mm			
	Alumínio Cobreado IACS 64% - Encordado	70mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha
3.6 mm			
	Aço Galv.a quente - Fita maciça	50mm ²	Espessura mínima
2.5mm			
	Aço Galv.a quente - Arredondado maciço	50mm ²	Diâmetro 8 mm
	Aço Galv.a quente - Encordado	50mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha
1.7 mm			
	Aço Galv.a quente - Arredondado maciço (b)	200mm ²	Diâmetro 16 mm
	Aço Inoxidável - Fita maciça	50mm ²	Espessura 2 mm
	Aço Inoxidável - Arredondado maciço	50mm ²	Diâmetro 8 mm
	Aço Inoxidável - Encordado	70mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha
1.7 mm			
	Aço Inoxidável - Arredondado maciço (b)	200mm ²	Diâmetro 16 mm
	(b) - Aplicável somente a minicaptoras. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10mm e comprimento máximo de 1m.		

12.2) Eletrodo de Aterramento

	Cobre - Encordado	50 mm ²	Diâmetro de cada fio - cordoalha	3 mm
	Cobre - Arredondado maciço	50mm ²	Diâmetro	8 mm
	Cobre - Fita maciça	50 mm ²	Espessura	2mm
	Cobre - Arredondado maciço	Eletrodo cravado		15mm
	Cobre - Tubo	Eletrodo cravado		20mm - Espessura da parede
	Aço Galv.a quente	Arredondado maciço		Eletrodo cravado
	Aço Galv.a quente	Arredondado maciço		Eletrodo não cravado
	Aço Galv.a quente	Tubo		Eletrodo cravado
2 mm				25mm - Espessura da parede
	Aço Galv.a quente	Fita maciça		90 mm ² - Espessura
	Aço Galv.a quente	Encordado		70 mm ²

Aço Cobreado - Arredondado maciço - Eletrodo cravado 12.7mm
Aço Cobreado - Encordoado 70 mm² - Diâmetro de cada fio da cordoalha
3.45 mm
Aço Inoxidável - Arredondado maciço - Eletrodo cravado 15mm
Aço Inoxidável - Arredondado maciço - Eletrodo não cravado 10mm
Aço Inoxidável - Fita maciça - 100mm² - Espessa minima 2 mm