

RELATÓRIO

CÁLCULO DE ANÁLISE DE RISCO - SPDA

DISCIPLINA

SPDA

Sumário

1.	Densidade e descargas atmosféricas para a terra [Ng]	6
2.	Geometria da Estrutura	6
3.	Ad - Área de exposição equivalente [em m ²].....	6
4.	Fatores de Ponderação	6
4.1.	Fator de Localização da Estrutura PRINCIPAL - Cd (Tabela A.1).....	6
4.2.	Comprimento da Linha de Energia	6
4.3.	Fator de Instalação da Linha ENERGIA - Ci (Tabela A.2)	6
4.4.	Fator do Tipo de Linha ENERGIA - Ct (Tabela A.3).....	6
4.5.	Fator Ambiental da Linha ENERGIA - Ce (Tabela A.4)	7
4.6.	Comprimento da Linha de Sinal	7
4.7.	Fator de Instalação da Linha SINAL - Cit (Tabela A.2)	7
4.8.	Fator do Tipo de Linha SINAL - Ctt (Tabela A.3).....	7
4.9.	Fator Ambiental da Linha SINAL - Cet (Tabela A.4)	7
4.10.	Nd - Número de Eventos Perigosos para a Estrutura [por ano]	7
4.11.	Nm - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura [por ano].....	7
4.12.	NI - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha de Energia [por ano]	7
4.13.	Ni - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha de Energia [por ano]	8
4.14.	Nlt - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha SINAL [por ano]	8
4.15.	Nit - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha SINAL [por ano]	8
4.16.	Proteção da Estrutura - Pb (Tabela B.2)	8
4.17.	Tipo de linha externa Energia - Cld e Cli (Tabela B.4)	8
4.18.	Tipo de linha externa SINAL - ClDt e ClIt (Tabela B.4)	8
•	Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	8

• Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	8
• Cld = 1	8
• Cli = 0.....	8
4.19. Ks1	9
4.20. Uw Energia	9
4.21. Ks4 Energia	9
4.22. Uwt Sinal.....	9
4.23. Ks4t Sinal	9
4.24. Nível de Proteção NP - Peb (Tabela B.7)	9
4.25. Roteamento, blindagem e interligação ENERGIA - Pld (Tabela B.8)	9
4.26. Roteamento, blindagem e interligação SINAL - Pldt (Tabela B.8)	9
4.27. Pv - Probabilidade de Descarga na linha de Energia Causar danos físicos.....	9
4.28. Pvt - Probabilidade de Descarga na linha de Sinal Causar danos físicos.....	10
5. Zonas da Edificação.....	10
5.1. Zona: Zona 1 (Interna)	10
5.1.1. Número de pessoas na Zona.....	10
5.1.2. Número total de pessoas na Estrutura	10
5.1.3. Tempo de presença das pessoas na Zona (h/ano).....	10
5.1.4. Tempo de presença das pessoas em locais perigosos fora da estrutura (h/ano)	10
5.1.5. L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente.....	10
5.1.6. L2 - Perda inaceitável de serviço ao público	10
5.1.7. L3 - Perda inaceitável de patrimônio cultural.....	10
5.1.8. L4 - Perda econômica.....	10
5.1.9. Risco de Explosão / Hospitais	10
5.1.10. Medidas de Proteção (descargas na linha) - Ptu (Tabela B.6)	10
5.1.11. Ks2.....	11
5.1.12. Nível de Proteção NP ENERGIA - Pspd (Tabela B.3).....	11
5.1.13. Fiação Interna ENERGIA - Ks3 (Tabela B.5)	11
5.1.14. Nível de Proteção NP SINAL - Pspdt (Tabela B.3).....	11
5.1.15. Fiação Interna SINAL - Ks3t (Tabela B.5)	11

5.1.16.	Pc - Probabilidade de Descarga na Estrutura causar Danos em sistemas internos.....	11
5.1.17.	Pct - Probabilidade de Descarga na Estrutura causar Danos em sistemas internos SINAL	11
5.1.18.	Pms.....	11
5.1.19.	Pmst	11
5.1.20.	Pm - Probabilidade de Descarga perto da Estrutura causar Danos em sistemas internos	12
5.1.21.	Pmt - Probabilidade de Descarga perto da Estrutura causar Danos em sistemas internos SINAL	12
5.1.22.	Pu - Probabilidade de Descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque....	12
5.1.23.	Put - Probabilidade de Descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque SINAL	12
5.1.24.	Pw - Probabilidade de Descarga na linha Causar falha de sistemas internos	12
5.1.25.	Pwt - Probabilidade de Descarga na linha Causar falha de sistemas internos SINAL.....	12
5.1.26.	Pli	12
•	Pli para $U_w = 1 \text{ kV}$	12
•	Pli = 1	12
5.1.27.	Plit	12
5.1.28.	Pz - Probabilidade de Descarga perto da linha Causar falha de sistemas internos	12
5.1.29.	Pzt - Probabilidade de Descarga perto da linha Causar falha de sistemas internos SINAL	13
5.1.30.	Medidas de Proteção (descargas na estrutura) - Pta (Tabela B.1)	13
5.1.31.	Tipo de superfície do solo ou piso - Fator de redução r_t (Tabela C.3).....	13
5.1.32.	Providências para reduzir consequências de incêndio - Fator de redução r_p (Tabela C.4)	13
5.1.33.	Risco de incêndio ou explosão na estrutura - Fator de redução r_f (Tabela C.5).....	13
5.1.34.	Perigo Especial - Fator h_z (Tabela C.6).....	13
5.1.35.	Pa - Probabilidade de Descarga na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque	13
5.1.36.	L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente.....	13
5.1.37.	L2- Perda Inaceitável de serviço ao público.....	14
5.1.38.	L4 – Perda econômica	15

5.1.39.	Riscos [R1] da Zona [Zona 1 (Interna)].....	16
5.1.40.	Riscos [R2] da Zona [Zona 1 (Interna)].....	17
5.1.41.	Riscos [R4] da Zona [Zona 1 (Interna)].....	19
6.	Risco Total	20
6.1.	<i>R1</i>	20
6.2.	<i>Estrutura Protegida.</i>	20
7.	Nível de Proteção adotada: III	20
8.	Método Utilizado	20
8.1.	<i>Malha ou da Gaiola de Faraday</i>	20
9.	Cálculo do Número de descidas [N]	20
10.	Cálculo do Comprimento do Condutor enterrado horizontalmente	21
11.	Anéis horizontais de interligação das descidas.....	21
12.	Seções mínimas.....	21
12.1.	Condutores de Captação, Hastes Captoras e Condutores de Descidas.....	21
12.2.	Eletrodo de Aterramento.....	22

NBR-5419:2015

SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas)

Projeto: SEDE PROCURADORIA IPATINGA – MG

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

- $N_g = 3.1$ [Descargas / km²/ano]
- Fonte = Mapa - Sudeste

2. Geometria da Estrutura

- Comprimento [L] = 24 m
- Largura [W] = 21 m
- Altura [H] = 36 m

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

- $Ad = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2$
- $Ad = 24 * 21 + 2 * (3 * 36) * (24 + 21) + 3.14159 * (3 * 36)^2$
- $Ad = 46867.54 \text{ m}^2$

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
- $C_d = 0.5$

4.2. Comprimento da Linha de Energia

- $L_l = 20$ [m]

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

- Enterrado
- $C_i = 0.5$

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

- Linha de Energia ou Sinal
- $C_t = 1.0$

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

- Urbano
- $C_e = 0.1$

4.6. *Comprimento da Linha de Sinal*

- $L_{lt} = 20$ [m]

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

- Enterrado
- $C_{it} = 0.5$

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

- Linha de Energia ou Sinal
- $C_{tt} = 1.0$

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

- Urbano
- $C_{et} = 0.1$

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

- $N_d = N_g * A_d * C_d * 10^{-6}$
- $N_d = 0.07264$

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

- $N_m = N_g * A_m * 10^{-6}$
- $A_m = 2 * 500 * (L + W) + \pi * 500^2$
- $A_m = 830398.16$
- $N_m = 2.57423$

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

- $N_I = N_g * A_I * C_i * C_e * C_t * 10^{-6}$
- $A_I = 40 * L_I$
- $A_I = 800$
- $N_I = 0.00012$

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

- $Ni = Ng * Ai * Ci * Ce * Ct * 10^{-6}$
- $Ai = 4000 * Li$
- $Ai = 80000$
- $Ni = 0.0124$

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

- $Nlt = Ng * Al * Cit * Cet * Ctt * 10^{-6}$
- $Alt = 40 * Llt$
- $Alt = 800$
- $Nlt = 0.00012$

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

- $Nit = Ng * Ait * Cit * Cet * Ctt * 10^{-6}$
- $Ait = 4000 * Llt$
- $Ait = 80000$
- $Nit = 0.0124$

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

- Estrutura protegida por SPDA – Classe III.
- $Pb = 0.1$

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

- Linha enterrada blindada (energia ou sinal)
- Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento
- $Cld = 1$
- $Cli = 0$

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

- Linha enterrada blindada (energia ou sinal)
- Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento
- $Cld = 1$
- $Cli = 0$

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

4.20. *Uw Energia*

- Uw: é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).
- $Uw = 1$

4.21. *Ks4 Energia*

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

4.22. *Uwt Sinal*

- $Uwt = 1$

4.23. *Ks4t Sinal*

- $Ks4t = 1$

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)*

- Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento [$5 < R_s \leq 20$ ohms/Km] ($Uw=1$)
- $Pld = 1$

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

- Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento [$5 < R_s \leq 20$ ohms/Km] ($Uw=1$)
- $Pldt = 1$

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

- $Pv = Peb \times Pld \times Cld$
- $Pv = 0.01$

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

- $Pvt = Peb * Pldt * Cldt$
- $Pvt = 0.01$
-

5. Zonas da Edificação

5.1. Zona: Zona 1 (Interna)

5.1.1. Número de pessoas na Zona

- $nz = 200$

5.1.2. Número total de pessoas na Estrutura

- $nt = 200$

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

- $tz = 2000$

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

- $te = 21$

5.1.5. L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente

- Considerar

5.1.6. L2 - Perda inaceitável de serviço ao público

- Considerar

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)

- Isolação elétrica
- $Ptu = 0.01$

5.1.11. Ks2

- $Ks2 = 0$

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)

- Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.
- $Ks3 = 0.0001$

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)

- Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.
- $Ks3t = 0.0001$

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

- $Pc = Pspd * Cld$
- $Pc = 0.01$

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

- $Pct = Pspdt * Cldt$
- $Pct = 0.01$

5.1.18. Pms

- $Pms = (Ks1 * Ks2 * Ks3 * Ks4)^2$
- $Pms = 0$

5.1.19. Pmst

- $Pmst = (Ks1 * Ks2 * Ks3t * Ks4t)^2$
- $Pmst = 0$

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

- $Pm = Pspd * Pms$
- $Pm = 0$

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

- $Pmt = Pspdt * Pmst$
- $Pm = 0$

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

- $Pu = Ptu * Peb * Pld * Cld$
- $Pu = 0.0001$

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

- $Put = Ptu * Peb * Pldt * Cldt$
- $Put = 0.0001$

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

- $Pw = Pspd * Pld * Cld$
- $Pw = 0.01$

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

- $Pwt = Pspdt * Pldt * Cldt$
- $Pwt = 0.01$

5.1.26. Pli

- Pli para $Uw = 1 \text{ kV}$
- $Pli = 1$

5.1.27. Plit

- Plit para $Uwt = 1 \text{ kV}$
- $Plit = 1$

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

- $Pz = Pspd * Pli * Cli$
- $Pz = 0$

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

- $Pzt = Pspdt * Plit * Clit$
- $Pzt = 0$

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

- Equipotencialização efetiva do solo
- $Pta = 0.01$

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

- Mármore, cerâmica (Resistência de contato entre 1 e 10 ohms)
- $r_t = 0.001$

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 Normal
- $r_f = 0.01$

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

- $Pa = Pta * Pb$
- $Pa = 0.0001$

5.1.36. L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente

5.1.36.1. L_t

- $L_t = 0.01$

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

- $L_a = r_t * L_t * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
- $L_a = 0.02283 * 10^{-4}$

5.1.36.5. Lu

- $L_u = L_a = 0.02283 * 10^{-4}$

5.1.36.6. Le

- $L_e = 1.0 * (t_e / 8760)$
- $L_e = 0.0024$

5.1.36.7. Lb

- $L_b = r_p * r_f * h_z * (L_f + L_e) * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
- $L_b = 0.00058$

5.1.36.8. Lv

- $L_v = L_b = 0.00058$

5.1.36.9. Lc

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

5.1.36.10. Lm Lw Lz

- $L_m = L_w = L_z = L_c = 0$
-

5.1.37. L2- Perda Inaceitável de serviço ao público

5.1.37.1. D2 – Danos Físicos – Lf (Tabela C.8)

- TV, Linhas de sinais
- $L_{f2} = 0.01$

5.1.37.2. D3 – Falhas de sistema internos – Lo (Tabela C.8)

- TV, Linhas de sinais
- $Lo2 = 0.001$

5.1.37.3. Lb2

- $Lb2 = rp * rf * Lf2 * (nz / nt)$
- $Lb2 = 0.00005$

5.1.37.4. Lv2

- $Lv2 = Lb2 = 0,00005$

5.1.37.5. Lc2

- $Lc2 = Lo2 * (nz / nt)$
- $Lc2 = 0.001$

5.1.37.6. Lm2 Lw2 Lz2

- $Lm2 = Lw2 = Lz2 = 0,001$

5.1.38. L4 – Perda econômica

5.1.38.1. D2 – Danos físicos – Lf (Tabela C.12)

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

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

- Hotel, Industrial, escritório, hotel, comercial
- $Lo4 = 0.01$

5.1.38.3. ca - Valor dos animais na Zona (milhões)

- $ca = 0$ milhões

5.1.38.4. cb - Valor da edificação relevante à Zona (milhões)

- $cb = 1$ milhão

5.1.38.5. cc - Valor do conteúdo da Zona (milhões)

- $cc = 1$ milhão

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

- $cs = 0,5$ milhão

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

- $ct = 10$ milhões

5.1.38.8. $La4$

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

5.1.38.9. $Lu4$

- $La4 = 0$
- $Lu4 = La4 = 0$

5.1.38.10. $Lb4$

- $Lb4 = rp * rf * Lf4 * ((ca + cb + cc + cs) / ct)$
- $Lb4 = 0.00025$

5.1.38.11. $Lv4$

- $Lv4 = Lb4 = 0.00025$

5.1.38.12. $Lc4$

- $Lc4 = Lo4 * (cs / ct)$
- $Lc4 = 0.0005$

5.1.38.13. $Lm4$ $Lw4$ $Lz4$

- $Lm4 = Lw4 = Lz4 = Lc4 = 0.0005$

5.1.38.14. $Le4$

- $Le4 = Lfe4 * (ce / ct)$
- $Le4 = 0$

5.1.38.15. $Lft4$

- $Lft4 = Lf4 + Le4$
- $Lft4 = 0.2$

5.1.39. Riscos [R1] da Zona [Zona 1 (Interna)]

5.1.39.1. Ra

- $Ra = Nd * Pa * La$
- $Ra = 0.07264 * 0.001 * 0.02283 * 10^{-4}$
- $Ra = 0.01659 * 10^{-8}$

5.1.39.2. Rb

- $Rb = Nd * Pb * Lb$
- $Rb = 0.07264 * 0.001 * 0.00058$
- $Rb = 0.04246 * 10^{-4}$

5.1.39.3. Ru

- $Ru = (NI + Ndj) * Pu * Lu$
- $Ru = (0.00012 + 0) * 0.0001 * 0.02283 * 10^{-4}$
- $Ru = 0.02831 * 10^{-12}$

5.1.39.4. Rut

- $Rut = (NI + Ndj1) * Put * Lu$
- $Rut = (0.00012 + 0) * 0.0001 * 0.02283 * 10^{-4}$
- $Rut = 0.02831 * 10^{-12}$

5.1.39.5. Rv

- $Rv = (NI + Ndj) * Pv * Lv$
- $Rv = (0.00012 + 0) * 0.01 * 0.00058$
- $Rv = 0.00725 * 10^{-7}$

5.1.39.6. Rvt

- $Rvt = (NI + Ndj1) * Pvt * Lv$
- $Rvt = (0.00012 + 0) * 0.01 * 0.00058$
- $Rvt = 0.00725 * 10^{-7}$

5.1.39.7. R1z

- $R1z = Ra + Rb + Ru + Rv + Rut + Rvt$
- $R1z = 0.01659 * 10^{-8} + 0.04246 * 10^{-4} + 0.02831 * 10^{-12} + 0.00725 * 10^{-7} + 0.02831 * 10^{-12} + 0.00725 * 10^{-7}$
- $R1z = 0.0425 * 10^{-5}$

5.1.40. Riscos [R2] da Zona [Zona 1 (Interna)]

5.1.40.1. Rb2

- $Rb2 = Nd * Pb * Lb2$
- $Rb2 = 0.07264 * 0.1 * 0.00005$
- $Rb2 = 0.03632 * 10^{-5}$

5.1.40.2) Rc2

- $Rc2 = Nd * Pc * Lc2$
- $Rc2 = 0.07264 * 0.01 * 0.001$
- $Rc2 = 0.00726 * 10^{-4}$

5.1.40.3) Rm2

- $Rm2 = Nm * Pm * Lm2$
- $Rm2 = 2.57423 * 0 * 0.001$
- $Rm2 = 0$

5.1.40.4) Rv2

- $Rv2 = (Nl + Ndj) * Pv * Lv2$
- $Rv2 = (0.00012 + 0) * 0.01 * 0.00005$
- $Rv2 = 0.0062 * 10^{-8}$

5.1.40.5) Rvt2

- $Rvt2 = (Nlt + Ndj1) * Pvt * Lv2$
- $Rvt2 = (0.00012 + 0) * 0.01 * 0.00005$
- $Rvt2 = 0.0062 * 10^{-8}$

5.1.40.6) Rw2

- $Rw2 = (Nl + Ndj) * Pw * Lw2$
- $Rw2 = (0.00012 + 0) * 0.01 * 0.001$
- $Rw2 = 0.0124 * 10^{-7}$

5.1.40.7) Rwt2

- $Rwt2 = (Nlt + Ndj1) * Pwt * Lw2$
- $Rwt2 = (0.00012 + 0) * 0.01 * 0.001$
- $Rwt2 = 0.0124 * 10^{-7}$

5.1.40.8) Rz2

- $Rz2 = Ni * Pz * Lz2$
- $Rz2 = 0.0124 * 0 * 0.001$
- $Rz2 = 0$

5.1.40.9) R2z

- $R2z = Rb2 + Rc2 + Rm2 + Rv2 + Rw2 + Rz2 + Rvt2 + Rwt2 + Rzt2$

- $R_{2z} = 0.03632 \cdot 10^{-5} + 0.00726 \cdot 10^{-4} + 0 + 0.0062 \cdot 10^{-8} + 0.0124 \cdot 10^{-7} + 0 + 0.0062 \cdot 10^{-8} + 0.0124 \cdot 10^{-7} + 0$
- $R_{2z} = 0.00109 \times 10^{-3}$

5.1.41. Riscos [R4] da Zona [Zona 1 (Interna)]

5.1.41.1) Rb4

- $R_{b4} = N_d \cdot P_b \cdot L_{b4}$
- $R_{b4} = 0.07264 \cdot 0.1 \cdot 0.00025$
- $R_{b4} = 0.01816 \cdot 10^{-4}$

5.1.41.2) Rc4

- $R_{c4} = N_d \cdot P_c \cdot L_{c4}$
- $R_{c4} = 0.07264 \cdot 0.01 \cdot 0.0005$
- $R_{c4} = 0.03632 \cdot 10^{-5}$

5.1.41.3) Rm4

- $R_{m4} = N_m \cdot P_m \cdot L_{m4}$
- $R_{m4} = 2.57423 \cdot 0 \cdot 0.0005$
- $R_{m4} = 0$

5.1.41.4) Rv4

- $R_{v4} = (N_l + N_{dj}) \cdot P_v \cdot L_{v4}$
- $R_{v4} = (0.00012 + 0) \cdot 0.01 \cdot 0.00025$
- $R_{v4} = 0.031 \cdot 10^{-8}$

5.1.41.5) Rvt4

- $R_{vt4} = (N_{lt} + N_{dj1}) \cdot P_{vt} \cdot L_{v4}$
- $R_{vt4} = (0.00012 + 0) \cdot 0.01 \cdot 0.00025$
- $R_{vt4} = 0.031 \cdot 10^{-8}$

5.1.41.6) Rw4

- $R_{w4} = (N_l + N_{dj}) \cdot P_w \cdot L_{w4}$
- $R_{w4} = (0.00012 + 0) \cdot 0.01 \cdot 0.0005$
- $R_{w4} = 0.0062 \cdot 10^{-7}$

5.1.41.7) Rwt4

- $R_{wt4} = (N_{lt} + N_{dj1}) \cdot P_{wt} \cdot L_{w4}$
- $R_{wt4} = (0.00012 + 0) \cdot 0.01 \cdot 0.0005$

- $R_{wt4} = 0.0062 \cdot 10^{-7}$

5.1.41.8) R_{z4}

- $R_{z4} = N_i \cdot P_z \cdot L_{z4}$
- $R_{z4} = 0.0124 \cdot 0 \cdot 0.0005$
- $R_{z4} = 0$

5.1.41.9) R_{4z}

- $R_{4z} = R_{b4} + R_{c4} + R_{m4} + R_{v4} + R_{w4} + R_{z4} + R_{vt4} + R_{wt4} + R_{zt4}$
- $R_{4z} = 0.01816 \cdot 10^{-4} + 0.03632 \cdot 10^{-5} + 0 + 0.031 \cdot 10^{-8} + 0.0062 \cdot 10^{-7} + 0 + 0.031 \cdot 10^{-8} + 0.0062 \cdot 10^{-7} + 0$
- $R_{4z} = 0.00218 \times 10^{-3}$

6. Risco Total

6.1. R_1

- $R_a + R_b = 0.425 \times 10^{-5}$
- $R_1 = 0.425 \times 10^{-5}$
- $R_{t1} = 1 \times 10^{-5}$
- $R_1 \leq R_{t1}$
- $(R_a + R_b) \leq R_{t1}$
- [OK]

6.2. Estrutura Protegida.

- $R_1 \leq R_{t1}$
- $R_2 \leq R_{t2}$
- $R_4 \leq R_{t4}$

7. Nível de Proteção adotada: III

8. Método Utilizado

8.1. Malha ou da Gaiola de Faraday

- Módulos da malha [Nível de Proteção III]
- Afastamento máximo da Malha = 15x15 m

9. Cálculo do Número de descidas [N]

- Área = 504 m².
- Altura = 36 m.
- Perímetro = 90 m.
- Cantos Salientes da Estrutura = 6
- Nível de Proteção III: Espaçamento médio = 15m

- $N = \text{Perímetro} / 15\text{m} + (\text{número de cantos salientes})$ [$N = 13$] para Nível de Proteção: III
- $N = \text{Altura} / 15\text{m} + (\text{número de cantos salientes})$ | $N = 36 / 15 + 6$ | $N = 9$
- $N \geq 2$ (Para descidas não naturais)
- $N = 13$ descidas.

10. Cálculo do Comprimento do Condutor enterrado horizontalmente

- Condutor enterrado horizontalmente
- $r = 1000 \text{ ohms.m}$ [resistividade do solo]
- $R = 15.87 \text{ ohms}$ [Resistência de aterramento]
- $L = \text{Comprimento do Condutor Horizontal enterrado em (m)}$
- $L = (2 * r) / R$
- $L = (2 * 1000) / 15.87$
- $L = 126.02 \text{ m}$
- $l_1(\text{min}) = 5 \text{ m}$
- $L = 126.02 \text{ m}$
- $R_e = 14.32 \text{ m}$ [Raio médio da área abrangida pelos eletrodos]
- Comprimento Adicional [$R_e \geq l_1$]

11. Anéis horizontais de interligação das descidas

- Instalação de 1 Anel horizontal de aterramento enterrado
- Altura: $36\text{m} > 15\text{m}$
- Instalação de 2 anéis horizontais intermediários.
- Espaçamento vertical = 12m

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)
200mm² Diâmetro 16 mm
- Aço Cobreado IACS 30% - Arredondado maciço
50mm² Diâmetro 8 mm
- Aço Cobreado IACS 30% - Encordado
50mm² Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
- Alumínio Cobreado IACS 64% - Arredondado maciço
50mm² Diâmetro 8 mm
- Alumínio Cobreado IACS 64% - Encordado
70mm² Diâmetro de cada fio da cordoalha 3.6 mm
- Aço Galv.a quente - Fita maciça
50mm² Espessura mínima 2.5mm
- Aço Galv.a quente - Arredondado maciço
50mm² Diâmetro 8 mm
- Aço Galv.a quente - Encordado
50mm² Diâmetro de cada fio cordoalha 1.7 mm
- Aço Galv.a quente - Arredondado maciço (b)
200mm² Diâmetro 16 mm
- Aço Inoxidável - Fita maciça
50mm² Espessura 2 mm
- Aço Inoxidável - Arredondado maciço
50mm² Diâmetro 8 mm
- Aço Inoxidável - Encordado
70mm² Diâmetro de cada fio cordoalha 1.7 mm
- Aço Inoxidável - Arredondado maciço (b)
200mm² Diâmetro 16 mm

(b) - Aplicável somente a minicaptadores. 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 mm² - Diâmetro de cada fio - cordoalha 3 mm

Cobre - Arredondado maciço - 50mm² - Diâmetro 8 mm

Cobre - Fita maciça - 50 mm² - Espessura 2mm

Cobre - Arredondado maciço - Eletrodo cravado 15mm

Cobre - Tubo - Eletrodo cravado 20mm - Espessura da parede 2 mm

Aço Galv.a quente - Arredondado maciço - Eletrodo cravado 16mm

Aço Galv.a quente - Arredondado maciço - Eletrodo não cravado 10mm

Aço Galv.a quente - Tubo - Eletrodo cravado 25mm - Espessura da parede 2 mm

Aço Galv.a quente - Fita maciça - 90 mm² - Espessura 3 mm

Aço Galv.a quente - Encordado - 70 mm²

Aço Cobreado - Arredondado maciço - Eletrodo cravado 12.7mm

Aço Cobreado – Encordado 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 mínima 2 mm