



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

PROJETO ELÉTRICO

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EXTERNO DOS EDIFÍCIOS SEDE E ANEXO DO TRE/DF

ANEXO 5 CADERNO DE ENCARGOS E MEMORIAL DESCRITIVO

V01

JULHO/2018



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

Sumário

Legendas	3
Introdução.....	4
Gerenciamento de Riscos	7
Classe de Proteção	17
Subsistema de Captação.....	18
Subsistema de Descida.....	21
Subsistema de Aterramento.....	25
Equipotencialização	27
Fixação	28
Testes e Ensaios	29
Disposições Finais	30



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

Legendas

Tipos de Descarga:

S_1 : na estrutura;

S_2 : próxima à estrutura;

S_3 : linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;

S : próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

Tipos de Dano:

D_1 : às pessoas;

D_2 : físicos (fogo, explosão, etc);

D_3 : falhas de sistemas internos devido à LEMP (pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas).

Tipos de Perda:

L_1 : vida humana;

L_2 : de serviço público;

L_3 : de patrimônio cultural;

L : valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

Riscos:

R_1 : perdas ou danos permanentes em vidas humanas;

R_2 : perdas de serviços ao público;

R_3 : perdas de patrimônio cultural;

R : perda de valor econômico.



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

1. Introdução

A descarga atmosférica que atinge uma estrutura pode causar danos à própria estrutura, a seus ocupantes e conteúdos, incluindo falhas dos sistemas internos. Os danos e falhas podem se estender também às estruturas vizinhas e podem ainda envolver o ambiente local. A extensão dos danos e falhas na vizinhança depende das características das estruturas e das características da descarga atmosférica.

Porém, a descarga atmosférica é um fenômeno imprevisível e aleatório. Não se pode determinar o local da “queda” de um raio, tendo em vista que não há atração eletromagnética considerável a longas distâncias.

Sendo assim, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA busca, apenas, minimizar os efeitos oriundos destes fenômenos da natureza. Um SPDA consiste em:

- a) um sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas e
- b) um sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas.

E, as funções do SPDA externo são:

- a) interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura (captação);
- b) conduzir a corrente da descarga atmosférica seguramente para a terra (descida);
- c) dispersar esta corrente na terra (aterramento).

O escopo deste projeto consiste na **adequação do SPDA externo deste TRE-DF**. Este é composto por 3 (três) subsistemas:

- i. Subsistema de Captação;
- ii. Subsistema de Descida;
- iii. Subsistema de Aterramento.

A norma ABNT NBR 5419:2015 teve importante atualização em seu conteúdo, detalhando cálculos e metodologias a serem adotadas para projeto e execução destes sistemas. Esta norma é composta, agora, por 4 (quatro) novas partes:

Parte 1: A ameaça de descargas atmosféricas;

Parte 2: Riscos associados à descarga;



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

Parte 3: PDA - SPDA;

Parte 4: PDA - MPS.

Em suma, abaixo apresenta-se, simploriamente, a interligação e atuação entre os subsistemas apresentados em uma edificação:



Figura 1. Representação simplória da interligação entre os subsistemas do SPDA.

Algumas são as medidas de proteção a serem adotadas nas edificações, de acordo com os danos e/ou prejuízos respectivos, conforme as apresentadas a seguir:

1. Choques Elétricos:

- Isolação adequada das partes condutoras expostas;
- Equipotencialização por meio de um sistema de aterramento em malha;
- Restrições físicas e avisos;
- Ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE).

2. Danos Físicos:

- Subsistema de captação;
- Subsistema de aterramento;



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

- Equipotencialização para descargas atmosféricas (EB);
- Isolação Elétrica (distância de segurança).

3. Falha de Sistemas Elétricos e Eletrônicos:

- Medidas de Aterramento e Equipotencialização;
- Blindagem Magnética;
- Roteamento da Fiação;
- Interfaces Isolantes;
- Sistema DPS coordenado.



2. Gerenciamento de Riscos

Para se avaliar quando uma proteção contra descargas atmosféricas é necessária ou não, deve ser feita uma avaliação do risco de acordo com os procedimentos contidos na ABNT NBR 5419-2:2015.

A norma ABNT NBR 5419:2015 traz para a análise de gerenciamento de riscos como opções os seguintes riscos, em correspondência aos tipos de perdas relacionadas:

R_1 : perdas ou danos permanentes em vidas humanas;

R_2 : perdas de serviços ao público;

R_3 : perdas de patrimônio cultural;

R_4 : perda de valor econômico.

De acordo com a ABNT NBR 5419:2015-1, os riscos R_1 , R_2 e R_3 devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas. Para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos devem ser tomados:

- i. Identificação dos componentes R_x que compõe o risco;
- ii. Cálculo dos componentes de risco identificados R_x ;
- iii. Cálculo do risco total R ;
- iv. Identificação dos riscos toleráveis R_t ;
- v. Comparação do risco R com o valor do risco tolerável R_t .

Se $R \leq R_t$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.

Se $R > R_t$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq R_t$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

Para o caso do Tribunal Regional Eleitoral do Distrito Federal, na avaliação de risco, será desconsiderado o risco relacionado ao patrimônio cultural. E, para se analisar cada componente de risco para os tipos de perda na estrutura considerados, tem-se o seguinte, de acordo com ABNT NBR 5419-2:2015:

- 1) R_1 : risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_V$$



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

2) R_2 : risco de perdas de serviço ao público:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

3) R_4 : risco de perda de valor econômico:

Além da necessidade da proteção contra descargas atmosféricas da estrutura, pode ser muito útil a verificação dos benefícios econômicos da instalação das medidas de proteção no sentido de reduzir as perdas econômicas L_4 .

A análise dos componentes de risco permite ao usuário avaliar o custo da perda econômica com ou sem as medidas de proteção adotadas.

Em todo caso, deve-se identificar os componentes de risco mais críticos e reduzi-los, levando também em consideração os aspectos econômicos.

Tem-se, então, a seguinte expressão associada ao risco de perda de valor econômico:

$$R_4 = R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

Porém, a avaliação de custo das perdas não será realizada, pois não há forma hábil de mensurar o valor total da estrutura (edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades em espécie).

Cada componente de risco, citada acima, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$R_x = N_x * P_x * L_x$$

Onde,

N_x é o número de eventos perigosos por ano;

P_x é a probabilidade de dano à estrutura; e

L é a perda conseqüente.

O número de eventos perigosos é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra e pelas características da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

A probabilidade de dano é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

Por fim, a perda conseqüente é afetada pelo uso para o qual a estrutura foi projetada, a freqüência das pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

Para cada componente, pode-se avaliar a necessidade de se considerá-la nos cálculos, a fim de se verificar com precisão, mesmo sem todos os valores, cada risco associado. Para tanto, pode-se considerar a componente de risco para a fonte de dano S_1 , que corresponde à descarga atmosférica na estrutura, desconsiderando as fontes de dano perto da estrutura, na linha conectada e perto dela, visto a presença de diversas edificações em volta do prédio, sendo que todas têm a respectiva proteção associada, além da alimentação elétrica do prédio ser subterrânea, o que reduz a probabilidade da descarga em linha elétrica conectada à estrutura. Com isso, têm-se as seguintes componentes de risco a serem consideradas:

$$R_A = N_D * P_A * L_A$$

$$R_B = N_D * P_B * L_B$$

$$R_C = N_D * P_C * L_C$$

Onde,

R_A é a componente relativa a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura;

R_B é a componente relativa a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente; e

R_C é a componente relativa a falhas de sistemas internos causados por LEMP (pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas).

Sendo assim, primeiramente, determina-se o número de eventos perigosos, N_D , para a estrutura. O número médio anual, , de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas que influenciam a estrutura a ser protegida depende da atividade



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

atmosférica da região onde a estrutura está localizada e das características físicas da estrutura.

No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica, disponibilizou os dados da densidade de descargas atmosféricas para a terra, N_G , que representa o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano. Consultou-se o valor no *link* disponibilizado pelo INPE, e obteve-se para a região do Tribunal Regional Eleitoral do Distrito Federal o seguinte:

$$N_G = 6,9 \text{ descargas}/\text{km}^2/\text{ano}$$

E, para a determinação da área de exposição equivalente da estrutura, aproxima-se que a estrutura dos edifícios sede e anexo do TRE-DF, em conjunto, é retangular, resultando na seguinte expressão para a área equivalente:

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

Onde,

L, W e H são as dimensões da edificação: comprimento, largura e altura.

Para o cálculo do número de eventos perigosos N_D para a estrutura, tem-se a seguinte expressão:

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6}$$

Considerando o fator de localização C_D igual a 0,5, pois a estrutura é cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos, tem-se o seguinte resultado:

$$N_D = 6,9 * A_D * 0,5 * 10^{-6}$$

$$N_D = 3,45 * A_D * 10^{-6}$$

Para se determinar A_D , são necessários os valores de comprimento, largura e altura da edificação. Para tanto, admitem-se as seguintes áreas das coberturas dos edifícios sede e anexo do TRE/DF e altura, H , do conjunto:

$$A_{SEDE} = 1.637,14 \text{ }^2$$



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

$$A_{ANEXO} = 572,26m^2$$

$$H = 19,75 \text{ metros}$$

Estima-se que o conjunto das coberturas dos edifícios compõe uma estrutura retangular com comprimento e largura de 80 e 45 metros, respectivamente. Então, tem-se a expressão abaixo:

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

$$A_D = 80 * 45 + 2 * (3 * 19,75) * (80 + 45) + \pi * (3 * 19,75)^2$$

$$A_D = 3.600 + 118,5 * (125) + \pi * (59,25)^2$$

$$A_D = 3.600 + 14.812,5 + 11.028,76$$

$$A_D = 29.441,26 m^2$$

Então,

$$N_D = 3,45 * A_D * 10^{-6}$$

$$N_D = 3,45 * 29.441,26 * 10^{-6}$$

$$N_D = 0,1 \text{ eventos}$$

Com o número de eventos perigosos, precisa-se avaliar as probabilidades de danos P_A , P_B e P_C , conforme a seguir:

$$P_A = P_{TA} * P_B$$

Onde,

P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo; e

P depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA foi projetado.

De acordo com as tabelas B.1 e B.2 do Anexo B da ABNT NBR 5419-2:2015, tem-se o seguinte:



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

$P_{TA} = 10^{-2}$, tendo em vista a isolação elétrica das partes expostas;

$P_B = 1$, considerando que o SPDA atualmente instalado não protege a estrutura de maneira eficaz, pela falta de conexões, adequações, etc.

Então,

$$P_A = P_{TA} * P_B$$

$$P_A = 10^{-2} * 1$$

$$P_A = 10^{-2}$$

Por último, tem-se a probabilidade dano P_C , que diz respeito à possibilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos, e é dada por:

$$P_C = P_{SPD} * C$$

Onde,

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados; e

C_{LD} é um fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado.

De acordo com as tabelas B.3 e B.4 do Anexo B da ABNT NBR 5419-2:2015, tem-se o seguinte:

$$P_C = P_{SPD} * C$$

$$P_C = 1 * 0$$

$$P_C = 0$$

Pois, para o P_{SPD} não se identificou sistema de DPS coordenado como estipulado pela ABNT NBR 5419-3:2015. E, para C , foi identificado que, conforme tabela B.4:



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

- *Tipo de linha externa: cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos;*

- *Conexão na entrada: blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento.*

Por fim, para se obter as componentes de risco para o devido gerenciamento, deve-se realizar a análise de quantidade de perda L_X para L_A , L_B e L_C , conforme as expressões abaixo:

$$L_A = r_t * L_T * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8.760}\right)$$

$$L_B = r_p * r * h_z * L_F * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8.760}\right)$$

$$L_C = L_O * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8.760}\right)$$

Onde,

L_T é o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso;

L_F é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos devido a um evento perigoso;

L_O é o número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos devido a um evento perigoso;

r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso;

r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio;

r é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura;



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente;

n_z é o número de pessoas na zona;

n_t é o número total de pessoas na estrutura;

t_z é o tempo durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

De acordo com a tabela C.2 do Anexo C da ABNT NBR 5419-2:2015, tem-se os seguintes valores:

$$L_T = 10^{-2}$$

$$L_F = 10^{-1}$$

$$L_O = 10^{-3}$$

De acordo com a tabela C.3, tem-se que $r_t = 10^{-2}$ para tipo de superfície com resistência de contato menor ou igual a 1 $k\Omega$.

De acordo com a tabela C.4, tem-se que $r_p = 0,5$, tendo em vista a adoção de algumas providências para reduzir as consequências de um incêndio.

De acordo com a tabela C.5, tem-se que $r_f = 10^{-3}$, pois se considera o risco de incêndio como baixo na estrutura.

De acordo com a tabela C.6, tem-se que $h_z = 5$, pois se considera que há nível médio de pânico na presença de um perigo especial.

Por fim, considera-se o número de pessoas na zona, n_z , é igual ao de pessoas na estrutura, n_t , e que o tempo durante o qual as pessoas estão presentes na zona, t_z , é igual a 12 horas/dia por ano, ou seja, 4380 horas. Então, com a obtenção destes valores, consegue-se calcular L_A , L_B e L_C . Primeiramente, tem-se:

$$L_A = r_t * L_T * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8.760}\right)$$



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

$$L_A = 10^{-2} * 10^{-2} * 1 * \left(\frac{4.380}{8.760}\right)$$

$$L_A = 0,5 * 10^{-4}$$

E,

$$L_B = r_p * r_f * h_z * L_F * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8.760}\right)$$

$$L_B = 0,5 * 10^{-3} * 5 * 10^{-1} * 1 * (0,5)$$

$$L_B = 1,25 * 10^{-4}$$

E, por fim,

$$L_C = L_O * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8.760}\right)$$

$$L_C = 10^{-3} * 1 * 0,5$$

$$L_C = 0,5 * 10^{-3}$$

Com estes valores obtidos, podem-se analisar os componentes de risco R_1 , relacionado à perda de vida humana, e R_2 , relacionado às perdas de serviço ao público. Primeiramente, tem-se que, de acordo com as premissas adotadas, R_1 é dado por:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1}$$

$$R_1 = N_D * P_{A1} * L_{A1} + N_D * P_{B1} * L_{B1}$$

$$R_1 = 0,1 * 10^{-2} * 0,5 * 10^{-4} + 0,1 * 1 * 1,25 * 10^{-4}$$

$$R_1 = 5 * 10^{-8} + 1,25 * 10^{-5}$$

$$R_1 = 1,25 * 10^{-5}$$

E,

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2}$$

$$R_2 = N_D * P_{B2} * L_{B2} + N_D * P_{C2} * L_C$$



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

$$R_2 = 0,1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4} + 0,1 \cdot 0 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}$$

$$R_2 = 1,25 \cdot 10^{-5} + 0$$

$$R_2 = 1,25 \cdot 10^{-5}$$

Por conseguinte, de acordo com a Tabela 4 da norma ABNT NBR 5419:2015 – Parte 2, sabe-se que:

- i. Para o tipo de perda L_1 , referente à perda de vida humana ou ferimentos permanentes, tem-se que o risco tolerável, R_t , é igual a 10^{-5} . Então, $R_1 \geq R_t$;
- ii. Para o tipo de perda L_2 , referente à perda de serviço público, tem-se que o risco tolerável, R_t , é igual a 10^{-3} . Então, $R_2 \leq R_t$.

Então, $R_1 > R_t$, e a proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura é **requerida**, a fim de se adotar medidas no sentido de reduzir $R \leq R$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.



3. Classe de Proteção

Pela análise do gerenciamento de risco, realizada no item anterior, percebe-se que o fator preponderante de risco é o R_1 , que diz respeito ao risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas. E, a componente deste risco mais significativa é a R_{B1} , que é a relativa a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente.

Ao se utilizar um SPDA nível II para esta edificação, tem-se que $P_B = 0,05$, que é a probabilidade de danos físicos por uma descarga atmosférica em uma estrutura, em função no nível de proteção contra descargas atmosféricas. Com isso, tem-se que:

$$P_A = P_{TA} * P_B$$

$$P_A = 10^{-2} * 0,05$$

$$P_A = 0,05 * 10^{-2}$$

Então, reavaliando a componente de risco R_1 , relacionado à perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1}$$

$$R_1 = N_D * P_{A1} * L_{A1} + N_D * P_{B1} * L_{B1}$$

$$R_1 = 0,08 \quad 0,05 * 10^{-2} \quad 0,5 * 10^{-4} + 0,08 \quad 0,05 * 1,25 * 10^{-4}$$

$$R_1 = 0,002 * 10^{-6} + 0,005 * 10^{-4}$$

$$R_1 = 0,0502 * 10^{-5}$$

Por conseguinte, $R_1 < R$, e a estrutura estará protegida com a adoção desta classe de SPDA.

Com base nestes dados e informações, define-se o SPDA nível II para os edifícios sede e anexo do TRE-DF. Quanto maior for a sintonia e a coordenação entre os projetos e execuções das estruturas a serem protegidas e do SPDA, melhores são as soluções adotadas, possibilitando otimizar custo dentro da melhor solução técnica possível.



4. Subsistema de Captação

Antes de se detalhar o subsistema de captação, vale ressaltar a aplicação do SPDA externo, o qual é projetado para interceptar as descargas atmosféricas diretas à estrutura, incluindo as descargas laterais às estruturas, e conduzir a corrente da descarga atmosférica do ponto de impacto à terra. Também, tem a finalidade de dispersar esta corrente na terra sem causar danos térmicos ou mecânicos, nem centelhamentos perigosos que possam iniciar fogo ou explosões.

Como foi avaliado no item de gerenciamento de riscos e na seleção da classe do SPDA escolhido para o TRE-DF, a probabilidade de penetração da corrente da descarga atmosférica na estrutura é consideravelmente limitada pela presença de subsistemas de captação apropriadamente instalados.

O subsistema de captação será composto pela combinação dos seguintes elementos: hastes tipo Franklin e condutores em malha, haja vista a presença de antenas e outros elementos na cobertura dos edifícios. O correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação é que determina o volume de proteção.

Captadores individuais devem ser interconectados ao nível da cobertura para assegurar a divisão de corrente em pelo menos dois caminhos.

Quanto ao posicionamento, vale ressaltar que os componentes do subsistema instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas (especialmente no nível superior de qualquer fachada).

Considerando a escolha da classe II do SPDA, tem-se os seguintes valores máximos para os métodos aceitáveis a serem utilizados na determinação da posição do subsistema de captação:

Máximo afastamento dos condutores da malha: 10 x 10 (metros);

Raio da esfera rolante: 30 metros;

Ângulo de proteção (aproximado, conforme curva): 62°.

Em relação às descargas laterais, a norma ABNT NBR 5419:2015 traz que pesquisas indicam que a probabilidade do impacto de descargas atmosféricas de baixa amplitude



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

na fachada de estruturas menores de 60 metros de altura são suficientemente baixas, podendo ser desconsideradas. Desta forma, será desconsiderada a probabilidade deste impacto aos edifícios sede e anexo do Tribunal Regional Eleitoral do Distrito Federal.

Para se determinar a área de proteção pelas hastes do tipo Franklin, tem-se que:

$$R_p = H * tg \alpha$$

Onde,

R_p é o raio da área de proteção determinado pela haste;

H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida; e

α é o ângulo de proteção, determinado pela figura 1 (ABNT NBR 5419-3:2015).

Então,

$$R_p = 6 * tg 62^\circ$$

$$R_p = 11,28 \text{ metros}$$

Assim, a área de proteção pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$A_p = \pi * R_p^2$$

$$A_p = 399,70 \text{ }^2$$

Com isto, serão necessários 6 (seis) captosres do tipo Franklin para proteger o edifício sede e o prisma, visto que considerando o cálculo acima demonstrado, 3 (três) captosres é o valor mínimo exigido, porém, devido ao intento de se utilizar os pontos já existentes, far-se-á a instalação de quantidade superior para a proteção total da cobertura. E, a haste do tipo Franklin do Edifício Anexo será substituída, totalizando 7 (sete) captosres do tipo Franklin.

Ressalto que o sistema de captosres do tipo Franklin, composto por captor, haste, suporte, isoladores, etc, deverá conter também o sinalizador de obstáculos com célula fotoelétrica, simples.



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

Como a cobertura dos edifícios é feita por material não combustível, os condutores do subsistema de captação podem ser posicionados na superfície da cobertura. Além disso, vale salientar a seguinte indicação normativa:

NOTA: Se for permitido que água possa se acumular em uma cobertura plana, recomenda-se que o subsistema de captação seja instalado acima do provável nível máximo de água.

Por fim, para o edifício anexo, o subsistema de captação continuará sendo constituído pelas telhas metálicas existentes, que compõem cerca de 90% da área total, contando ainda com um captor do tipo Franklin e o método das malhas (Gaiola de Faraday) em toda a cobertura. Assim, desconsiderou-se posicionar descidas entre os edifícios sede e anexo, os quais possuem uma distância aproximada de 4 (quatro) metros entre si.

Para fins de verificação da possibilidade de utilização das telhas metálicas como captos naturais, verificou-se que estas são fabricadas por aço galvanizado, com espessura de 65mm. Desta maneira, conforme a tabela 3 da norma ABNT NBR 5419:2015 – Parte 3, tem-se que a espessura mínima exigida é consideravelmente menor que a da telha utilizada, permitindo, assim, o uso como captor natural.

E, de acordo com a tabela 6 da 3ª parte da norma, tem-se que a seção mínima da cordoalha de cobre é de 35mm².



5. Subsistema de Descida

Com o propósito de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente de descargas atmosféricas fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arranjados a fim de proverem:

- Diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- O menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- A equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura.

O valor típico de distância entre os condutores de descida, de acordo com a classe II de SPDA, é o seguinte (tabela 4): **10 metros**. É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20% do valor citado, ou seja, 12 (doze) metros.

Um condutor de descida deve ser instalado, preferencialmente, em cada canto saliente da estrutura, além dos demais condutores impostos pela distância de segurança calculada. No posicionamento, busca-se utilizar o espaçamento mais uniforme possível entre os condutores de descida ao redor do perímetro.

E, conforme é previsto na norma, *os condutores de descida devem ser instalados de forma exequível e que formem uma continuação direta dos condutores do subsistema de captação.*

Sabe-se que os condutores devem ser instalados em linha reta e vertical, de forma a construir o caminho mais curto e direto para a terra. Porém, nas descidas que se posicionarem em frente à fachada do edifício sede, será necessário que estas contornem a sacada de cada andar, formando um laço, conforme previsto no tópico 5.3.4 da norma ABNT NBR 5419:2015 – Parte 3. Então, deve-se garantir um afastamento s entre dois pontos do condutor de descida. Este afastamento está demonstrado na figura 1.

E, tem-se que a distância “s” de segurança entre os laços é obtida pela seguinte expressão:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times x$$



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

Onde,

k_i depende do nível de proteção escolhido para o SPDA;

k_c depende da corrente da descarga atmosférica pelos condutores de descida;

k_m depende do material isolante;

L é a soma entre l_1 , l_2 e l_3 .

De acordo com as tabelas 10 e 11, tem-se que $k_i = 0,06$ para nível de proteção do SPDA sendo 2 e $k_m = 1$ para isolamento do SPDA externo sendo o ar, respectivamente.

De acordo com a tabela 12 e Anexo C, tem-se que $k_c = 0,44$, tendo em vista 3 ou mais números de descidas.

Para a soma entre l_1 , l_2 e l_3 , tem-se o valor de 7,5 m.

Então:

$$s = \frac{0,06}{1} \cdot 0,44 \cdot 7,5$$

$$s \cong 0,20$$

Sendo assim, estima-se que, no caso das descidas do edifício sede, esta distância de segurança é de até 20cm. Portanto, a distância “s” dos laços será obedecida.

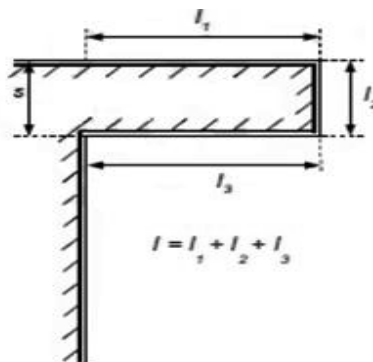


Figura 2. Laço em um condutor de descida.

Para a instalação dos condutores de descida, como a parede é feita de material não combustível, tais condutores podem ser posicionados na superfície ou dentro da parede.



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

Ressalta-se que não serão utilizados componentes naturais como condutores de descida.

Nas junções entre cabos de descida e eletrodos de aterramento, uma conexão de ensaio deve ser fixada em cada condutor de descida. O elemento de conexão deve ser capaz de ser aberto apenas com o auxílio de ferramenta. Em uso normal, ele deve permanecer fechado e não pode manter contato com o solo.

Assim sendo, a conexão de ensaio será instalada por meio de caixas de medições que estarão a 40 cm do solo. No entanto, será possível apenas em 18 (dezoito) descidas que estão indicadas em projeto, pois nas demais é inviabilizada a instalação devido à arquitetura e estrutura já executada da edificação.

As descidas já existentes se tornarão inoperantes, e não serão reaproveitadas, pois não há subsídios que as identifiquem como foram construídas, não sendo possível atestar sua funcionalidade e continuidade, e, também, o sistema atualmente executado não obedece às normas vigentes. A área de seção mínima (cobre) dos condutores de descida é de 35mm², conforme tabela 6 da 3ª parte do referido normativo.

Por fim, onde a distância entre a parede e a pedra de mármore não comporta cordoalha e, tendo em vista o impacto estético que se obtém com as descidas na fachada do prédio, optou-se por utilizar barra chata de alumínio para as descidas, em substituição à cordoalha de cobre nu em um eletroduto. Ressalta-se que a união de materiais diferentes, como os parafusos e porcas em aço inox conectados à barra chata de alumínio, por exemplo, proporciona condição favorável à corrosão eletrolítica por meio do par galvânico formado. Neste caso, faz-se necessário que a barra seja recoberta por placa de zinco ou camada de estanho, como “metal de sacrifício”.

Desta maneira, abaixo, apresenta-se esquema de parte do detalhamento da instalação pretendida, explicitando a maneira de fixação da barra e, especialmente, a conexão desta à cordoalha do subsistema de aterramento. Nos projetos e pranchas (anexo 4 ao Projeto Básico), são apresentados maiores detalhes da forma de execução das descidas.



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

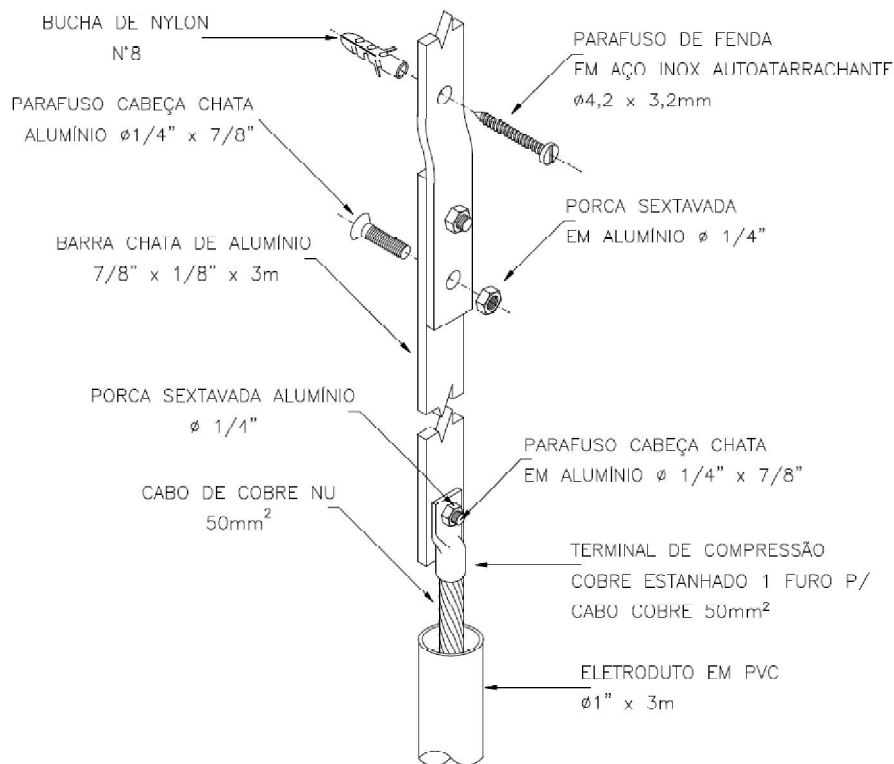


Figura 3. Detalhamento da descida com barra chata.

Conforme norma ABNT NBR 5419:2015 – Parte 3, tem-se que a distância entre os anéis condutores para a classe de proteção IV do SPDA é de 20 metros. De acordo com a análise de risco realizada para este edifício, verificou-se que todas as classes de proteção atendem as instalações de forma satisfatória e segura. Logo, se fosse adotada a classe de proteção IV, seria prescindível a utilização destes anéis, pois a altura do edifício é de aproximadamente 20 metros. Assim, foi empregada a classe II, devido a um alcance maior de proteção, em favor da segurança.



6. Subsistema de Aterramento

Conforme dita o normativo,

“quando se tratar da dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

Sob o ponto de vista da proteção contra descargas atmosféricas, uma única infraestrutura de aterramento integrada é preferível e adequada para todos os propósitos, ou seja, o eletrodo deve ser comum e atender à proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal.”

Tendo em vista a extinção do arranjo A (aterramento pontual) previsto em norma anterior e a impossibilidade do aproveitamento das armaduras das fundações, pois o prédio já está construído, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, que é o conjunto das duas edificações (Ed. Sede e Anexo).

Sabe-se que o eletrodo deve estar em contato com o solo por pelo menos 80% do seu comprimento total. E, embora 20% do eletrodo convencional possa não estar em contato direto com o solo, a continuidade elétrica do anel deve ser garantida ao longo de todo o seu comprimento.

Sabe-se que a relação $r_e \geq l_1$ deve ser respeitada, onde:

l_1 é o comprimento mínimo do eletrodo de aterramento; e

r_e é o raio médio da área abrangida pelos eletrodos.

O valor de l é apresentado na figura 3 da norma ABNT NBR 5419-3:2015, de acordo com o SPDA classe II, e depende do valor da resistividade do solo. Sendo assim, conforme exposto e previsto no projeto, a Contratada deverá executar um teste de



TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO DISTRITO FEDERAL

aferição da resistividade do solo, a fim de que se corroborem as premissas e soluções adotadas no Projeto Básico.

Para o edifício, tem-se que o condutor em anel será de aproximadamente 350 metros, com uma largura mínima de 40 cm na vala escavada.

Por último, sobre a instalação, o eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 metros e ficar posicionado à distância aproximada de 1 (um) metro ao redor das paredes externas. No entanto, essas distâncias não se manterão constante, uma vez que se faz necessário o contorno a obstáculos encontrados.

Sobre a escavação para o lançamento da malha de aterramento, será necessário executar cortes nas calçadas das fachadas oeste, além de corte localizado na rampa de entrada. Para a fachada leste, o corte será localizado em blocos intertravados de concreto de 16 faces, considerando as dimensões conforme projeto.

Para que certas descidas sigam percurso de encontro ao aterramento em anel, fazem-se necessários cortes na rampa de acesso ao 1º SS e 2º SS e áreas com plantio da fachada sul e norte. Deve-se ressaltar que após a execução do serviço, a Contratada deverá efetuar a recomposição adequada das áreas afetadas.

Os eletrodos de aterramento devem ser instalados de tal maneira a permitir sua inspeção durante a construção.

E, de acordo com a tabela 7 da 3ª parte da norma, tem-se que a seção mínima do eletrodo de aterramento é de 50mm², configuração: encordado.



7. Equipotencialização

Conforme a norma ABNT NBR 5419:2015 – Parte 4, será utilizada a configuração S para a realização da equipotencialização do sistema atualmente instalado ao novo subsistema de aterramento do SPDA.

Sendo assim, serão isolados os subsistemas atualmente instalados, de forma que o novo subsistema de aterramento seja único para as duas edificações. Intenta-se a redução de riscos relacionados à tensão de passo, entre outros relacionados à equipotencialização entre sistemas.

Sobre a instalação deste novo sistema, será instalada uma nova caixa de equalização, a qual será interligada ao novo subsistema de aterramento. E, desta caixa de equalização, deve-se interligar os barramentos de equipotencialização principal dos três quadros gerais do sistema elétrico do TRE/DF, quais sejam: quadro geral do conjunto das edificações, e quadros gerais dos Ed. Sede e Anexo. Os barramentos dos referidos quadros são conectados aos barramentos de proteção de cada quadro elétrico das edificações.

Por fim, as barras de equipotencialização serão fabricadas de cobre e terão seção transversal de 50mm². E, os condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento serão de cobre, e com seção transversal de 50mm².

É de responsabilidade da Contratada o detalhamento deste projeto de equipotencialização, conforme previsto pelo item 1.1.2 do Orçamento Analítico, haja vista a indisponibilidade de materiais, ferramentas e meios disponíveis ao Contratante (TRE/DF) para se verificar o sistema atualmente instalado, e as diversas formas de execução do novo subsistema.



8. Fixação

Elementos captores e condutores de descidas devem ser firmemente fixados de forma que as forças eletrodinâmicas ou mecânicas não causem afrouxamento ou quebra de condutores.

A fixação dos condutores do SPDA deve ser realizada em distância máxima assim compreendida: até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal, e 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e condutores) na vertical ou inclinado.

Na cobertura do edifício sede do Tribunal Regional Eleitoral do Distrito Federal, a fixação da cordoalha deve ser realizada de forma a não prejudicar o trânsito de pessoas naquela localização.

Para fixar as divisões e intersecções das malhas de captação, serão utilizados conectores *split-bolt*. Para tanto, ressalta-se os efeitos mecânicos causados pela corrente de descarga atmosférica por meio de forças eletrodinâmicas. O arranjo de condutores deve seguir o esquema típico abaixo, de forma a suportar os esforços oriundos do campo magnético formado pela corrente de descarga:

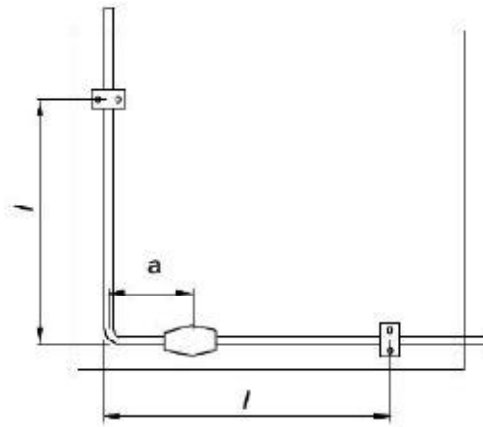


Figura 4. Esquema típico para arranjo dos condutores da malha.



9. Testes e Ensaios

Conforme a norma ABNT NBR 5419:2015, serão exigidos vários ensaios do SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) a ser adequado, a fim de certificar a confiabilidade do sistema, tais como:

- Resistividade do solo em camadas: determina a resistividade do terreno no qual se pretende instalar um aterramento;
- Resistência elétrica do aterramento: resistência da malha de aterramento;
- Continuidade elétrica de malhas de aterramento: finalidade de localizar um possível seccionamento na malha de aterramento, fato que compromete a dissipação uniforme da descarga, e conseqüentemente, o desempenho do sistema;
- Continuidade elétrica nas descidas dos edifícios sede e anexo: finalidade de se verificar a integridade das descidas instaladas ao sistema.

Todos os ensaios devem ser realizados seguindo os parâmetros determinados pela norma ABNT NBR 5419:2015.

Estes testes e ensaios citados servem, inicialmente, como subsídios aos cálculos relacionados ao detalhamento do projeto de SPDA externo em questão. Depois das adequações propriamente ditas, estes testes e ensaios deverão ser realizados a fim de se elaborar o relatório técnico final e evitar diversos problemas no sistema, tais como:

- Captação: erosão no ponto de impacto, aquecimento ôhmico e efeitos mecânicos;
- Descidas: aquecimento ôhmico e efeitos mecânicos;
- Componentes de conexão: efeitos combinados (térmicos, mecânicos e de arco);
- Aterramento: erosão no eletrodo de aterramento.



10. Disposições Finais

É obrigatório o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e equipamentos de proteção coletiva (EPC) apropriados, em todos os serviços de operação das instalações elétricas;

- Toda a execução deve obedecer a procedimentos e normas técnicas vigentes; Os serviços de Instalações Elétricas constantes destes projetos serão executados por firma especializada, com experiência comprovada e mão de obra e ferramental em conformidade com a NR-10;
- A não ser que seja mencionado em contrário, todo material e procedimentos de execução estão em conformidade com as normas da ABNT, da Companhia Energética de Brasília – CEB e do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal;

É vedada a utilização de qualquer tipo de produto que possa comprometer o sistema provocando a corrosão de hastes e condutores;

- Caberá à Contratada os encargos relativos a mão-de-obra, administração, materiais de consumo, ferramentas, máquinas e equipamentos e transportes referentes à adequação do sistema;

Constitui obrigação da contratada a apresentação do “*as built*” do projeto, ficando estabelecida a necessidade de gerar os desenhos dos detalhes que não fizeram parte do projeto original, mas que foram executados no serviço;

- Ficam a cargo da Contratada as despesas com o transporte decorrente da remoção de entulhos e materiais inservíveis provenientes da obra, para descarga em local autorizado para tal fim pelo órgão competente do GDF;

É responsabilidade da contratada, entregar a obra limpa, organizada e pronta para uso.

Brasília-DF, 27 de julho de 2018.

JOÃO PAULO CARNEIRO RODRIGUES

Analista Judiciário – Eng^o Eletricista

Mat.: 2103 - CREA 21.768/D-DF