

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: Gerenciamento de risco da cantina das Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS

Dinael Pereira Saladini¹; Paulo Matheus Ferreira Munhoz¹; João Borges da Silveira^{2,7}; Gisele Aparecida de Souza^{3,7}; Luan Estevam Francisco^{4,7}; Jair Antônio Longo Junior^{5,7}; Thiago Raniel^{6,7*}

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS; ² Doutor em Ciência dos Materiais – FEIS/UNESP; ³ Doutora em Ciência dos Materiais – FEIS/UNESP; ⁴ Graduação em Sistemas para Internet – IFMS; ⁵ Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP; ⁶ Mestre em Engenharia Elétrica – FEIS/UNESP; ⁷ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS.

* autor correspondente: thiago.raniel@gmail.com

RESUMO

Este projeto consiste em realizar a implementação do SPDA (Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas) e Gerenciamento de Riscos na faculdade AEMS, Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. Para o início do projeto, foram levantados os estudos necessários de gerenciamento de riscos, a fim de definir os critérios usados e atender as obrigatoriedades exigidas da norma NBR 5419-2 de 2015, onde através de dados obtidos pela mesma norma (5419-2 de 2015) foi definido o nível de proteção como de alto risco, tanto para as pessoas, quanto para a própria integridade da edificação. Por motivos de sua região geográfica ser o Centro-Oeste, possuir uma alta densidade de descargas elétricas, e se tratar de uma universidade onde contém um grande fluxo de circulação diário de alunos e colaboradores, é de grande importância para todos os que frequentam o ambiente. Dando continuidade ao desenvolvimento do projeto, foi escolhido apenas um prédio da faculdade para a implementação do SPDA, a partir disso, foi feito um estudo da edificação para conhecer suas dimensões e características do telhado onde será implementado o subsistema do captador. Também foi obtida a resistividade do solo, com isso, conseguimos fazer o estudo do subsistema de aterramento a ser utilizado no projeto. Todos os dados obtidos são imprescindíveis para a realização do projeto.

Palavras-chave: SPDA; gerenciamento de riscos; subsistemas; aterramento; implementação.

1 INTRODUÇÃO

Em um estudo realizado em 2017 pelo Grupo de Eletricidade Atmosféricas (ELAT) que é um dos braços do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), apontou-se que o Brasil foi o país com maior registro de raios, com uma média de 77,8 milhões de raios por ano. Pensando numa escala mais próxima de nossa localização, o estado do Mato Grosso do Sul, tem importante influência nesse dado nacional, já que a sua capital (Campo Grande) é a cidade brasileira com maior índice de raios; um exemplo disso é a noite de 27 de outubro

de 2017, onde foi atingido um dado histórico. Foram registrados, pelo meteorologista da Uniderp, Natálio Abrahão, 359 raios em uma única tempestade. Três Lagoas – MS, cidade onde se situa a Faculdade AEMS, está localizada a 333 quilômetros de Campo Grande, sua capital, e apresenta o número de densidade de descargas de 5,70348643599 Km²/ano.

Com a evolução da ciência na compreensão das descargas atmosféricas, iniciaram-se os estudos de formas de proteção que reduziram os riscos aos seres humanos e amenizariam os danos externos nas edificações e interna-

mente, para a proteção de seus equipamentos elétricos. Originando o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

Esse sistema está diretamente relacionado com o nível de proteção, pois cada edificação tem um tipo de definição de risco e especificação de nível de proteção para atender sua norma técnica, que neste caso é a NBR 5419 de 2015.

1.1 Descargas atmosféricas

A descarga atmosférica é um fenômeno climático composto pelo relâmpago, oriunda de uma corrente elétrica muito intensa, com uma duração de aproximadamente meio segundo e uma extensão de 5-10 km, se considerado quando o mesmo se encontra com o solo. O som gerado é chamado de trovão, que é o deslocamento repentino do ar em função da elevação da temperatura e, conseqüentemente, o aumento do volume. Existem os raios ascendentes que é quando têm início do solo para a nuvem, e os raios descendentes, sendo assim, o caminho da nuvem para o solo.

1.2 Formação dos raios

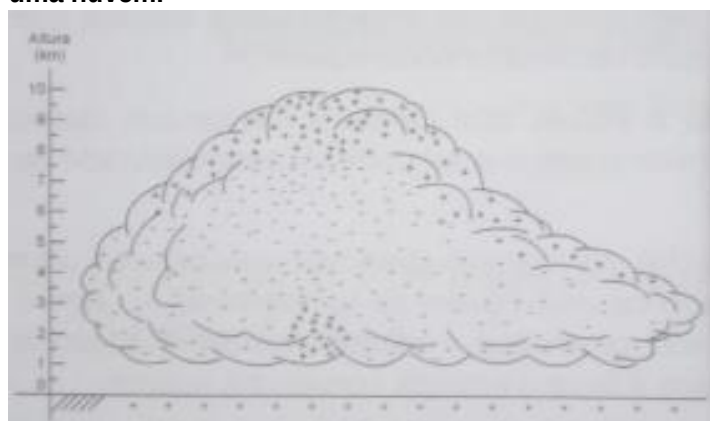
Os raios são formados através da troca de cargas elétricas a partir do atrito

entre as partículas de água que formam as nuvens. Este fenômeno está ligado diretamente ao ciclo da água, quando ocorre o processo de evaporação formando as nuvens (SOUSA et al., 2012).

As cargas elétricas se acumulam nas nuvens devido à colisão entre as correntes ascendentes de ar quente e úmido e as partículas resfriadas de sentido descendente. Assim, o atrito entre gotículas de chuva favorece a produção de grandes cargas de eletricidade nas nuvens, formando gradientes de tensão que variam de 50-5.200 V/cm (LIMA, 2009).

A Figura 1 mostra a diferença de potencial que surge entre nuvem e solo devido às cargas elétricas de polaridades opostas. Assim, para que ocorra uma descarga atmosférica entre nuvem e solo, o gradiente de tensão aumenta até alcançar um valor superior à rigidez dielétrica existente entre ar e solo, que é cerca de 1 kV/mm. Por fim, ocorre a ionização entre a nuvem e o solo e então as cargas elétricas irão migrar tortuosamente e com ramificações em direção à superfície (descarga atmosférica descendente), conforme observado na Figura 2 (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 1. Distribuição de cargas elétricas no interior de uma nuvem.



Fonte: De Sousa et al., 2012.

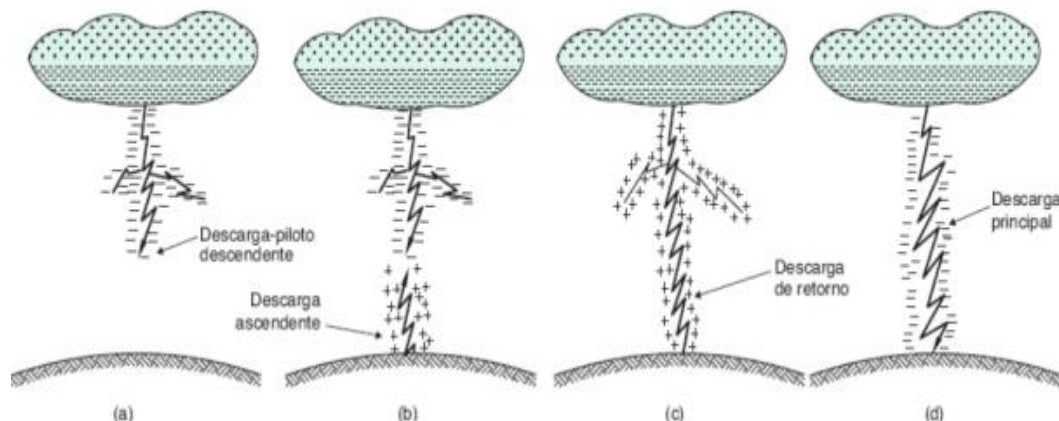
Como mostrada na Figura 2, ocorre a descarga principal que possui uma grande intensidade e percorre o canal de

forma direta e descendente (da nuvem para o solo). Se após a descarga principal ainda existir uma enorme quantidade

de descargas na nuvem, outras descargas serão iniciadas, com características parecidas com a anterior e denominadas

descargas reflexivas ou múltiplas (MA-MEDE FILHO, 2017).

Figura 2. Formação de uma descarga atmosférica.



Fonte: Extraído de Mamede Filho, 2017.

Como resultado do fluxo de corrente que circula pelo canal ionizado, ocorre um intenso aquecimento deste, podendo alcançar temperaturas superiores a 3.000 °C. Tal aquecimento provoca um efeito luminoso intenso - o relâmpago - e também resulta na expansão muito rápida do ar ao redor do canal,

provocando o deslocamento de uma onda sonora no ar - trovão (VISACRO, 2005).

1.3 Tipos de riscos

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados a seguir:

a) R₁: Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^a + R_{M1}^a + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^a + R_{Z1}^a \quad (1)$$

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

b) R₂: Risco de perdas de serviço ao público:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

c) R₃: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

d) R₄: Risco de perdas de valor econômico:

$$R_4 = R_{A4}^b + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^b + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

As Tabelas 1 e 2 mostram os componentes de riscos para cada fonte de dano, bem como, as equações para

cada componente de risco em função do tipo de dano devido à descarga atmosférica.

Tabela 1. Componentes de risco considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.

Fonte de dados	Descarga atmosférica na estrutura S_1			Descarga atmosférica perto da estrutura S_2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S_3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S_4
	R_A	R_B	R_C		R_U	R_V	R_W	
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
R_1			$*^a$	$*^a$			$*^a$	$*^a$
R_2				*				*
R_3								
R_4	$*^b$			*	$*^b$			*

Fonte: Extraído de ABNT NBR 5419/2015.

Tabela 2. Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de dados.

Danos	Fonte de danos			
	S_1	S_2	S_3	S_4
D_1	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$	-	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	-
D_2	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$	-	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	-
D_3	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$	$R_Z = N_1 \cdot P_Z \cdot L_Z$

Fonte: Extraído de ABNT NBR 5419/2015.

Se a estrutura for dividida em zonas Z_s , cada componente de risco deve ser avaliado para cada zona Z_s . O risco total R da estrutura é a soma dos componentes de risco relevantes para as zonas Z_s que constituem a estrutura.

1.4 Norma vigente para o projeto de um SPDA

Para cumprir com a execução de um projeto como este que envolve proteção contra descargas atmosféricas, deve-se utilizar a Norma ABNT NBR 5419-2015, que regulamenta toda a gama de serviços de descargas atmosféricas sendo englobada em 4 estágios de estudo; partes: Parte 1 – Princípios Gerais, que estabelece os requisitos, subsídios e restrições para a aplicação em projetos de proteção contra descargas atmosféricas; Parte 2 – Gerenciamento de Riscos, na qual são definidos os requisitos para análise de riscos em uma estrutura devido às descargas

atmosféricas para o solo, e o procedimento para avaliar tais riscos, a partir de um limite superior tolerável; Parte 3 – Danos Físicos a Estruturas e Perigos à Vida, que institui os requisitos para proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA e contra lesões causadas pelas tensões de toque e passo; e Parte 4 – Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura, a partir da qual são fornecidas informações para o projeto, instalação, manutenção e ensaio das MPS (ABNT, 2015).

2 OBJETIVOS

Este projeto propõe uma análise de gerenciamento de riscos da cantina da AEMS, atendendo todos os requisitos exigidos pela norma NBR 5419 de 2015, para saber se há necessidade de implementação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) neste local.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o levantamento das informações da arquitetura e dimensionamento da edificação da cantina da faculdade AEMS. Assim, com base na NBR 5419, efetuar o cálculo de gerenciamento de risco seguindo os parâmetros exigidos para realizar os cálculos, identificar os riscos, e verificar a necessidade de se instalar um SPDA na edificação.

3.1 Abordagem teórica para o cálculo de gerenciamento de riscos de uma estrutura

Antes de se projetar um SPDA, deve-se fazer o cálculo de gerenciamento de riscos para a estrutura avaliada. Para tanto, deve-se cumprir requisitos da Norma 5419-2015, seguir um procedimento e obedecer a etapas, tais como, (i) determinar a estrutura e observar suas características a serem protegidas; (ii) determinar a quantidade de zonas da estrutura. Cada zona deve ser submetida ao cálculo de gerenciamento de risco; (iii) identificar todos os tipos de perdas na estrutura e o risco relevante correspondente R (R_1 a R_4); (iv) avaliar o risco R para cada tipo de perda, seja ela definida como R_1 , R_2 , R_3 ou R_4 ; (v) avaliar as necessidades de proteção comparando os riscos R_1 , R_2 e R_3 com risco tolerável (R_T) e (vi) avaliar a eficiência do custo da proteção, comparando o custo total das perdas, com ou sem as medidas protetivas.

Desta forma, a norma busca estabelecer parâmetros para que se possa saber a real necessidade da implantação de um SPDA. Assim, para se obter essa resposta, tem-se os valores base dos riscos R_1 , R_2 , R_3 e R_4 . Com isto, consegue-se dar continuidade ao procedimento específico para os cálculos conforme os itens (i) identificação dos componentes e quais riscos os compõem conforme mostrados na Tabela 1; (ii) cálculo dos componentes de riscos identificados; (iii) cálculo do risco total; (iv) identificação dos

riscos toleráveis e (v) comparação do risco total R com o risco tolerável R_T . Neste caso, o valor de R sendo maior que o de R_T , deve-se adotar medidas de segurança para reduzir os riscos em que a edificação está submetida.

Também definido pela norma NBR 5419 de 2015, deve-se considerar os tipos de danos que ocorrem em consequência das descargas atmosféricas. Para isso, foram estabelecidas quatro categorias para se definir os tipos de perda, (L_1) perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes); (L_2) perda de serviço ao público; (L_3) perda de patrimônio cultural e (L_4) perda de valores econômicos.

Deste modo, consegue-se avaliar o risco resultante para cada tipo de perda que apareça na edificação que está sendo analisada. Definida pela NBR 5419-2 de 2015, o risco (R), é um valor relativo à perda, e é avaliado e classificado em quatro estágios, (R_1) risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes); (R_2) risco de perda de serviço ao público; (R_3) risco de perda de patrimônio cultural e (R_4) risco de perda de valores econômicos.

Os componentes de risco relevantes para a avaliação do risco R são determinados pelos riscos parciais que dependem da fonte ou do tipo de dano na estrutura a ser protegida, e podem ser devido às descargas atmosféricas (i) na estrutura; (ii) perto da estrutura; (iii) a uma linha conectada à estrutura e (iv) perto de uma linha conectada à estrutura.

Os componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura são R_A (relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descida); R_B (relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura, iniciando incêndio ou explosão) e R_C : (componente

relativo às falhas de sistemas internos causados por LEMP (impulso eletromagnético das descargas atmosféricas)).

O componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura é R_M (componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP).

Os componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura são R_U (componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura); R_V (componente relativo a danos físicos devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas) e R_W (componente relativo a falhas de

sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta).

O componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura é R_Z (componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta).

Cada risco, dado pela soma de suas componentes a serem consideradas para cada tipo de perda, é listado a seguir e estão agrupados na Tabela 2, para a identificação.

Os componentes de riscos são definidos através da seguinte equação:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

Sendo N_X , o número de eventos perigosos por ano, P_X a probabilidade de dano à estrutura e L_X a perda consequente.

O valor de N_X está diretamente ligado às densidades de descargas atmosféricas para o solo (N_G), além das características físicas da edificação que serão protegidas, ela atende a vizinhança, as linhas conectadas e o solo.

Já a P_X é associada pelas características das estruturas, além das proteções existentes. Por último, a perda L_X é ligada ao tipo de uso da edificação, permanência de pessoas, tipos de serviços praticados no ambiente, tipos de serviços oferecidos ao público, valores dos bens, e medidas protetivas.

Devido à grande quantidade de equações e parâmetros presentes no cálculo de gerenciamento de risco, as

equações da NBR 5419 mostradas a seguir têm como base as equações aplicadas no gerenciamento de risco de uma edificação das Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS em que a perda de vida humana (L1) e a perda econômica são relevantes (L4). Com isso, os riscos para cada tipo de perdas analisados foram os riscos R1 e R4 e os componentes de risco analisados foram R_A , R_B , R_U e R_V conforme mostrados na Tabela 1.

3.5.1 As equações dos componentes de risco para o risco R1

O próximo passo é conhecer o cálculo para cada um dos componentes de riscos contidos na norma, assim têm-se as equações dos riscos. Para os valores de L_X , deve-se considerar os valores para perda L1.

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

Sendo R_A , o risco de ferimentos a seres vivos causado por descargas na estrutura, N_D o número de eventos perigosos para a estrutura, P_A a

probabilidade de uma descarga na estrutura de causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico e L_A os valores de perda na zona considerada.

Antes de se aplicar a equação 6, precisa-se encontrar os valores de cada variável desta equação. Sendo assim,

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (7)$$

Sendo N_G a densidade de descargas atmosféricas para o solo ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$), definida pelo INPE, A_D a área de exposição equivalente em m^2 (ver seção A.2 da NBR 5419) e C_D o fator de localização da estrutura que pode ser obtido na Tabela A.1 da norma.

Para obtermos A_D , usamos dados da edificação que correspondem à área do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em

obteve-se a equação 7 mostrada a seguir.

conta a sua altura. Os limites da área de exposição equivalente, estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à sua altura no ponto considerado. É importante lembrar que todas as medidas devem estar em metros. Por conseguinte, deve-se obter probabilidade de uma descarga na estrutura de causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico dada pela seguinte equação.

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (8)$$

Sendo P_{TA} a probabilidade de uma descarga em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo e P_B a probabilidade de uma descarga na estrutura causar danos

físicos.

Para finalizar os cálculos das variáveis da equação 6, deve-se obter as seguintes equações 9 e 10, a seguir:

$$L_A = r_t \times L_T \times \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \times \left(\frac{t_z}{8760}\right) \quad (9)$$

Sendo r_t , um fator de redução da perda de vida humana em função do tipo do solo ou do piso (ver Tabela C.3 da norma), L_T o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver

Tabela C.2 da norma), n_z o número de pessoas na zona considerada, n_t o número total de pessoas na estrutura e t_z o tempo durante o qual as pessoas estão presentes na zona considerada, expresso em horas por ano.

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (10)$$

Sendo R_B , o componente relativo a danos físicos causados por centelhas perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente e L_B a perda devido a danos físicos, P_B é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura

causar danos físicos e é dada pelo nível de proteção do SPDA e pode ser obtida na Tabela B.2 da NBR 5419. Além disso, L_B é a perda devido a danos físicos e pode ser obtida pela seguinte equação, considerando a perda L_1 para o exemplo em questão neste artigo.

$$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \times \left(\frac{t_z}{8760}\right) \quad (11)$$

Sendo r_p um fator de redução da perda devido a danos físicos

dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela C.4 da NBR 5419), r_f um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela C.5 da norma), h_z um

fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela C.6 da norma) e L_F é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2 da norma).

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (12)$$

Como R_U é o risco de ferimentos a seres vivos causado por descargas na linha conectada, então, deve-se avaliar

este risco em função das linhas de energia e das linhas de telefonia que entram na estrutura em questão. Assim, tem-se:

$$R_U = R_{UE} + R_{UT} \quad (13)$$

$$R_U = [(N_{LE} + N_{DJE}) \times P_{UE} \times L_U] + [(N_{LT} + N_{DJT}) \times P_{UT} \times L_U] \quad (14)$$

Sendo R_U o risco de ferimentos a seres vivos causados por descargas na linha conectada, N_L o número médio anual de eventos perigosos devido a descargas em uma linha conectada à estrutura, E indica as linhas de energia, N_{DJ} o número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas

a uma estrutura adjacente, P_U a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico, L_U a perda devido aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico e T indica as linhas de telecomunicações.

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (15)$$

Sendo A_L a área de exposição equivalente de descargas para o solo que atingem a linha, C_I o fator de instalação da linha, C_E o fator ambiental e C_T o fator

do tipo de linha. Os valores destes fatores podem ser obtidos nas Tabelas A.2 a A.4 da NBR 5419.

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (16)$$

Sendo A_{DJ} a área de exposição equivalente da estrutura adjacente em m^2 ,

C_{DJ} o fator de localização da estrutura adjacente.

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (17)$$

Sendo P_{TU} a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choques a seres vivos devido a tensões de toque perigosas (ver Tabela B.6 da NBR 5419), P_{EB} a probabilidade em função do NP para qual os DPS foram projetados (ver Tabela B.7 da norma), P_{LD} a

probabilidade dependendo da resistência R_s da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_w do equipamento (ver Tabela B.8 da norma) e C_{LD} um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições de isolamento da linha (ver Tabela B.4 da norma NBR 5419).

$$L_U = r_t \times L_T \times \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \times \left(\frac{t_z}{8760}\right) \quad (18)$$

Agora, seguem as equações de R_V que é o componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas

geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas (L_1 , L_2 , L_3 e L_4) podem ocorrer.

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (19)$$

Como R_V é o risco de ferimentos a seres vivos causado por descargas na linha conectada, então, deve-se avaliar

este risco em função das linhas de energia e das linhas de telefonia que entram na estrutura em questão. Assim, tem-se:

$$R_V = R_{VE} + R_{VT} \quad (20)$$

$$R_V = [(N_{LE} + N_{DJE}) \times P_{VE} \times L_V] + [(N_{LT} + N_{DJT}) \times P_{VT} \times L_V] \quad (21)$$

Sendo P_V a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha

causar danos físicos que é calculada pela equação mostrada a seguir.

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (22)$$

$$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \times \left(\frac{t_z}{8760}\right) \quad (23)$$

3.5.2 As equações para os valores da perda para cada zona em relação ao

Risco R_4 , os valores de L_x são dados pelas seguintes equações.

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times \left(\frac{c_a + c_b + c_c + c_s}{c_t}\right) \quad (25)$$

Sendo L_F o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D_2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12 da norma), c_b

o valor da edificação relevante à zona, c_c o valor do conteúdo da zona e c_s o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona.

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times \left(\frac{c_s}{c_t}\right)$$

Sendo L_O o valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D_3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12 da NBR 5419).

cantina da AEMS e somente uma única zona foi analisada nos cálculos. Para isso, seguem os dados da edificação e os parâmetros para o cálculo, (i) comprimento: 34,11 m; (ii) largura: 20 m; (iii) altura: 5 m; (iv) nível de proteção: IV; (v) Ng : 7,95/km² x ano (considerou-se uma média entre os dados contidos na norma e os valores atuais do ELAT) e (vi) Ad:

4 RESULTADOS

4.1 Desenvolvimento dos cálculos

Para os cálculos, considerou-se a

682.27 m².

As definições padrão NBR 5419/2015 em referência ao nível de proteção são (1) largura máxima da malha

(método Gaiola de Faraday) = 20 m e (2) raio da esfera rolante (método Eletro geométrico) = 60 m.

4.1.1 Risco de perda de vida humana (R1)

$$R1 = Ra + Rb + Ru + Rv$$

Cálculo de R_A:

$$Ra = Nd * Pa * La$$

$$Nd = Ng \times Ad \times Cd \times 10^{-6}$$

$$Nd = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano} \times 682.27\text{m}^2 \times 5 \times 10^{-1} \times 10^{-6}$$

$$Nd = 2.71 \times 10^{-3}/\text{ano}$$

$$Pa = Pta \times Pb$$

$$Pa = Pta \times Pb$$

$$Pa = 1 \times 1$$

$$Pa = 1$$

$$La = rt \times Lt \times (nz/nt) \times (tz/8760)$$

$$La = 1 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^{-2} \times (15/15) \times (2500/8760)$$

$$La = 2.85 \times 10^{-5}$$

$$Ra = 2.71 \times 10^{-3}/\text{ano} \times 1 \times 2.85 \times 10^{-5}$$

$$Ra = 7.74 \times 10^{-8}/\text{ano}$$

Cálculo de R_B:

$$Rb = Nd \times Pb \times Lb$$

$$Nd = 2.71 \times 10^{-3}/\text{ano}$$

$$Pb = 1$$

$$Lb = rp \times rf \times hz \times Lf \times hz \times (nz/nt) \times (tz/8760)$$

$$Lb = 1 \times 1 \times 10^{-2} \times 1 \times 2 \times 10^{-2} \times (15/15) \times (2500/8760)$$

$$Lb = 5.71 \times 10^{-5}$$

$$Rb = 2.71 \times 10^{-3}/\text{ano} \times 1 \times 5.71 \times 10^{-5}$$

$$Rb = 1.55 \times 10^{-7}/\text{ano}$$

Cálculo de R_U:

$$Ru = Ru.E + Ru.T$$

$$Ru = [(NI.E + Ndj.E) \times Pu.E \times Lu] + [(NI.T + Ndj.T) \times Pu.T \times Lu]$$

$$NI = Ng \times Al \times Ci \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$$

$$Al = 40 \times LI$$

$$Al = 40 \times 1000$$

$$Al = 40000\text{m}^2$$

$$C_i=1$$
$$C_t=1$$
$$C_e=0.1$$

$$N_i=7.95 \text{ km}^2 \times \text{ano} \times 40000 \text{ m}^2 \times 1 \times 1 \times 0,1 \times 10^{-6}$$
$$N_i=3.18 \times 10^{-2} / \text{ano}$$

$$N_{dj} = N_g \times A_{dj} \times C_{dj} \times C_t \times 10^{-6}$$
$$A_{dj}=0 \text{ m}^2$$
$$A_{dj}=0 \text{ m}^2$$
$$C_{dj}=0.25$$
$$N_{dj}=7.95 \text{ km}^2 \times \text{ano} \times 0 \text{ m}^2 \times 0,25 \times 1 \times 10^{-6}$$
$$N_{dj}=0 / \text{ano}$$

$$P_u = P_{tu} \times P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld}$$
$$P_{tu}=1$$
$$P_{eb}=1$$
$$P_{ld}=1$$
$$C_{ld}=1$$

$$P_{tu}=1 \times 1 \times 1 \times 1$$
$$P_{tu}=1$$

$$L_u=L_a$$

$$R_u = [(3.18 \times 10^{-2} / \text{ano} + 0) \times 1 \times 2.85 \times 10^{-5}] +$$
$$[3.18 \times 10^{-2} / \text{ano} + 0] \times 1 \times 2.85 \times 10^{-5}$$
$$R_u=1.82 \times 10^{-6} / \text{ano}$$

Cálculo de R_v :

$$R_v = R_{v.E} + R_{v.T}$$

$$R_v = [(N_{I.E} + N_{d,j.E}) \times P_{v.E} \times L_v] + [(N_{I.T} + N_{d,j.T}) \times P_{v.T} \times L_v]$$

$$N_I = N_g \times A_I \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$$
$$N_I = N_g \times A_I \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$$
$$L_I = 1000 \text{ m}$$
$$A_I = 40 \times L_I$$
$$A_I = 40000 \text{ m}^2$$
$$N_g = 7.95 / \text{km}^2 \times \text{ano}$$
$$C_i = 1$$
$$C_t = 1$$
$$C_e = 0.1$$
$$N_I = 7.95 / \text{km}^2 \times \text{ano} \times 40000 \text{ m}^2 \times 1 \times 1 \times 0,1 \times 10^{-6}$$
$$N_I = 3.18 \times 10^{-2} / \text{ano}$$

$$N_{dj} = N_g \times A_{dj} \times C_{dj} \times C_t \times 10^{-6}$$
$$A_{dj} = 0 \text{ m}^2$$

$$Cd_j = 0.25$$

$$Nd_j = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano} \times 0\text{m}^2 \times 0,25 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$Nd_j = 0/\text{ano}$$

$$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld}$$

$$P_{eb} = 1$$

$$P_{ld} = 1$$

$$C_{ld} = 1$$

$$P_v = 1 \times 1 \times 1$$

$$P_v = 1$$

$$L_v = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \times (n_z/n_t) \times (t_z/8760) 5.71 \times 10^{-5}$$

$$L_v = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \times (n_z/n_t) \times (t_z/8760) 5.71 \times 10^{-5}$$

$$r_p = 1$$

$$r_f = 1 \times 10^{-2}$$

$$h_z = 1$$

$$L_f = 2 \times 10^{-2}$$

$$n_z = 15$$

$$n_t = 15$$

$$t_z = 2500 \text{ h/ano}$$

$$L_v = 1 \times 1 \times 10^{-2} \times 1 \times 2 \times 10^{-2} \times (15/15) \times (2500/8760)$$

$$L_v = 5.71 \times 10^{-5}$$

$$R_v = R_{v.E} + R_{v.T}$$

$$R_v = [(3.18 \times 10^{-2}/\text{ano} + 0) \times 1 \times 5.71 \times 10^{-5}] + [(3.18 \times 10^{-2}/\text{ano} + 0) \times 1 \times 5.71 \times 10^{-5}]$$

$$R_v = 3.63 \times 10^{-6}/\text{ano}$$

Resultado de R1:

$$R1 = 7.74 \times 10^{-8}/\text{ano} + 1.55 \times 10^{-7}/\text{ano} + "1.82 \times 10^{-6}/\text{ano} " + 3.63 \times 10^{-6}/\text{ano}$$

$$R1 = 5.68 \times 10^{-6}/\text{ano}$$

4.1.2 Risco de perda de valores econômicos (R4)

Cálculo de R_B:

$$R4 = R_b + R_c + R_m + R_v + R_w + R_z$$

$$R_b = N_d \times P_b \times L_b$$

$$N_d = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$$

$$C_d = 5 \times 10^{-1}$$

$$N_g = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano}$$

$$A_d = 682.27 \text{m}^2$$

$$N_d = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano} \times 682.27 \text{m}^2 \times 5 \times 10^{-1} \times 10^{-6}$$

$$N_d = 2.71 \times 10^{-3}/\text{ano}$$

$$P_b = 1$$

$$L_b = r_p \times r_f \times L_f \times ((ca+cb+cc+cs)/CT)$$

$$r_p = 1$$

$$r_f = 1 \times 10^{-2}$$

$$L_f = 2 \times 10^{-1}$$

$$ca = 0$$

$$cb = 4 \times 10^5$$

$$cc = 0$$

$$cs = 0$$

$$CT = 4 \times 10^5$$

$$L_b = 1 \times 1 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-1} \times ((0 + 4 \times 10^5 + 0 + 0) / 4 \times 10^5)$$

$$L_b = 2 \times 10^{-3}$$

$$R_b = 2.71 \times 10^{(-3)} / \text{ano} \times 1 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$R_b = 5.42 \times 10^{-6} / \text{ano}$$

Cálculo de Rc:

$$R_c = N_d \times P_c \times L_c$$

$$N_d = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$$

$$C_d = 5 \times 10^{-1}$$

$$N_g = 7.95 / \text{km}^2 \times \text{ano}$$

$$A_d = 682.27 \text{m}^2$$

$$N_d = 7.95 / \text{km}^2 \times \text{ano} \times 682.27 \text{m}^2 \times 5 \times 10^{-1} \times 10^{-6}$$

$$N_d = 2.71 \times 10^{-3} / \text{ano}$$

$$P_c.E = P_{spd}.E \times C_{ld}.E, P_c.T = P_{spd}.T \times C_{ld}.T$$

$$P_{spd} = 1$$

$$C_{ld} = 1$$

$$P_c.E = P_{spd}.E \times C_{ld}.E, P_c.T = P_{spd}.T \times C_{ld}.T$$

$$P_c = 1 - [(1 - P_c.E) \times (1 - P_c.T)]$$

$$P_c = 1$$

$$L_c = L_o \times (cs/CT)$$

$$L_o = 1 \times 10^{-2}$$

$$cs = 0$$

$$cs = 0$$

$$CT = 4 \times 10^5$$

$$L_c = 1 \times 10^{-2} \times (0 / 4 \times 10^5)$$

$$L_c = 1 \times 10^{-2}$$

$$R_c = N_d \times P_c \times L_c$$

$$R_c = 2.71 \times 10^{(-3)} / \text{ano} \times 1 \times 1 \times 10^{-2}$$

$$R_c = 2.71 \times 10^{-5} / \text{ano}$$

Cálculo de R_m :

$$R_m = N_m \times P_m \times L_m$$

$$N_m = N_g \times A_m \times 10^{-6}$$

$$N_g = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano}$$

$$A_m = 830467.59 \text{ m}^2$$

$$N_m = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano} \times 830467.59 \text{ m}^2 \times 10^{-6}$$

$$N_m = 6.6/\text{ano}$$

$$P_m = 1 - [(1 - P_m.E) \times (1 - P_m.T)]$$

$$P_m.E = P_{spd}.E \times P_{ms}.E, P_m.T = P_{spd}.T \times P_{ms}.T$$

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

$$P_{spd} = 1$$

$$K_{s1} = 1$$

$$K_{s2} = 1$$

$$K_{s3} = 1$$

$$U_w = 1$$

$$K_{s4} = 1$$

$$P_{ms} = (1 \times 1 \times 1 \times 1)^2$$

$$P_{ms} = 1$$

$$P_{ms} = 1$$

$$P_m.E = P_{spd}.E \times P_{ms}.E, P_m.T = P_{spd}.T \times P_{ms}.T$$

$$P_m.E = 1$$

$$P_m = 1 - [(1 - P_m.E) \times (1 - P_m.T)]$$

$$P_m = 1$$

$$L_m = L_o \times (cs/CT)$$

$$L_o = 1 \times 10^{-2}$$

$$cs = 0$$

$$CT = 4 \times 10^5$$

$$L_m = 1 \times 10^{-2} \times (0 / 4 \times 10^5)$$

$$L_m = 1 \times 10^{-2}$$

$$R_m = 6.6/\text{ano} \times 1 \times 1 \times 10^{-2}$$

$$R_m = 6.6 \times 10^{-2}/\text{ano}$$

Cálculo de R_v :

$$R_v = R_v.E + R_v.T$$

$$R_v = [(N_l.E + N_{dj}.E) \times P_v.E \times L_v] + [(N_l.T + N_{dj}.T) \times P_v.T \times L_v]$$

$$N_l = N_g \times A_l \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$$

$$L_l = 1000 \text{ m}$$

$$A_l = 40 \times L_l$$

$$A_l = 40000 \text{ m}^2$$

$$N_g = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano}$$

$$C_i = 1$$

$$C_t = 1$$

$$C_e = 0.1$$

$$NI = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano} \times 40000 \text{ m}^2 \times 1 \times 0.1 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$NI = 3.18 \times 10^{-2}/\text{ano}$$

$$Nd_j = 0/\text{ano}$$

$$P_v = 1$$

$$L_v = r_p \times r_f \times L_f \times ((c_a + c_b + c_c + c_s)/CT)$$

$$r_p = 1$$

$$r_f = 1 \times 10^{-2}$$

$$r_f = 1 \times 10^{-2}$$

$$L_f = 2 \times 10^{-1}$$

$$c_a = 0$$

$$c_b = 4 \times 10^5$$

$$c_c = 0$$

$$c_s = 0$$

$$CT = 4 \times 10^5$$

$$L_v = 1 \times 1 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-1} \times ((0 + 4 \times 10^5 + 0 + 0) / 4 \times 10^5)$$

$$L_v = 2 \times 10^{-3}$$

$$R_v = R_{v.E} + R_{v.T}$$

$$R_v = [(NI.E + Nd_j.E) \times P_{v.E} \times L_v] + [(NI.T + Nd_j.T) \times P_{v.T} \times L_v]$$

$$R_v = 1.27 \times 10^{-4}/\text{ano}$$

Cálculo de R_w :

$$R_w = R_{w.E} + R_{w.T}$$

$$R_w = [(NI.E + Nd_j.E) \times P_{w.E} \times L_w] + [(NI.T + Nd_j.T) \times P_{w.T} \times L_w]$$

$$NI = Ng \times Al \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$$

$$Al = 40 \times LI$$

$$Al = 40000 \text{ m}^2$$

$$Ng = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano}$$

$$C_i = 1$$

$$C_t = 1$$

$$C_e = 0.1$$

$$NI = 7.95/\text{km}^2 \times \text{ano} \times 40000 \text{ m}^2 \times 1 \times 0.1 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$NI = 3.18 \times 10^{-2}/\text{ano}$$

$$Nd_j = 0/\text{ano}$$

$$P_w = 1$$

$$L_w = L_o \times (c_s/CT)$$

$$Lo = 1 \times 10^{-2}$$

$$cs = 0$$

$$CT = 4 \times 10^5$$

$$Lw = 1 \times 10^{-2} * (0 / 4 \times 10^5)$$

$$Lw = 1 \times 10^{-2}$$

$$Rw = Rw.E + Rw.T$$

$$Rw = [(NI.E + Ndj.E) \times Pw.E \times Lw] + [(NI.T + Ndj.T) \times Pw.T \times Lw]$$

$$Rw = 6.36 \times 10^{-4} / \text{ano}$$

Cálculo de Rz:

$$Rz = Rz.E + Rz.T$$

$$Rz = (Ni.E \times Pz.E \times Lz) + (Ni.T \times Pz.T \times Lz)$$

$$NI = Ng \times Ai \times Ci \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$$

$$LI = 1000 \text{ m}$$

$$Ai = 4000 \times LI$$

$$Ai = 4000000 \text{ m}^2$$

$$Ng = 7.95 / \text{km}^2 \times \text{ano}$$

$$Ci = 1$$

$$Ct = 1$$

$$Ce = 0.1$$

$$NI = 7.95 / \text{km}^2 \times \text{ano} * 40000 \text{ m}^2 * 1 * 0.1 * 1 * 10^{-6}$$

$$NI = 3.18 / \text{ano}$$

$$Pz = 1$$

$$Lz = Lo \times (cs / CT)$$

$$Lo = 1 \times 10^{-2}$$

$$cs = 0$$

$$CT = 4 \times 10^5$$

$$Lz = 1 \times 10^{-2} * (0 / 4 \times 10^5)$$

$$Lz = 1 \times 10^{-2} * (0 / 4 \times 10^5)$$

$$Lw = 1 \times 10^{-2}$$

$$Rz = Rz.E + Rz.T$$

$$Rz = (Ni.E \times Pz.E \times Lz) + (Ni.T \times Pz.T \times Lz)$$

$$Rz = 6.36 \times 10^{-2} / \text{ano}$$

Resultado de R4:

$$R4 = 5.42 \times 10^{-6} / \text{ano} + 2.71 \times 10^{-5} / \text{ano} + 6.6 \times 10^{-2} / \text{ano} + 1.27 \times 10^{-4} / \text{ano} +$$

$$6.36 \times 10^{-4}/\text{ano} + 6.36 \times 10^{-2}/\text{ano}$$

$$R_4 = 1.3 \times 10^{-1}/\text{ano}$$

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que os riscos têm um valor relativo de uma possível perda anual. Sendo assim, calculou-se cada possível perda que a cantina da Faculdade AEMS pode ter. Assim, obtiveram-se os resultados dos riscos R_1 e R_4 . Ao se calcular o R_1 (risco de perda de vida humana, incluindo ferimentos permanentes), obteve-se o valor de $5,68 \times 10^{-6}/\text{ano}$, que segundo a Norma regulamentadora NBR 5419 é um valor inferior ao risco tolerável de $10^{-5}/\text{ano}$. Porém, o valor de R_4 (risco de perda de valor econômico) encontrado foi de $1,3 \times 10^{-1}/\text{ano}$, sendo que o risco tolerável é de 10^{-3} . Logo, R_4 é maior que o risco tolerável RT e se faz necessário medidas de proteção contra surto, como os dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

Com esses resultados, chegou-se à conclusão que é necessário a instalação imediata de DPS tipo II nos quadros de distribuição, evitando falhas de sistemas eletroeletrônicos e a possível queima de equipamentos elétricos devido a surtos de tensão elétrica provocadas pelas descargas atmosféricas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais. Norma técnica, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-2: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco. Norma técnica, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3:

Danos físicos a estrutura e perigos à vida. Norma técnica, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-4: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estrutura e perigos à vida. Norma técnica, 2015.

GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICAS (ELAT). Ranking de municípios. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/home-page/menu/noticias/ranking.de.municipios.php>>. Acesso em: 24, abril. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Cartilha de Proteção contra Raios. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/home-page/menu/protecao/cartilha.de.protecao.contra.raios.php>>. Acesso em: 24, jul. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA. Definição. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/home-page/menu/relamp/relampagos/definicao.php>>. Acesso em: 30, mai. 2021.

LIMA, S. Q. de. Aterramento de Antenas de TV em Edificações Residenciais. 2009.

MAMEDE FILHO, J. Instalações elétricas industriais. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SANCHEZ, I. Campo Grande tem “festival no céu” com 359 raios durante tempestade. Campo Grande News, 2017. Disponível em: <<https://www.campo-grandenews.com.br/cidades/capital/campo-grande-tem-festival-no-ceu->

com-359-raios-durante-tempestade>.
Acesso em: 24, abril 2021.

SILVEIRA, F. H. Modelagem para Cálculo de Tensões Induzidas por Descargas Atmosféricas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 268 p., 2006.

SOUSA, A. N. de et al. SPDA - Sistemas

de Proteção contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação. 1ª Edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, 190 p., 2012.

VISACRO FILHO, S. Descargas Atmosféricas: uma abordagem de engenharia. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 268 p., 2005.