

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: ESTUDO DE CASO EM UMA COBERTURA DE IMPLEMENTOS FLORESTAIS

JOÃO PEDRO AGUIAR ARAÚJO DE FIGUEIREDO¹

¹Graduando em Bacharelado em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Viçosa - Av. P. H. Rolfs, s/n, Campus UFV, CEP: 36570-000, Viçosa, MG, Brasil

E-MAILS: joao.p.figueiredo@ufv.br

Resumo — As descargas atmosféricas representam um fenômeno natural e potencialmente perigoso. Em regiões como o Brasil, onde as tempestades são frequentes, os raios podem causar danos significativos e representar riscos à segurança das pessoas equipamentos e estrutura. Diante dessa realidade, torna-se essencial adotar medidas de proteção para minimizar os efeitos prejudiciais dessas descargas. Nesse contexto, o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) desempenha um papel fundamental na proteção contra os impactos das descargas atmosféricas, protegendo a estrutura e seu conteúdo contra danos. Desse modo, este trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de SPDA a ser instalado em uma estrutura de implementos florestais de uma empresa do setor florestal localizada em Capelinha, região norte do estado de Minas Gerais. O estudo aborda detalhes da concepção, dimensionamento e instalação do SPDA na cobertura em questão, destacando sua conformidade com as normas técnicas vigentes, em especial a ABNT NBR 5419:2015.

Palavras-chave – SPDA; Gerenciamento de Risco; ABNT NBR 5419, Dimensionamento, Proteção.

1 Introdução

No cenário contemporâneo, a energia elétrica se estabeleceu como um pilar fundamental impulsionando o funcionamento da sociedade global. Desde a Revolução Industrial até os dias atuais, observamos uma evolução exponencial na demanda e utilização de energia, tornando-se um componente indispensável em todas as esferas da vida humana.

No entanto, o uso disseminado da energia elétrica não está isento de riscos e desafios. A natureza dinâmica e imprevisível da eletricidade expõe sistemas e equipamentos elétricos a uma série de perigos, incluindo curtos-circuitos, surtos de tensão e, particularmente relevante para este estudo, descargas atmosféricas.

Nesse contexto, os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) desempenham um papel crucial na proteção de estruturas, equipamentos e, mais preocupante ainda, à vida humana contra os efeitos potencialmente danosos das descargas atmosféricas. Um SPDA é um sistema projetado para interceptar, conduzir e dissipar a energia das descargas atmosféricas de forma segura e controlada (Visacro, 2005).

Para assegurar um bom projeto e garantir a segurança das estruturas e dos seres vivos, é essencial seguir as normas técnicas estabelecidas. A norma ABNT NBR 5419, atualizada em 2015, que trata de SPDA, trouxe várias alterações com o objetivo de aumentar a segurança das estruturas protegidas e dos seres vivos, além de incluir um maior detalhamento dos fenômenos envolvidos em uma descarga atmosférica. Ela está dividida

em quatro partes, como mostra a Figura 1.

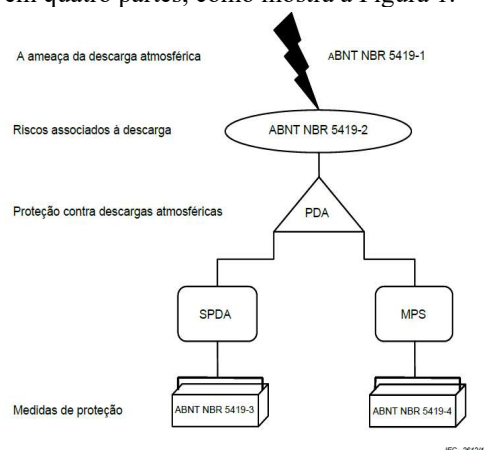


Figura 1 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419. Fonte: ABNT NBR-5419/2015-2

Nessa nova estrutura, a ABNT NBR 5419/2015-1 atua como uma introdução às descargas atmosféricas; a ABNT NBR 5419/2015-2 abrange todo o gerenciamento de risco para verificar a necessidade de se instalar um SPDA, ou então a eficiência de um já instalado; a ABNT NBR 5419/2015-3 engloba todas as especificações necessárias para projetar o sistema; e a ABNT NBR 5419/2015-4 trata da parte interna da estrutura, abordando as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) e DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surtos).

Um SPDA é composto por diversos elementos, cada um desempenhando uma função específica (Visacro, 2005). Os captadores, por exemplo, são elementos metálicos que constituem pontos preferenciais de incidência para as descargas atmosféricas. Já os condutores de distribuição de corrente têm a função de direcionar o fluxo da

corrente de uma eventual descarga para o aterramento elétrico, que, por sua vez, é constituído por eletrodos metálicos enterrados no solo para a dispersão da corrente.

Além disso, existem diferentes métodos de proteção contra descargas atmosféricas que podem ser empregados em um SPDA, cada um com suas características e aplicações específicas. O método eletrogeométrico, também conhecido como método da esfera rolante, se fundamenta na criação de uma esfera imaginária de raio R , com centro na extremidade do captor. Ao rolar essa esfera sobre o solo, cria-se uma zona de proteção na região abaixo da esfera e que não seja tocada pela mesma (Filho, 2017). Para estruturas muito elevadas e com pouco área horizontal, é comumente utilizado o método de Franklin, que consiste em determinar o volume de proteção proporcionado por um cone cujo vértice está na extremidade do captor. De acordo com nível de proteção desejado e pela altura da estrutura, define-se o ângulo de proteção (Filho, 2017). Já o método de Faraday consiste em uma gaiola de condutores que envolvem a estrutura a ser protegida, formando uma blindagem eletrostática. Para esse método, os elementos metálicos da estrutura podem integrar a rede de condutores, sendo complementados e conectados a uma boa malha de aterramento (Creder, 2016).

O objetivo desse trabalho é propor um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas para um galpão de implementos florestais localizado no norte do estado de Minas Gerais, na cidade de Capelinha. Realizando, primeiramente, o gerenciamento de risco para verificar a necessidade de um SPDA, seguindo com a elaboração do projeto do sistema que garantirá a segurança da estrutura e das pessoas. Todas as etapas estão de acordo com NBR-5419/2015.

2 Metodologia

O presente trabalho é um estudo de caso que tem como objetivo realizar o gerenciamento de risco de um galpão de implementos florestais, bem como projetar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas conforme a norma ABNT NBR-5419/2015.

2.1. Gerenciamento de Risco

O ponto inicial de um SPDA é a realização do gerenciamento de risco, a partir dele é possível determinar a necessidade de instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

A identificação das características da estrutura a ser protegida é essencial para o gerenciamento de risco. O galpão de implementos florestais é uma edificação com cobertura e pilares de

aço galvanizado, destinada a abrigar implementos e máquinas florestais, conforme ilustrado na Figura 2. Os implementos, fabricados em aço ou ferro, são equipamentos robustos que não sofrem influência significativa das descargas atmosféricas. Além disso, a empresa opera 24 horas por dia, com um grande fluxo de pessoas, e está localizada em uma área rural.

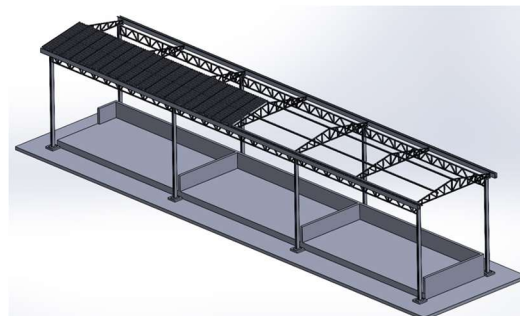


Figura 2 – Projeto da cobertura de implementos
Fonte: Autor próprio

Inicialmente, é necessário compreender os termos essenciais para o desenvolvimento do gerenciamento de risco e assim aplicá-los de acordo com as características da estrutura a ser protegida. A norma define quatro pontos de impacto da descarga atmosférica, chamados fonte de danos, sendo eles:

- S1: descarga atmosférica na estrutura
- S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: descargas atmosféricas na linha;
- S4: descargas atmosféricas perto da linha.

Dessa forma, dependendo do local da descarga, das características da estrutura, sua aplicação, entre outros fatores, os diferentes tipos de danos podem ocorrer:





- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Como consequência desses danos, a norma define os possíveis tipos de perdas:

- L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

A relação entre as fontes dos danos, os tipos de danos e os tipos de perdas, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.
^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-2

Para iniciar o gerenciamento de risco, é necessário determinar o tipo de relação apresentado na Tabela 1 relevante para a estrutura. No estudo de caso em questão, as perdas L1 e L4 foram inicialmente consideradas relevantes para a avaliação da necessidade de proteção. Entretanto, a empresa proprietária do galpão não requisitou uma avaliação econômica. Dessa forma, o tipo de perda L4 deixou de ser considerado relevante para o gerenciamento de risco.

A ABNT NBR-5419-2 define que para cada tipo de perda, existe um risco, que é a probabilidade de ocorrência de danos ou perdas em função das descargas atmosféricas:

- R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- R2: risco de perda de serviço ao público;
- R3: risco de perda de patrimônio cultural;
- R4: risco de perda de valores econômicos.

O risco é composto pela combinação das componentes de risco, que são determinadas pela relação específica entre a fonte de dano e tipo de dano. A norma define quatro componentes de risco:

- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura;
- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura,
- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura;
- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura.

A Tabela 2 demonstra a relação entre as fontes de danos, componentes de risco e os riscos para cada tipo de perda.

Tabela 2 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
R ₁	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R ₂	*	*	*	*	*	*	*	*
R ₃	*	*	*	*	*	*	*	*
R ₄	*b	*	*	*	*b	*	*	*

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.
^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-2

Como foi determinado que L1 é o tipo de perda a ser considerada para o estudo, é necessário então determinar somente o risco R1, composto pelas seguintes componentes de risco:

- R_A: Relativo a ferimentos aos seres vivos, devido a descargas na estrutura;
- R_B: Relativo a danos físicos, devido a descargas na estrutura;
- R_U: Relativo a ferimentos aos seres vivos, devido a descargas diretas nas linhas de energia ou telecomunicações;
- R_V: Relativo a danos físicos, devido a descargas diretas nas linhas de energia ou telecomunicações;

Cada componente de risco pode ser determinada pela equação (1).

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (1)$$

onde

- N_X: é o número de eventos perigosos por ano;
- P_X é a probabilidade de dano à estrutura;
- L_X é a perda consequente;

Dessa forma, as componentes de risco a serem consideradas para o gerenciamento de risco podem ser expressas pelas equações (2) a (5).

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (2)$$

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (3)$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U \quad (4)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (5)$$

Onde os números de eventos perigosos N_D, N_L, N_{DJ} são calculados pelas equações (6), (7) e (8), respectivamente.

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

$$N_L = N_G * A_L * C_1 * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (7)$$

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (8)$$

Onde

- N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);
- A_D é a área de exposição equivalente da estrutura;
- C_D é o fator de localização da estrutura
- A_{DJ} é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente;
- C_{DJ} é o fator de localização da estrutura adjacente;
- N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;
- A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha;
- C_I é o fator de instalação da linha;
- C_T é o fator tipo de linha;
- C_E é o fator ambiental.

A densidade de descargas atmosféricas é obtida pelo mapa da Figura 3, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Já as outras variáveis são obtidas na ABNT NBR-5419-2, de acordo com as características da estrutura e de seu ambiente. Esses valores estão apresentados na Tabela 9, na seção de resultados.

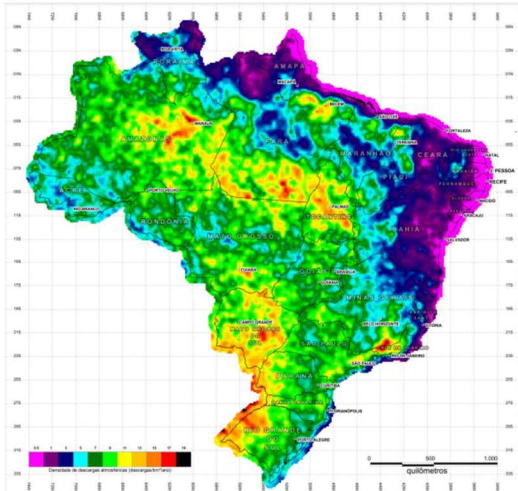


Figura 3 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas.
Fonte: ABNT NBR-5419/2015-2

Além do número de eventos perigosos, as componentes de risco dependem das probabilidades P_A , P_B , P_U e P_V . Essas são calculadas a partir do tipo de proteção existente na estrutura definidos de acordo com as normas ABNT NBR 5419-3 e ABNT NBR 5419-4. P_A é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos e pode ser definida pela relação das medidas de proteção (P_{TA}) com o nível de proteção contra descargas atmosférica

projetado (P_B), de acordo com a equação (9).

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (9)$$

A probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos (P_B) depende do nível de proteção projetado e instalado na estrutura, dessa forma um SPDA é projetado para reduzir a probabilidade P_B .

Seguindo com a definição das probabilidades, tem-se a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico (P_U) e a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos (P_V), definidas pelas equações (10) e (11).

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (10)$$

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (11)$$

As variáveis das equações 10 e 11 são definidas de acordo com as características de proteção da linha e possuem seus valores tabelados na ABNT NBR-5419-2. Para o estudo de caso, seus valores estão definidos na Tabela 9, na seção de resultados.

Para finalizar o cálculo das componentes de risco, é necessário determinar a quantidade de perda causada por uma descarga atmosférica. As perdas consequentes L_A , L_B , L_U , e L_V podem ser calculadas a partir das equações (12) a (15).

$$L_A = r_t * L_T * \frac{n_z}{n_t} * \frac{t_z}{8760} \quad (12)$$

$$L_B = r_p * r_f * h_z * L_F * \frac{n_z}{n_t} * \frac{t_z}{8760} \quad (13)$$

$$L_U = r_t * L_T * \frac{n_z}{n_t} * \frac{t_z}{8760} \quad (14)$$

$$L_V = r_p * r_f * h_z * L_F * \frac{n_z}{n_t} * \frac{t_z}{8760} \quad (15)$$

A razão entre o número de pessoas na zona (n_z) e o número total de pessoas na estrutura (n_t), como também a razão entre as horas por ano que as pessoas estarão presentes na estrutura (t_z) e o valor total de horas por ano, foram consideradas unitárias visando garantir uma análise mais segura. Os valores das outras variáveis são obtidos na ABNT NBR-5419-2, para o presente estudo de caso são apresentados na Tabela 9, na seção de resultados.

A partir da determinação de todas as variáveis, é possível calcular as componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V e com elas determinar o risco R_I pela equação (16).

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (16)$$

De posse do resultado da equação 16, é necessário compará-lo com os riscos toleráveis da Tabela 3, definidos pela ABNT NBR-5419-2.

Tabela 3 – Valores típicos de risco tolerável R_T

	Tipo de perda	R_T (y^{-1})
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-2

Como apresentado, para o estudo de caso em questão o tipo de perda relevante é a perda de vida humana L_1 . Portanto, se o risco calculado R_1 for maior que risco tolerável $R_T = 10^{-5}$ faz-se necessário o projeto e a instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Caso o gerenciamento de risco não aponte a necessidade da instalação do SPDA, o projetista e o cliente podem optar por seguir com o sistema de proteção e assim garantir maior proteção a estrutura e as pessoas.

2.2. Dimensionamento do SPDA

Após realizar o gerenciamento de risco e definir a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, foi escolhido o método de Faraday e estabelecida a classe II para o SPDA. A escolha do método de Faraday se deve ao fato de que a estrutura do galpão, com cobertura e pilares de aço galvanizado, é compatível com este método, que oferece proteção uniforme e eficaz. Além disso, o método é simples de instalar e mantém um bom equilíbrio entre custo e eficácia, especialmente adequado para estruturas grandes como o galpão. A metodologia apresentada nesta seção será, portanto, fundamentada nessas escolhas.

2.2.1. Subsistema de Captação

A ABNT NBR-5419-3 apresenta os valores do tamanho da malha captora de acordo com a classe de SPDA definida para o projeto, como representado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Método de proteção	
		Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção α°
I	20	5 x 5	Ver Figura 1
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-3

Como mencionado anteriormente, foi escolhido o método de Faraday e o SPDA de Classe II. Dessa forma, o máximo afastamento dos

condutores da malha captora será 10 metros. Entretanto, a ABNT NBR-5419-3 considera que o subsistema de captação pode ser composto por componentes naturais da estrutura. Neste estudo de caso, o telhado da cobertura é feito de aço galvanizado com espessura de 0,65mm, o que permite que todo telhado da estrutura possa ser considerado como um captor natural. A Tabela 5, comprova tal afirmação.

Tabela 5 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação

Classe do SPDA	Material	Espessura ^a t mm	Espessura ^b t' mm
I a IV	Chumbo	–	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	–	0,7

^a t previne perfuração, pontos quentes ou ignição.
^b t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-3

2.2.2. Subsistema de Descida

Para dimensionar o número de descidas da malha de descida é necessário dividir o valor do perímetro da estrutura pelo espaçamento de segurança apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe do SPDA

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20

NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-3

Porém, ao analisar a estrutura da cobertura de implementos, percebe-se que é possível utilizar os pilares para fixar os condutores de descida, atendendo o espaçamento de segurança estabelecido pela norma. Além disso, o dimensionamento do condutor de descida segue a orientação da ABNT NBR-5419-3, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-3

2.2.3. Subsistema de Aterramento

Para o subsistema de aterramento, a ABNT NBR-5419-3 especifica que o eletrodo de aterramento em anel deve estar afastado a aproximadamente 1 metro da estrutura e enterrado na profundidade de no mínimo 50 centímetros. O dimensionamento do condutor de cobre do sistema de aterramento é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	-	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	-	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	
	Tubo	20 mm	-	Espessura da parede 2 mm

Fonte: ABNT NBR-5419/2015-3

3 Resultados

3.1. Gerenciamento de Risco

Nesta seção, são apresentados os resultados do gerenciamento de risco para a cobertura de implementos, seguindo todos os passos descritos na Seção 2.1.

O estudo de caso foi desenvolvido para uma cobertura de implementos que será construída em uma área privada de uma empresa florestal, localizada em Capelinha, na região norte de Minas Gerais. A área destinada à construção é representada na Figura 4.



Figura 4 – Área destinada a construção da cobertura
Fonte: Autor próprio

A partir da análise da estrutura da cobertura e do ambiente em que ela está localizada, juntamente com a orientação da ABNT NBR-5419-2, foi possível obter as informações necessárias para o início do gerenciamento de risco. A Tabela 9 apresenta as características gerais da estrutura, bem como todas as considerações descritas na Seção 2.1.

Tabela 9 – Dados da cobertura

CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA E MEIO AMBIENTE				
Parâmetros	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas [km ² /ano]	-	Ng	8,4	Figura 3
Dimensões da estrutura				
Comprimento [m]	-	L	37	-
Largura [m]	-	W	7	-
Altura [m]	-	H	5	-
Fator de Localização	Estr. cercada	CD	0,5	Tabela A.1
Fator de Instalação da Linha	Enterrado	CI	0,5	Tabela A.2
Fator Tipo de Linha	Linha BT	CT	1	Tabela A.3
Fator Ambiental da Linha	Rural	CE	1	Tabela A.4
Proteção Contra Choque	Nenhum	PTA	1	Tabela B.1
SPDA	Nenhum	PB	1	Tabela B.2
Proteção por DPS	Nenhuma	PSPD	1	Tabela B.3
Condições da Linha	Nenhuma	CLD	1	Tabela B.4
Prevenção na Linha	Nenhuma	PTU	0,01	Tabela B.6
Ligação Equipotencial (DPS)	Nenhuma	PEB	1	Tabela B.7
Falha interna por descarga na linha	-	PLD	1	Tabela B.8
D1: Ferimentos	-	LT	0,01	Tabela C.2
D2: Danos Físicos	-	LF	0,02	
Tipo de Piso	Concreto	rt	0,01	Tabela C.3
Proteção contra Incêndio	Providências	rp	0,5	Tabela C.4
Risco de Incêndio	Baixo	rf	0,001	Tabela C.5
Perigo Especial	Nenhum	hz	1	Tabela C.6
nz/nt	Ambas as razões consideradas unitárias para garantir maior segurança	-	1	-
tz/8760		-	1	-

Fonte: Autor próprio

A partir dessa análise e dos valores da Tabela 9, foi possível calcular os números de eventos perigosos (N_x), a probabilidade de dano na estrutura (P_x) e a perda consequente (L_x). Dessa forma, foram calculadas as componentes de risco R_A , R_B , R_C , R_U e R_V , que compõem o risco de perda humana (R_1). A Tabela 10 apresenta os valores dessas variáveis, juntamente com as respectivas equações da Seção 2.1, onde foram demonstradas.

Tabela 10 – Gerenciamento de Risco – Sem SPDA

GERENCIAMENTO DE RISCO – SEM SPDA		
Parâmetros	Valor	Equação
R1	0,29E-05	16
RA	0,0096E-05	2
RB	0,00096E-05	3
RU	0,0168E-05	4
RV	0,168E-05	5
ND	0,0096	6
NL	0,168	7
NDJ	0	8
PA	1	9
PB	1	-
PU	0,01	10
PV	1	11
LA	0,0001	12
LB	0,00001	13
LU	00,0001	14
LV	0,00001	15

Fonte: Autor próprio

Após calcular o risco de perda de vida humana ($R_1 = 0,29 * 10^{-5}$), é necessário compará-lo com o risco tolerável ($R_T = 1 * 10^{-5}$), referente à perda L_1 da Tabela 3. Percebe-se que R_1 é menor que R_T , o que, de acordo com a ABNT NBR-5419-2, indica que a instalação de um sistema de proteção contra descarga atmosférica não é necessária. Entretanto, mesmo após o resultado do gerenciamento de risco, a empresa optou por seguir com o projeto e instalação do SPDA.

Uma vez decidido pela elaboração do SPDA, foi determinado que seria instalado um de classe II. Dessa forma, refazendo o gerenciamento de risco já considerando o SPDA instalado percebe-se a redução do risco de perda de vida humana, pois, de acordo com a ABNT NBR-5419-2 os parâmetros P_B e P_{TA} diminuem, reduzindo assim o valor de R_1 . A Tabela 11 apresenta o resultado do gerenciamento de risco considerando um SPDA classe II instalado.

Tabela 11 – Gerenciamento de Risco – Com SPDA

GERENCIAMENTO DE RISCO – COM SPDA		
Parâmetros	Valor	Equação
R1	0,18E-05	16
RA	0	2
RB	0,00048E-05	3
RU	0,0168E-05	4
RV	0,168E-05	5
ND	0,0096	6
NL	0,168	7
NDJ	0	8
PA	0	9
PB	0,5	-
PU	0,01	10
PV	1	11
PTA	0	-
LA	0,0001	12
LB	0,00001	13
LU	0,0001	14
LV	0,00001	15

Fonte: Autor próprio

Ao refazer os cálculos do gerenciamento de risco, considerando a instalação do SPDA na cobertura, observa-se que alguns parâmetros foram alterados, resultando na diminuição do risco de perda de vida humana (R_1).

3.2. Dimensionamento SPDA

Após a realização do gerenciamento de risco e a determinação da necessidade de instalação do sistema de proteção contra descarga atmosférica Classe II, utilizando o método de Faraday, foi iniciado o projeto das malhas e suas conexões no software AutoCAD.

3.2.1. Subsistema de Captação

Conforme discutido na Seção 2.2.1, o telhado da cobertura, feito de aço galvanizado, já atua como malha captora. Além disso, o subsistema de descida utilizará os pilares da cobertura para fixar os condutores, que serão conectados à malha de aterramento. Na Figura 5, observa-se a vista superior da cobertura de implementos, com condutores de descida instalados nas laterais a cada 12 metros, conectados ao telhado. Também se destaca a malha de aterramento ao redor da estrutura, posicionada a uma distância de 1 metro da mesma.

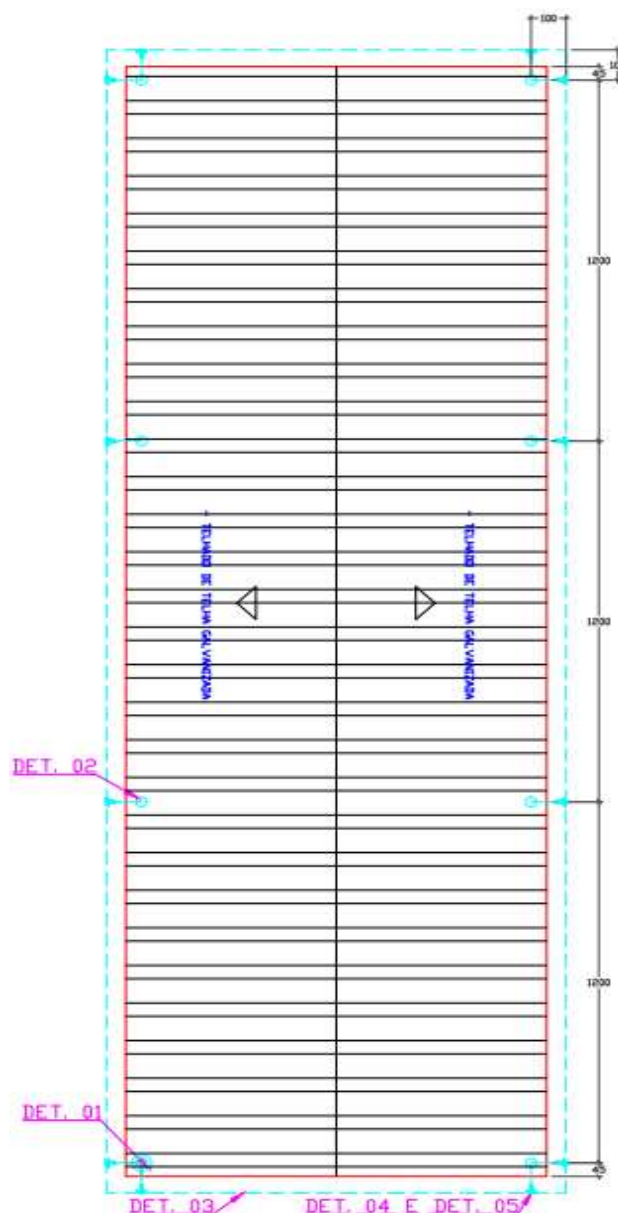


Figura 5 – Vista superior da cobertura de implementos
Fonte: Autor próprio

3.2.2. Subsistema de Descida

A Figura 6 destaca o Detalhe 1, onde é possível visualizar como o subsistema de descida é conectado ao subsistema captor. Além disso, observa-se claramente como o condutor de cobre nu de 35 mm^2 é fixado no pilar da estrutura. Para essa descida em específico, foi projetada uma caixa de inspeção suspensa.

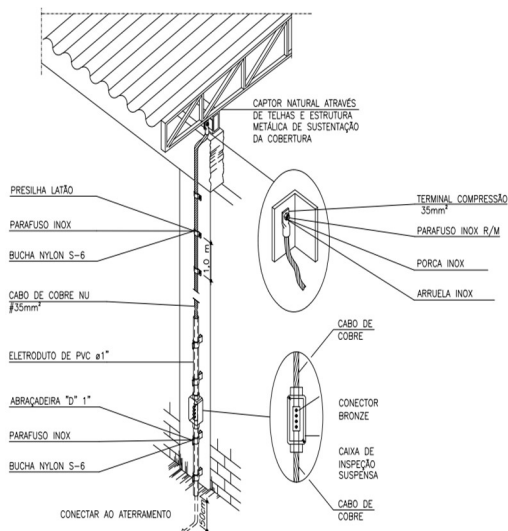


Figura 6 – Detalhe 1
Fonte: Autor próprio

Para todas as outras descidas aparentes, não foi necessário instalar uma caixa de inspeção suspenso, conforme ilustrado na Figura 7.

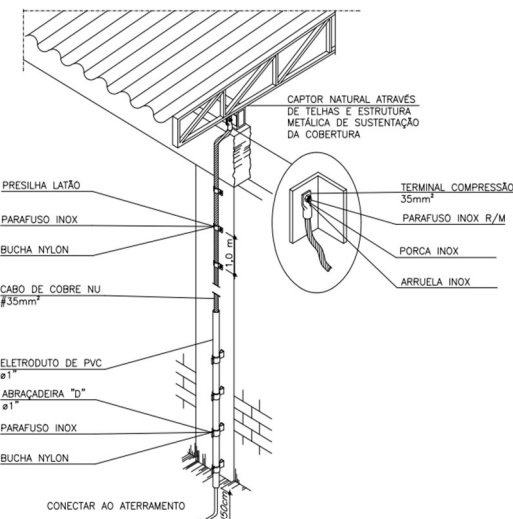


Figura 7 – Detalhe 2
Fonte: Autor próprio

3.2.3. Subsistema de Aterramento

Conforme discutido na Seção 2.2.3, a malha de aterramento deve estar a uma distância de 1 metro da estrutura, e a vala para a passagem do condutor de cobre 50mm² deve ter 0,5 metros de profundidade, conforme Figura 8, que retrata o Detalhe 3.

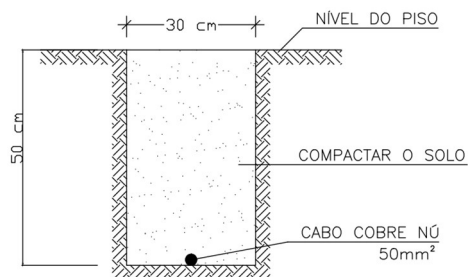


Figura 8 – Detalhe 3
Fonte: Autor próprio

Todas as descidas deverão ser conectadas ao anel de aterramento por meio de uma haste de aterramento, utilizando solda exotérmica para a ligação aos condutores de descida, conforme mostrado na Figura 9. Além disso, pelo menos uma das hastes deve possuir uma caixa de inspeção para permitir a realização de medições, conforme ilustrado na Figura 10.

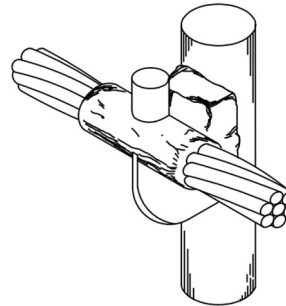


Figura 9 – Detalhe 4
Fonte: Autor próprio

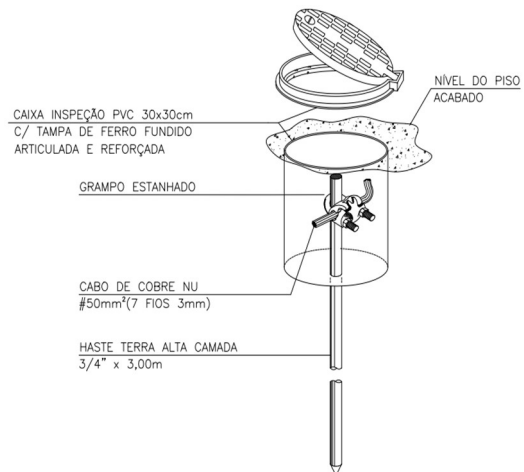


Figura 10 – Detalhe 5
Fonte: Autor próprio

Dessa forma, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas foi devidamente desenvolvido e detalhado, contemplando a integração entre os subsistemas de captação, descida e aterramento, conforme estabelecido pelas normas vigentes.

4 Conclusão

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que o objetivo inicial do trabalho foi alcançado, pois foi possível projetar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) para uma cobertura de implementos florestais. A partir do gerenciamento de risco, verificou-se que a instalação de um SPDA não era obrigatória. No entanto, em uma decisão conjunta entre o projetista e a empresa, optou-se por seguir com o projeto do SPDA. A eficiência do sistema foi comprovada por meio de um novo gerenciamento de risco, que indicou uma redução de

aproximadamente 40% no risco de perda de vida humana, garantindo assim a proteção da estrutura e das pessoas.

A correta elaboração de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, seguindo fielmente as normas vigentes, é de extrema importância para garantir a segurança das construções, dos equipamentos e, principalmente, das pessoas. Este estudo de caso buscou, desde sua concepção até a finalização do projeto, atender a esses critérios rigorosos.

No entanto, é importante destacar que o projeto ainda precisa ser instalado para que possa cumprir sua função de proteção de forma efetiva. A implementação do SPDA deverá ser realizada conforme os detalhes técnicos e recomendações estabelecidas neste trabalho, assegurando que todos os elementos estejam devidamente conectados e que o sistema funcione corretamente.

Referências

ABNT NBR 5419-1. Proteção contra descargas atmosféricas: parte 1: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015a.

ABNT NBR 5419-2. Proteção contra descargas atmosféricas: parte 2: gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015b.

ABNT NBR 5419-3. Proteção contra descargas atmosféricas: parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015c.

AUTODESK. AutoCAD. Versão 2024. Autodesk, 2024.

CREDER, H. Instalações Elétricas. 16ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

FILHO, J. M. Instalações Elétricas Industriais. 9ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

INPE. Grupo de eletricidade atmosférica. São José dos Campos, 2023. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em: fev. 2023.

VISACRO FILHO, S. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. São Paulo: Artliber, 2005.