



**EBOOK
BRCLIGHTNING**

**Fundamentos da Proteção contra
Descargas Atmosféricas Contra
(NBR 5419, literatura e normas correlatas)**

volume 1

BRC Lightning

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

Um material da

BRC  *Lightning*

BRCLightning

SUMÁRIO

1. Introdução	05
2. Conceitos Fundamentais	06
2.1. Aspectos do Ambiente Elétrico do Planeta	07
2.1.1. Eletrificação Natural da Atmosfera	07
2.1.2. Formação das Nuvens de Tempestade	07
2.1.3. Processo de Eletrificação das Nuvens	08
2.1.4. Estrutura Elétrica Interna da Nuvem	08
2.1.5. Etapas Fundamentais do Estabelecimento da Descarga Atmosférica	09
2.1.5.1. Indução de Cargas e Formação do Campo Elétrico	10
2.1.5.2. Ionização do Ar e Rigidez Dielétrica	10
2.1.5.3. Formação do canal de descarga	10
2.1.5.4. Estabelecimento do Canal Principal	11
2.1.5.5. Exemplo: Descargas em Aeronaves	11
2.1.6. Tipos de Descargas Atmosféricas	12
2.1.6.1. Descargas Negativas	12
2.1.6.1.1. Descargas Negativas Subsequentes	13
2.1.6.2. Descarga Positiva	15
2.1.6.3. Descarga Bipolar	16
2.1.6.4. Sprites e Outros Fenômenos Luminosos Transitórios (TLEs)	17
2.1.6.5. Tipos de Descarga - De Acordo com o Trajeto do Canal	18
2.1.6.5.1. Intra-nuvem (IC):	18
2.1.6.5.2. Inter-nuvem (CC):	18
2.1.6.5.3. Nuvem-solo (CG):	19
2.1.6.5.4. Nuvem-atmosfera:	21
2.1.6.5.5. Nuvem-estratosfera:	21
2.2. Considerações Finais do Capítulo 2	21
3. Princípios Gerais da Proteção contra Descargas Atmosféricas (Visão Conceitual)	22
3.1. Finalidade da Proteção	23
3.2. Procedimento para Seleção de Medidas de Proteção	23
3.2.1. Identificação da Estrutura e Suas Características (Passo a):	23
3.2.2. Identificação dos Tipos de Danos e Riscos (Passo b):	24
3.2.3. Avaliação e Comparação do Risco (Passo c):	24
3.2.4. Seleção de Medidas de Proteção (Passo d):	24
3.2.5. Escolha das Medidas Mais Adequadas (Passo e):	24

BRC Lightning

3.2.6. Medidas de Proteção	24
3.2.6.1. Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA):	25
3.2.6.2. Níveis de Proteção (Classes I a IV):	26
3.3. Normas e Aplicabilidade	27
3.4. Considerações Finais sobre os Subsistemas	29
4. Modelos e Métodos de Dimensionamento (Visão Geral)	30
4.1. Modelo Eletrogeométrico (EGM)	31
4.1.1. Raio de Atração	33
4.2. Considerações Finais	34
5. Benefícios do Uso de Tecnologias Digitais no Dimensionamento de SPDA	35
5.1. Relevância da Aplicação Digital nas Soluções de Proteção	36
5.2. Limitações dos Métodos Convencionais	36
5.3. Oportunidades com Tecnologias Digitais em Nuvem	36
5.4. Mobilidade e Disponibilidade: SPDA na Palma da Mão	36
5.5. Estrutura Técnica com Visão Global	37
5.6. Ganhos Operacionais e Econômicos	37
5.7. Inovação Frente à Concorrência	37
5.8. Proposta de visualização 3D desde a fase conceitual	37
5.9. Considerações Finais – Inovação como Base para a Proteção Moderna	38
5.10. Encerramento – Da Base Tecnológica às Funcionalidades Avançadas	38
6. BRCLIGHTNING: Tecnologia Nacional com Impacto Global em Engenharia de Proteção	39
6.1. Fundamentos Técnicos Consolidados	40
6.2. Consolidação Técnica e Diferenciais da Plataforma	41
6.3. Validação Científica e Tecnológica	41
6.4. Funcionalidades da Plataforma BRCLIGHTNING	42
6.4.1. Método da Esfera Rolante	42
6.4.1.1. Dimensionamento de captor isolado	42
6.4.1.2. Verificação da proteção de uma estrutura existente	42
6.4.1.3. Avaliação de proteção por plano imaginário horizontal	42
6.4.1.4. Dimensionamento de captores paralelos	42
6.4.1.5. Módulo de materiais	42
6.4.2. Método do Ângulo (em migração)	43
6.4.2.1. Dimensionamento de captor com cálculo de ângulo de proteção	43
6.4.2.2. Cálculo da altura ou distância protegida	43

BRCLightning

6.5. Aplicabilidade em instalações com áreas perigosas/explosivas	43
6.5.1. Cálculo de Verificação de Limites - Rev A	43
6.6. Estudo de Caso –Entendendo as Diferenças entre os Métodos do Ângulo e da Esfera Rolante	46
6.6.1. Resultados Obtidos com o Método do Ângulo	46
6.6.2. Resultados Obtidos com o Método do Ângulo e da Esfera Rolante	49
6.6.3. Conclusão	49
6.7. Encerramento do Capítulo 6 e Introdução ao Capítulo 7	50
7. Encerramento do Volume 1 e Conexão com os Próximos Títulos da Série	51
7.1. Continuação: Volume 2 – Princípios Fundamentais da Proteção	52
7.2. Série BRCLIGHTNING — Engenharia Aplicada à Proteção contra Descargas Atmosféricas	53
7.2.1. Próximos Volumes:	53
7.3. Epílogo: Conexão entre Conceito e Prática	53
7.4. Acesse a Plataforma e Cadastre-se	54
8. Referências Bibliográficas	55
9. Anexos	57
9.1. ANEXO 1 - Imagem do Relatório da Figura 24	57

1. INTRODUÇÃO

A BRCLIGHTNING nasceu da prática. Atuando na análise de estações atingidas por raios e com prejuízos altos, percebi que os métodos tradicionais não davam respostas rápidas nem seguras. Exigiam esforço gráfico excessivo e ajustes por tentativa e erro. Diante dessa limitação, desenvolvi uma metodologia matemática própria. Hoje, ela se materializa em uma plataforma que alia experiência de campo à precisão técnica, ajudando engenheiros a projetar com confiança e segurança.

Este Volume 1 inaugura a série de eBooks BRCLIGHTNING com o propósito de oferecer uma introdução clara e acessível ao universo da proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Combinando fundamentos teóricos, diretrizes normativas e aplicações práticas na plataforma BRCLIGHTNING, o material visa apoiar profissionais e estudantes na construção de uma compreensão sólida e atualizada do tema.

Num cenário em que as instalações se tornam cada vez mais complexas e as normas mais exigentes, torna-se essencial uma abordagem técnica bem fundamentada, padronizada e documentada. Este volume adota uma metodologia progressiva: parte de uma explicação simplificada dos fenômenos físicos associados às descargas, avança pela quantificação de parâmetros relevantes e culmina na aplicação prática dos métodos de proteção.

Mais do que apresentar recomendações normativas, esta obra propõe uma leitura integrada de engenharia, na qual os princípios das práticas de proteção são justificados a partir da compreensão dos fenômenos físicos envolvidos. Ao longo da série, serão apresentados casos reais, validações normativas nacionais e internacionais, bem como excertos de artigos técnicos publicados em congressos e livros — nacionais e internacionais — sobre o tema, conforme a bibliografia utilizada neste e nos demais volumes.

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1. Aspectos do Ambiente Elétrico do Planeta

Distribuição de cargas, estrutura de nuvens e fundamentos para a formação de descargas atmosféricas

2.1.1. Eletrificação Natural da Atmosfera

Mesmo em condições de tempo bom, o planeta apresenta uma fraca, porém constante, eletrificação atmosférica. Esse fenômeno resulta de um carregamento negativo do solo e um carregamento positivo do ar, originando um campo elétrico vertical médio da ordem de 100 V/m próximo à superfície (ver **Figura 1**).

Essa configuração se mantém graças a fontes naturais de campo elétrico, que compensam as perdas de carga associadas à condutividade limitada do ar atmosférico. Em sua ausência, esse campo seria neutralizado em poucas horas [1].

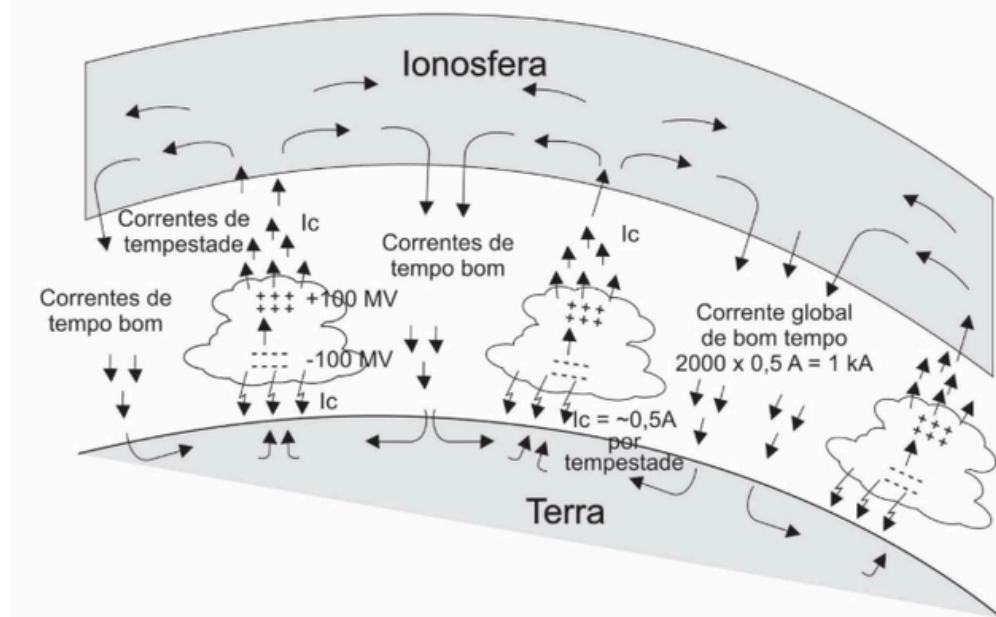


Figura 1 - Circuito Elétrico Global – Baseada no Livro Descargas atmosféricas uma abordagem de engenharia, Visacro Filho, Silvério – 2005 [1]

2.1.2. Formação das Nuvens de Tempestade

As nuvens do tipo “Cumulonimbus”, responsáveis pelas tempestades mais intensas, formam-se por meio do choque entre [1, 2, 3]:

- Correntes ascendentes de ar quente e úmido;
- Frentes frias descendentes, associadas a camadas superiores da atmosfera.

Essas nuvens apresentam grandes dimensões:

- Diâmetro típico: ~10 km;
- Altitude da base: de 1 a 3 km em regiões temperadas e até 3 km no equador;
- Altitude do topo: até 20 km;
- Faixa de temperatura: de ~20 °C (base) a -50 °C (topo);
- Pressão atmosférica: de 1 até 0,25 atm.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.3. Processo de Eletrificação das Nuvens

A eletrificação interna da nuvem decorre de uma complexa interação entre partículas em suspensão e em precipitação (água, gelo, granizo), influenciada por movimentos verticais do ar, convecção, efeitos gravitacionais e trocas térmicas - **ver Figura [1, 2, 3]**.

A separação de cargas ocorre em duas escalas distintas:

Microscópica:

- Colisões entre partículas;
- Separação de cargas por atrito;
- Criação e captura de íons;
- Recombinação de cargas.

Macroscópica:

- Formação de uma camada negativa na base da nuvem;
- Volume de cargas positivas disperso na parte superior;
- Papel crucial da baixa condutividade do ar na manutenção da separação.

2.1.4. Estrutura Elétrica Interna da Nuvem

A distribuição típica de cargas é representada por (**ver Figura 3**):

Base da nuvem:

- Camada de cargas negativas;
- Altitude entre 6 e 8 km (verão) ou 1 a 3 km (inverno);
- Temperatura entre -10 °C e -20 °C.

Região superior:

- Volume difuso de cargas positivas
- Altitudes onde a temperatura é inferior a -25 °C

Região inferior (abaixo da camada negativa):

- Pequenos bolsões de carga positiva podem estar presentes

Essa configuração gera campos elétricos extremamente intensos e diferenças de potencial superiores a 200 megavolts (MV) entre os centros de carga positiva e negativa [3].

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

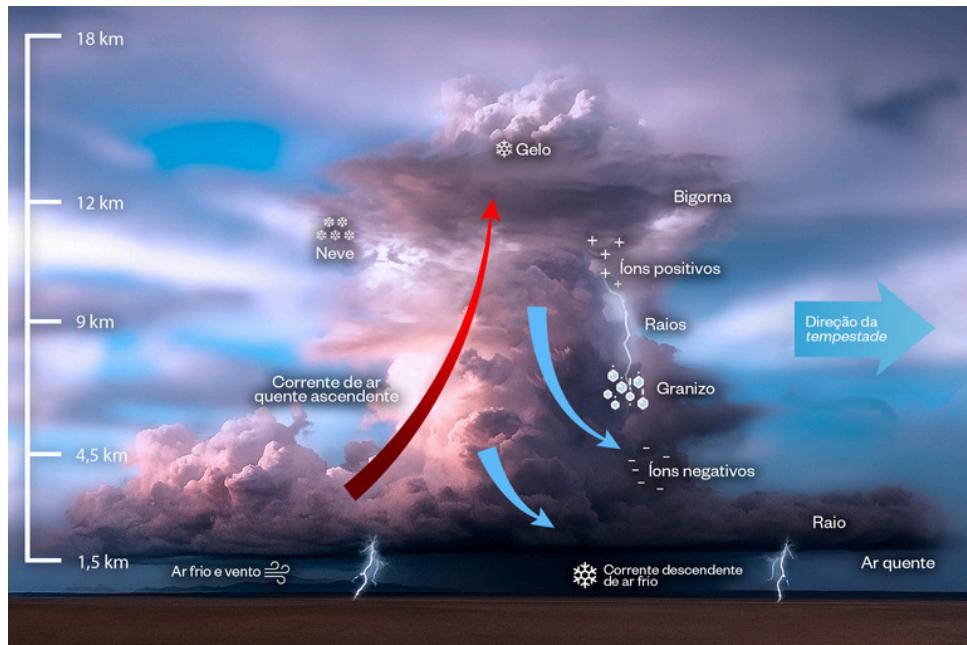


Figura 2 - Diagrama esquemático de formação de nuvem de tempestade (Fonte INPE/ELAT)

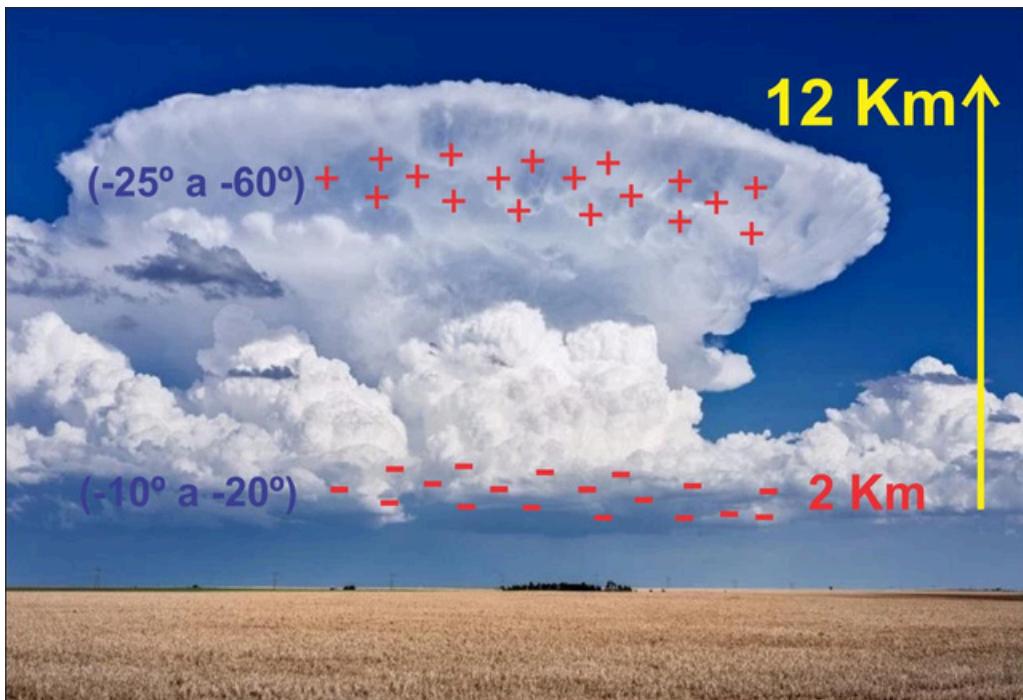


Figura 3 – Distribuição típica de cargas elétricas em uma nuvem de tempestade

2.1.5. Etapas Fundamentais do Estabelecimento da Descarga Atmosférica

As descargas atmosféricas (raios) constituem fenômenos naturais de alta energia, decorrentes do acúmulo de cargas elétricas em atmosferas densamente ocupadas por nuvens de tempestade (ver **item 2.1.4**). O processo de sua formação envolve diversas etapas físicas interligadas [1, 2, 3].

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.5.1. Indução de Cargas e Formação do Campo Elétrico

O acúmulo de cargas negativas na base da nuvem induz cargas positivas na superfície terrestre abaixo, criando um campo elétrico intenso entre nuvem e solo. Esse campo cresce conforme o acúmulo de cargas e pode atingir dezenas a centenas de megavolts (MV), conforme ilustrado na **Figura 4** [1].

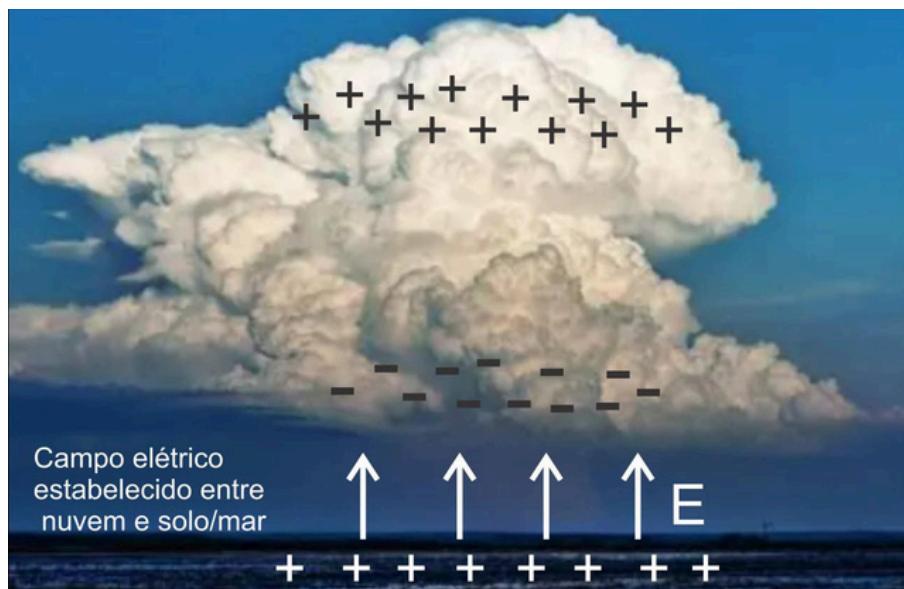


Figura 4 – Representação do campo elétrico induzido entre uma nuvem de tempestade e a superfície terrestre.

2.1.5.2. Ionização do Ar e Rigidez Dielétrica

Quando o campo elétrico excede a rigidez dielétrica do ar (aproximadamente 3 MV/m), inicia-se o processo de ionização: elétrons são arrancados de suas órbitas, e o ar se torna condutor. Esse fenômeno é descrito pelo Mecanismo de Townsend, característico de meios gasosos submetidos a campos intensos [1, 2, 3].

2.1.5.3. Formação do canal de descarga

O processo de formação do canal condutor se desenvolve, de forma característica, segundo a seguinte sequência de etapas básicas [1, 2, 3]:

- Campo elétrico se intensifica;
- Objeto condutor se polariza;
- O campo se intensifica nas pontas ou em regiões específicas da superfície terrestre — especialmente aquelas situadas sob a base da nuvem carregada negativamente ou sob regiões de carga positiva (como os topes de elevações). Nesses pontos, a rigidez dielétrica do ar é mais facilmente vencida, tornando possível a formação de descargas ascendentes, que podem dar origem às descargas positivas (**ver item 2.1.5.4**);
- O ar se ioniza e forma o canal condutor.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.5.4. Estabelecimento do Canal Principal

O canal ionizado, conhecido como líder descendente, se propaga em etapas (“steps”) rumo ao solo, percorrendo trajetórias ramificadas ao longo de vários quilômetros. Quando esse líder encontra um canal ascendente — originado de estruturas condutoras no solo ou diretamente da superfície terrestre — forma-se a conexão elétrica que permite a ocorrência da descarga principal: a corrente de retorno [1, 2, 3].

Essa corrente é responsável por uma intensa liberação de energia, acompanhada de efeitos eletromagnéticos, térmicos, luminosos e sonoros. A **Figura 5** ilustra, de forma representativa, essa sequência de etapas físicas que culminam na ocorrência de uma descarga atmosférica [1, 2]:



Figura 5 - Etapas do processo formação de uma descarga atmosférica: Sequência representativa dos fenômenos físicos associados à ocorrência de um raio: (a) Pulsos iniciais no interior da nuvem, resultantes de processos dielétricos disruptivos; (b) Propagação escalonada do líder descendente, acompanhada da formação de líderes ascendentes, resultando em um canal ionizado por onde a descarga atmosférica ocorrerá; e (c) condução da corrente de retorno, acompanhada de intensa emissão eletromagnética e efeitos térmicos, luminosos e sonoros.

2.1.5.5. Exemplo: Descargas em Aeronaves

Aeronaves em voo também podem ser atingidas por descargas atmosféricas. Nesses casos, a corrente geralmente entra por uma parte da fuselagem e sai por outra, evidenciando o percurso da corrente pela estrutura. Estima-se que cada aeronave comercial seja atingida por raios ao menos duas vezes por ano. No entanto, a blindagem eletromagnética protege os sistemas, permitindo que a corrente se dissipe com segurança pela fuselagem, sem causar danos significativos (ver **Figura 6**).

Aeronaves em solo também são suscetíveis. Por isso, é fundamental conectá-las a sistemas de aterramento de baixa impedância, principalmente durante o reabastecimento, para prevenir descargas parciais por acúmulo de carga estática (ver **Figura 7** – poder das pontas).

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS



Figura 6 – Aeronave atingida por descarga atmosférica após decolar de Amesterdão



Figura 7 – Descarga atmosférica atinge aeronave estacionada no aeroporto de Guarulhos durante tempestade.

2.1.6. Tipos de Descargas Atmosféricas

As descargas atmosféricas não se manifestam de forma única. Existem variações significativas quanto à polaridade, direção e características físicas associadas a cada tipo de raio. Embora a forma mais comum seja o raio de polaridade negativa, outros tipos — como os de polaridade positiva, as descargas bipolares e os fenômenos de alta altitude, como os sprites — também desempenham papéis relevantes na compreensão dos mecanismos elétricos da atmosfera [1, 2, 3].

A seguir, são apresentados os principais tipos de descargas atmosféricas, com destaque para suas origens, direções de propagação, efeitos associados e frequência de ocorrência.

2.1.6.1. Descargas Negativas

As descargas de polaridade negativa são as mais comuns. Nesse tipo, cargas negativas acumuladas na base da nuvem se deslocam em direção ao solo. O processo geralmente se inicia com a propagação de um líder descendente negativo em etapas (**stepped leader**), que estabelece um canal ionizado até encontrar um líder ascendente positivo proveniente do solo ou de estruturas elevadas (ver **item 2.1.5.4**). A conexão entre os canais permite a passagem da corrente de retorno, responsável pela intensa emissão de luz e energia térmica. Estima-se que cerca de 90% das descargas nuvem-solo seja desse tipo. Elas se caracterizam por ter suas ramificações laterais apontadas para o solo, o que facilita a sua identificação visual, como apresentado na **Figura 8** [1, 2, 3].

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS



Figura 8 – Representação de uma descarga atmosférica negativa, na qual as cargas elétricas se originam da base da nuvem e os ramos laterais do canal condutor se dirigem ao solo.

2.1.6.1.1. Descargas Negativas Subsequentes

Após a primeira descarga, outros centros de carga negativa na nuvem podem alimentar o canal previamente ionizado. Isso resulta em descargas subsequentes, que [1, 2, 3]:

- Ocorrem através do mesmo canal;
- São precedidas por uma corrente de recarregamento (dart leader current);
- Apresentam maior intensidade e frente de onda mais rápida do que a descarga inicial;
- Podem se repetir várias vezes (até mais de 20 eventos).

Em geral, a(s) descarga(s) de retorno (return stroke) subsequente(s) é(são) considerada(s) o pior caso para os cálculos de tensão induzida em edifícios, devido ao alto valor da derivada temporal [4-5]. No entanto, estudos indicam [4, 5] que tanto o primeiro impulso negativo (First Stroke – FS) quanto os impulsos subsequentes (Subsequent Stroke – SS) têm alta probabilidade de romper o isolamento e provocar centelhamentos perigosos.

A seguir, são apresentados os principais parâmetros comparativos entre o primeiro impulso (FS) e os subsequentes (SS), evidenciando suas implicações na indução de sobretensões e no desempenho dos sistemas de isolamento [6, 7]:

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Tabela 1 - Parâmetros Característicos dos Diferentes Tipos de Impulso Utilizados Nas Normas NBR 5419-1 e IEC 62305-1

Parâmetros	Primeiro Impulso Positivo			Primeiro Impulso Negativo			Impulso negativo subsequente		
	NP			NP			NP		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I(kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,983	0,983	0,983
T₁(μs)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
T₂(μs)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

Após a primeira descarga, outros centros de carga negativa na nuvem podem alimentar o canal previamente ionizado. Isso resulta em descargas subsequentes, que [1, 2, 3]:

- Ocorrem através do mesmo canal;
- São precedidas por uma corrente de recarregamento (dart leader current);
- Apresentam maior intensidade e frente de onda mais rápida do que a descarga inicial;
- Podem se repetir várias vezes (até mais de 20 eventos).

Em geral, a(s) descarga(s) de retorno (return stroke) subsequente(s) é(são) considerada(s) o pior caso para os cálculos de tensão induzida em edifícios, devido ao alto valor da derivada temporal [4-5]. No entanto, estudos indicam [4, 5] que tanto o primeiro impulso negativo (First Stroke – FS) quanto os impulsos subsequentes (Subsequent Stroke – SS) têm alta probabilidade de romper o isolamento e provocar centelhamentos perigosos.

A seguir, são apresentados os principais parâmetros comparativos entre o primeiro impulso (FS) e os subsequentes (SS), evidenciando suas implicações na indução de sobretensões e no desempenho dos sistemas de isolamento [6, 7]:

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Tabela 1 apresenta os valores de referência para o primeiro impulso positivo, o primeiro impulso negativo e os impulsos negativos subsequentes, utilizados na representação das formas de onda das descargas atmosféricas. Um dos parâmetros mais relevantes é o T_1 , que define a frente de onda. O tempo de subida da frente de onda do impulso subsequente negativo corresponde a **2,4%** do tempo de subida do primeiro impulso positivo e a **24,9%** do tempo de subida do primeiro impulso negativo, o que evidencia a elevada derivada temporal dos impulsos subsequentes – fator crítico na avaliação das tensões induzidas em sistemas elétricos e estruturas.

Aspectos mais detalhados relacionados às formas de onda e aos efeitos eletromagnéticos induzidos serão aprofundados no **Volume 2 – Princípios Fundamentais da Proteção e no Volume 5 – Impulsos Eletromagnéticos e EMC**.

2.1.6.2. Descarga Positiva

Embora menos frequentes que as descargas negativas, as descargas atmosféricas de polaridade positiva podem ocorrer sob condições específicas, quando a parte superior da nuvem — carregada positivamente — se desloca ou se deforma, expondo essa região ao solo [1, 2, 3].

Essa configuração favorece o estabelecimento de descargas positivas, que tendem a se conectar a pontos proeminentes do relevo, como cumes de montanhas, torres ou estruturas muito altas.

As descargas positivas são especialmente relevantes do ponto de vista da proteção, pois carregam maior energia e apresentam maior potencial de causar danos estruturais e a sistemas eletrônicos sensíveis.



Figura 9 – Descarga atmosférica positiva com ramificações laterais ascendentes, característica do canal principal partindo do solo em direção à região superior da nuvem

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.6.3. Descarga Bipolar

Em raras situações, registros de corrente de descargas atmosféricas revelam um comportamento incomum, no qual a forma de onda apresenta uma inversão de polaridade ao longo do tempo. Esse fenômeno, conhecido como descarga bipolar, caracteriza-se inicialmente por um pulso de corrente negativa, semelhante ao observado em descargas negativas típicas. No entanto, após o pico e o subsequente declínio dessa corrente, surge um segundo pulso — desta vez positivo — fluindo no mesmo canal [1, 8, 9, 10].

A explicação mais aceita para esse comportamento envolve a interação entre diferentes centros de carga dentro da nuvem. A hipótese é que, após a descarga negativa alcançar o solo, a extremidade superior do canal ainda ativo se conecta a uma região da nuvem com carga positiva. Essa conexão permite que a carga positiva também se descarregue pelo mesmo canal previamente estabelecido até o solo, invertendo assim o sentido da corrente.

Embora visualmente complexa e de ocorrência pouco frequente, a descarga bipolar chama atenção por evidenciar a dinâmica intrincada entre os centros de carga nas nuvens. A **Figura 10** ilustra esse comportamento por meio da representação de uma forma de onda típica de descarga bipolar, evidenciando a inversão de polaridade ao longo do tempo [1].

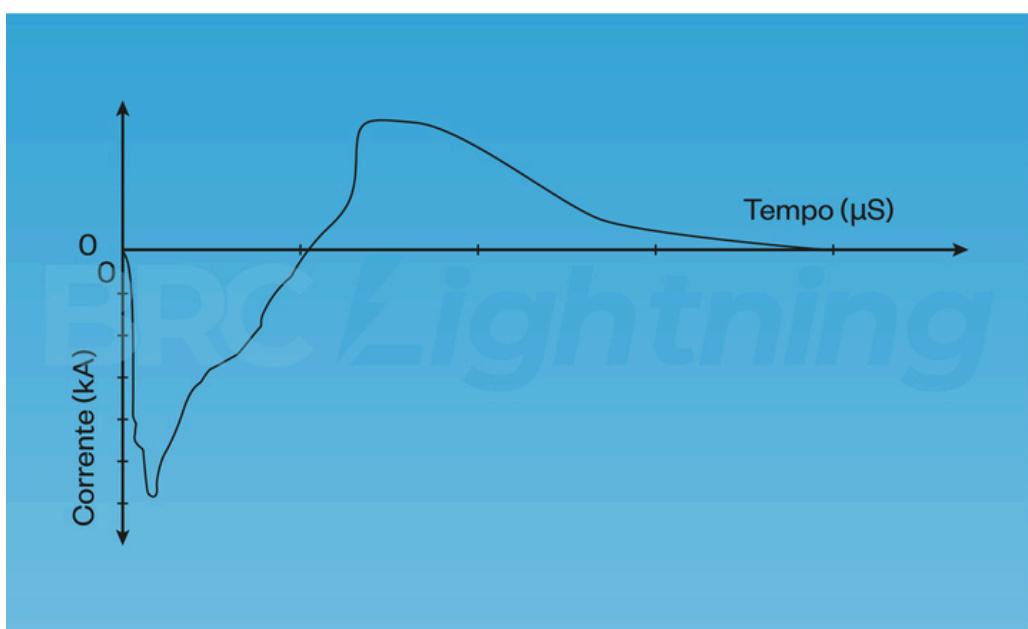


Figura 10 – Forma de onda de uma descarga bipolar.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Tabela 2 - Valores Típicos da Forma de Onda para Descarga Bipolar (Exemplo Baseado Em Estudos Clássicos):

Parâmetro	Valor Aproximado
Duração de pulso negativo	20 a 50 µs
Pico de corrente negativa	10 a 50 kA
Duração de pulso positivo	10 a 40 µs
Pico de corrente positiva	5 a 30 kA
Intervalo entre pulsos	10 a 100 µs

Contexto:

- O pulso negativo inicial se assemelha a uma descarga negativa comum, mas com duração e pico variados.
- O pulso positivo subsequente aparece após um intervalo curto e pode ter amplitude e duração menores, embora ainda significativos.
- Essas medidas são médias e podem variar com o tipo de nuvem, condições atmosféricas e equipamento de medição.

2.1.6.4. Sprites e Outros Fenômenos Luminosos Transitórios (TLEs)

Sprites são eventos luminosos transitórios (TLEs) que aparecem brevemente acima das nuvens de tempestade, geralmente ligados a relâmpagos positivos que geram fortes campos elétricos na atmosfera superior. Por serem efêmeros e ocorrerem em altitudes elevadas, raramente são vistos da superfície [3].



Figura 11 – Imagem de um sprite capturada pela astronauta Nichole Ayers, mostrando um flash luminoso vermelho acima de nuvens de tempestade.

A astronauta da NASA Nichole “Vapor” Ayers capturou uma imagem rara desses fenômenos durante sua órbita sobre México e EUA, oferecendo uma visão direta da interação entre tempestades e a alta atmosfera.

Além dos sprites, outros TLEs como ELVES, jatos azuis e GHOSTS também iluminam as camadas superiores do céu, ainda pouco compreendidas pela ciência.

A **Figura 11** apresenta a imagem capturada pela astronauta, mostrando a beleza e o mistério desses eventos luminosos transitórios.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.6.5. Tipos de Descarga - De Acordo com o Trajeto do Canal

As descargas atmosféricas podem ser classificadas conforme os centros de carga envolvidos na conexão [2]:

2.1.6.5.1. Intra-nuvem (IC):

Ocorrem dentro da própria nuvem, conectando regiões com cargas opostas. São as mais frequentes em todo o planeta e, embora visíveis, seus efeitos na superfície terrestre são mínimos, limitando-se à emissão de pulsos eletromagnéticos que podem ser detectados por sensores remotos (ver **Figura 12**).

Figura 12 – Descarga intra-nuvem (IC) com emissão de pulso eletromagnético.



2.1.6.5.2. Intra-nuvem (CC):

Conectam cargas entre duas nuvens distintas, podendo envolver múltiplas formações em eventos tempestuosos intensos. Embora menos comuns que as intra-nuvem e nuvem-solo, representam cerca de 10% a 20% das ocorrências, e podem induzir efeitos eletromagnéticos em estruturas sensíveis quando muito intensas. A **Figura 13** ilustra esse tipo de descarga, com canais luminosos se estendendo entre diferentes nuvens.



Figura 13 – Descarga inter-nuvem com ramificações entre múltiplas nuvens durante tempestade intensa.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.6.5.3. Nuvem-solo (CG):

As descargas nuvem-solo (CG – Cloud-to-Ground) correspondem a aproximadamente 25% do total das descargas atmosféricas e são as principais responsáveis pelos impactos diretos na superfície terrestre. Essas descargas podem ocorrer por meio de um único canal ou múltiplos canais simultâneos, como ilustrado na **Figura 14**. A corrente de retorno que percorre esses canais é o principal fenômeno responsável pelos efeitos elétricos e térmicos que podem causar danos a estruturas, equipamentos e representar riscos à vida humana [1, 2, 3].

Estima-se que, anualmente, ocorram cerca de 2,23 bilhões de descargas nuvem-solo no mundo, conforme apresentado na **Figura 15** ([Vaisala Xweather Annual Lightning Report 2024](#)) [11]. No Brasil, registram-se aproximadamente 78 milhões desses eventos por ano (ver **Figura 16**) [3], o que posiciona o país como líder mundial em incidência desse tipo de fenômeno. De acordo com o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT/INPE), projeções climáticas indicam que, entre os anos de 2081 e 2100 [2,16], esse número pode alcançar a marca dos 100 milhões de raios por ano no território nacional.

Devido à sua alta frequência e aos efeitos potencialmente danosos, as descargas nuvem-solo constituem o foco central das análises de risco e do dimensionamento de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).



Figura 14 – Descargas nuvem-solo com canal único (a) e múltiplos canais (b), responsáveis pela maior parte dos impactos diretos na superfície.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Global lightning

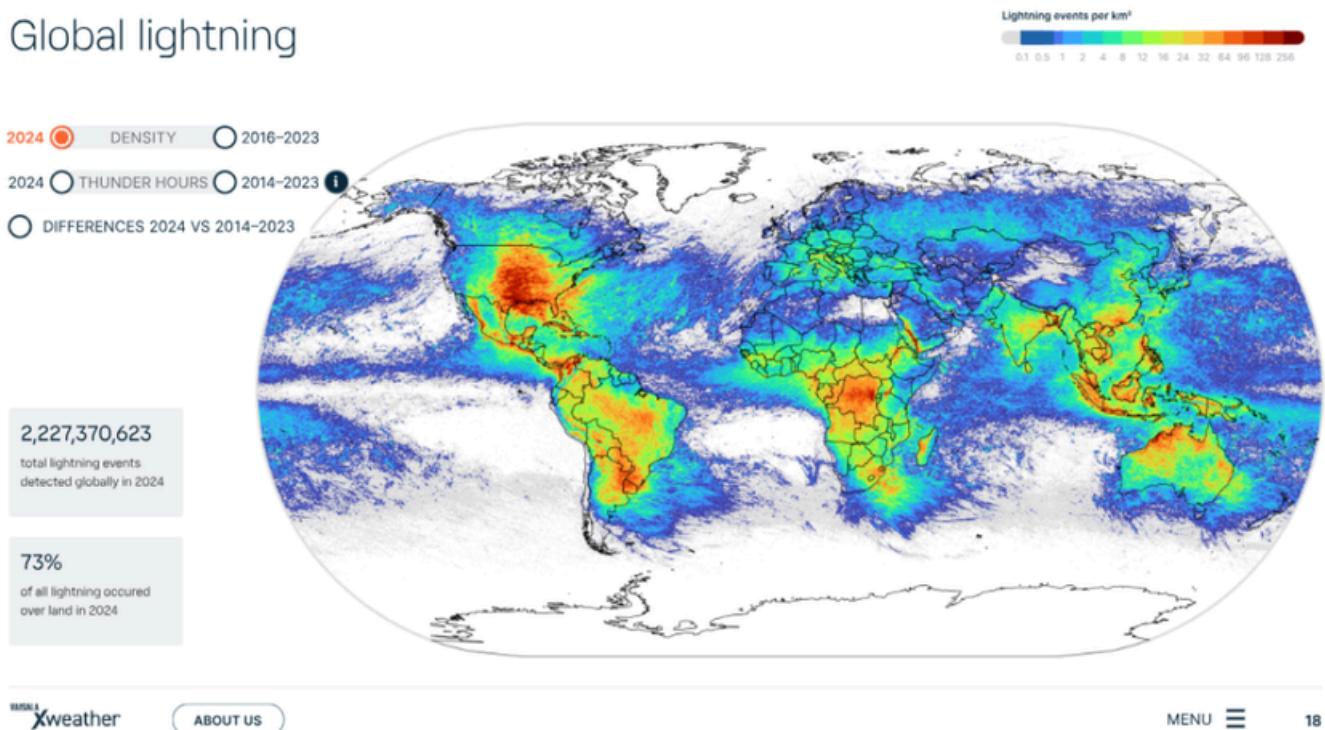


Figura 15 – Incidência global de descargas atmosféricas segundo dados da Vaisala

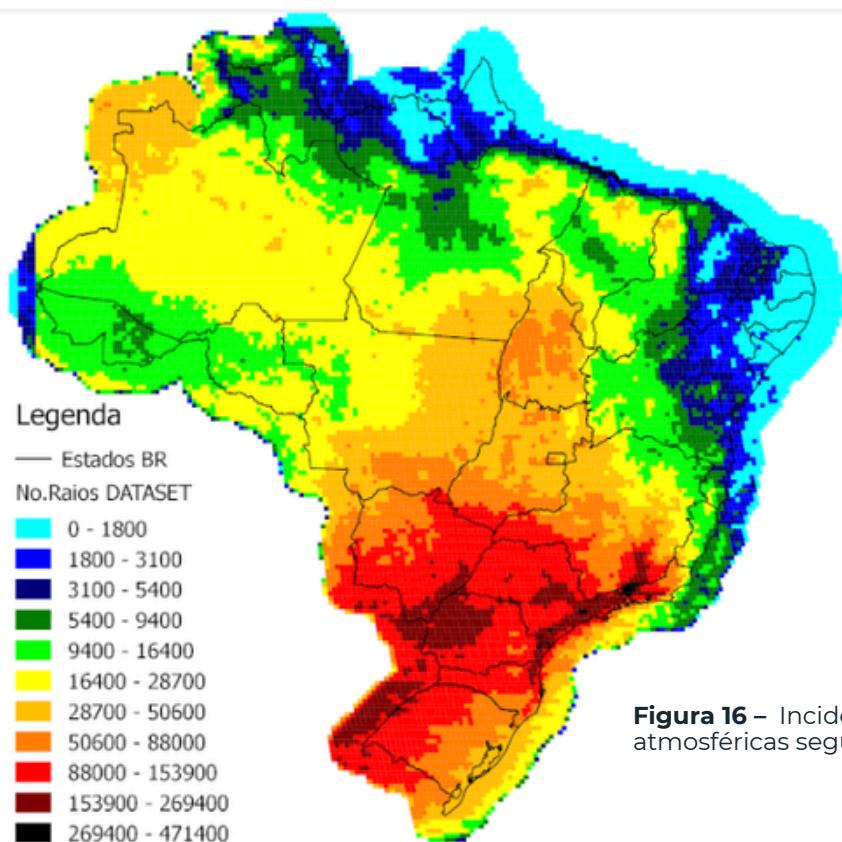


Figura 16 – Incidência no Brasil de descargas atmosféricas segundo dados da INPE/CGPDI

Fonte: INPE/CGPDI.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.6.5.4. Nuvem-atmosfera:

As descargas nuvem-atmosfera ocorrem quando um líder descendente se propaga a partir da nuvem, porém não consegue estabelecer conexão com o solo, dissipando-se na atmosfera antes do contato. Embora não resultem em impactos diretos à superfície, esses eventos indicam forte atividade elétrica na troposfera superior e podem gerar intensos efeitos luminosos e eletromagnéticos.

Figura 17 – Descarga nuvem-atmosfera — canal que se dissipa antes de atingir o solo



Essas descargas são fundamentais para a compreensão da dinâmica das tempestades, pois revelam processos de ionização e descarga elétrica que influenciam a formação de outros fenômenos atmosféricos, como sprites e jatos luminosos. A **Figura 17** ilustra essa forma de descarga, evidenciando canais de descarga que se extinguem na atmosfera sem alcançar o solo.

2.1.6.5.5. Nuvem-estratosfera:

Descargas que se propagam a partir da nuvem em trajetos ascendentes, alcançando as camadas superiores da atmosfera, como a estratosfera. Geralmente detectadas por sensores orbitais devido à sua baixa visibilidade da superfície, essas descargas são consideradas importantes para o balanço elétrico global da Terra (ver item 2.1.6.4).

2.2 Considerações Finais do Capítulo

Na engenharia de proteção contra descargas atmosféricas, o foco principal está na distribuição e organização das cargas nas nuvens antes da descarga, que seguem padrões previsíveis. Isso permite modelar os processos e classificar as descargas por origem, direção e polaridade.

Compreender esses fenômenos é essencial para fundamentar as estratégias de proteção adotadas. No próximo capítulo, abordaremos os princípios gerais da proteção contra descargas atmosféricas, apresentando uma visão conceitual que orienta o dimensionamento dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e os fundamentos aplicados em projetos de engenharia.

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (VISÃO CONCEITUAL)

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

As descargas atmosféricas representam riscos reais e recorrentes a estruturas, pessoas e sistemas elétricos. Embora não possam ser evitadas, seus efeitos podem ser mitigados com base em princípios científicos e boas práticas de engenharia.

Este capítulo oferece uma visão geral dos princípios que fundamentam a proteção contra esses fenômenos, estabelecendo os conceitos-chave que norteiam o dimensionamento e a aplicação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

3.1. Finalidade da Proteção

O objetivo central do SPDA é captar e conduzir a corrente do raio com segurança ao solo, protegendo vidas, estruturas e equipamentos. A proteção é dividida em [1, 2, 3, 6, 7, 12]:

- Subsistema de captação: elementos que atraem a descarga;
- Subsistema de descida: elementos condutores responsáveis por conduzir a corrente do raio até o subsistema de aterramento;
- Subsistema de aterramento: dispersa a corrente da descarga no solo;
- Medidas de proteção interna: evitam ou minimizam os efeitos dos surtos em sistemas elétricos e eletrônicos, além de outros danos decorrentes de centelhamentos perigosos, através de blindagens, equipotencializações e distâncias de separação.

3.2. Identificação da Estrutura e Suas Características (Passo a):

O procedimento descrito para a seleção de medidas de proteção contra descargas atmosféricas segue uma abordagem sistemática baseada em normas técnicas, como a ABNT NBR 5419 (baseada na IEC 62305), com foco na análise de risco e na implementação de medidas adequadas para mitigar danos causados por descargas atmosféricas. Abaixo, resumo os principais pontos do procedimento e das medidas de proteção, destacando os passos e critérios mencionados [1, 2, 3, 6, 7, 13, 14]:

3.2.1. Procedimento para Seleção de Medidas de Proteção

Analisar as dimensões, materiais, uso, localização e ambiente da estrutura para determinar sua vulnerabilidade a descargas atmosféricas.

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

3.2.2. Identificação dos Tipos de Danos e Riscos (Passo b):

Considerar os danos potenciais, como:

- Danos físicos (incêndio, explosão, destruição mecânica).
- Risco à vida (choques elétricos, tensões de toque e passo).
- Falhas em sistemas elétricos/eletrônicos devido a impulsos eletromagnéticos LEMP).
- Avaliar os riscos relevantes com base nas características da estrutura e na probabilidade de descargas.

3.2.3. Avaliação e Comparação do Risco (Passo c):

Calcular o risco (R) para cada tipo de dano, considerando:

- Frequência de descargas atmosféricas na região.
- Probabilidade de danos (ex.: incêndio, falha de equipamentos).
- Consequências dos danos (perdas humanas, materiais ou econômicas).

Definir o risco tolerável (R_T), conforme estabelecido por normas ou critérios do projetista.

Comparar R com R_T :

- Se $R \leq R_T$; Não é necessária proteção adicional.
- Se $R > R_T$; Medidas de proteção são necessárias para reduzir R até que seja $\leq R_T$.

3.2.4. Seleção de Medidas de Proteção (Passo d):

- Escolher medidas que reduzam R para cada tipo de dano até atingir $R \leq R_T$.
- As medidas devem abordar todos os danos relevantes identificados.

3.2.5. Escolha das Medidas Mais Adequadas (Passo e):

Selecionar as medidas com base em:

- Conformidade com normas técnicas (ex.: ABNT NBR 5419, IEC 62305).
- Viabilidade econômica e aspectos técnicos, equilibrando custo e eficácia.

3.2.6. Medidas de Proteção

As medidas de proteção contra descargas atmosféricas incluem sistemas e técnicas específicas para mitigar os riscos identificados:

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

3.2.6.1. Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA):

SPDA Externo - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas:

- **Subsistema de captação - Terminal aéreo:** Intercepta descargas atmosféricas diretas (ex.: para-raios).
- **Subsistema de descida - Condutores de descida:** Conduzem a corrente do raio à terra com segurança.
- **Subsistema de aterrramento:** é o responsável por dissipar a corrente da descarga atmosférica no solo, completando o caminho iniciado pela captação. Além de atuar na proteção externa, esse subsistema também é essencial na drenagem de surtos conduzidos internamente por dispositivos de proteção (DPS), que integram as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) — ver **Figura 19**. Para ser eficaz, o aterrramento deve garantir que as tensões de toque e de passo nas imediações da edificação permaneçam dentro de limites seguros, conforme estabelecido pelas normas técnicas, protegendo vidas humanas e animais.

MPS Interno – Medidas de Proteção contra Surtos:

- Inclui Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) que são essenciais para proteger condutores energizados e equipamentos sensíveis contra picos de tensão.
 - Para garantir a eficácia dessas medidas, é fundamental avaliar todas as vias pelas quais surtos podem entrar na instalação, não apenas as linhas de energia elétrica, mas também linhas de comunicação, sistemas de gás e outras conexões;
 - Além disso, a correta escolha e aplicação de DPS específicos, combinada com técnicas de blindagem e equipotencialização, formam um conjunto indispensável para evitar danos e garantir a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico.
 - Assim, o sistema de proteção contra surtos é projetado para atuar de maneira integrada, antecipando e bloqueando as sobretensões antes que causem falhas ou prejuízos.
- Previne centelhamentos perigosos por meio de **ligação equipotencial** ou **isolamento elétrico** (distância de separação).

O projeto desse sistema para ser efetivo deve considerar a proteção em Cascata com **Zonas de Proteção LEMP (LPZ)** bem definidas e delimitadas, abrangendo desde a parte externa ZONA 0 (ZPRO) a interna ou intermediária Zona 1 (ZPR1) e a Local Z2 (ZPR2) que abriga equipamento ou objeto vulnerável a dano. A correta divisão e delimitação dessa Zonas protegidas por DPSs adequadamente dimensionados, especificados e instalados, mitigam a propagação de surtos pelas instalações e, consequentemente, os efeitos nocivos decorrentes [6, 7].

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

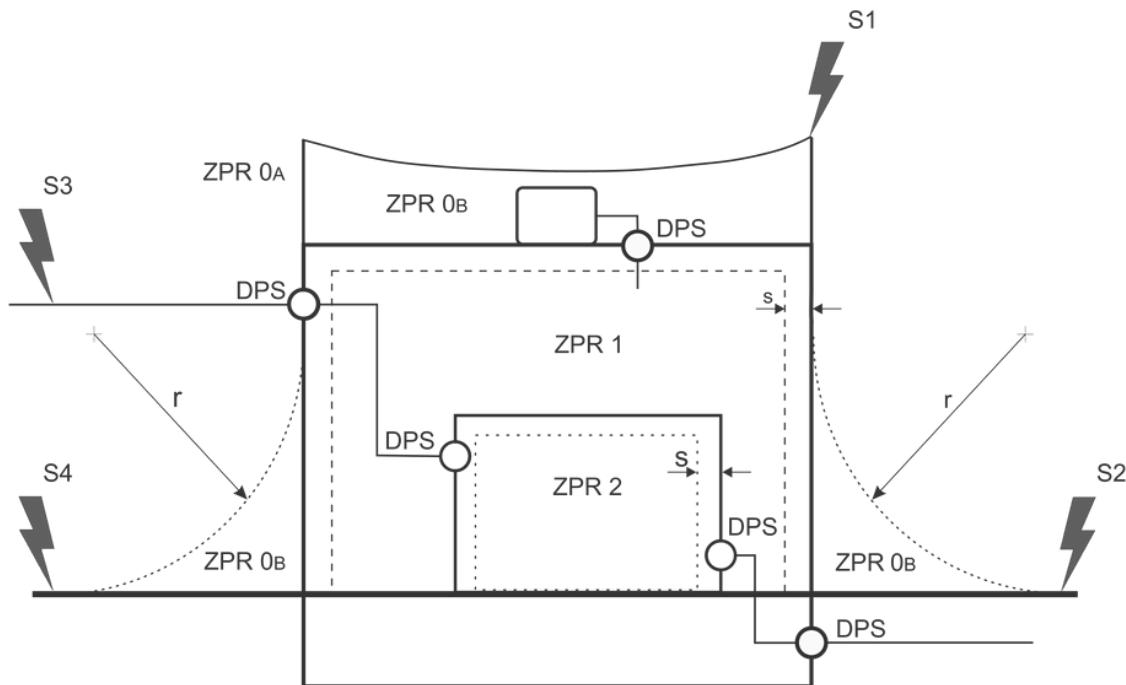


Figura 17 – Delimitação das zonas ZPRO a ZPR2 e indicação dos locais onde os DPSs devem ser instalados para proteger as linhas que entram na estrutura (será detalhada nos Volumes 2 e 5).

Medidas Adicionais:

- Isolamento para tensões de toque/passo.
- Sistemas de combate a incêndio (ex.: extintores, alarmes).

3.2.6.2. Níveis de Proteção (Classes I a IV):

- Definidos pela norma, com base em parâmetros como o raio da esfera rolante, largura da malha e seções transversais dos condutores.
- Cada nível corresponde a valores máximos e mínimos de corrente de descarga, com o Nível I sendo o mais rigoroso (99% de probabilidade de não exceder os valores máximos).
- Os SPDA de Nível de Proteção são definidos como SPDA Classe I a IV.

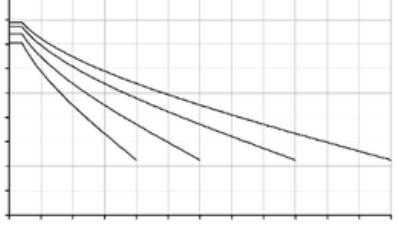
Tabela 3 - Relação Entre Níveis De Proteção Para Descargas Atmosféricas E Classe De Spda (Ver Abnt Nbr 5419-1)

Nível da Proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	II
IV	IV

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

Tabela 4 - Valores Máximos dos Raios da Esfera Rolante, Tamanho da Malha E Ângulo De Proteção Correspondentes a Classe do SPDA

Classe do SPDA	Método de Proteção		
	Raio da esfera rolante - R (m)	Máximo afastamento condutores da malha (m)	Ângulo de Proteção α°
I	20	5 x 5	
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

3.3. Normas e Aplicabilidade

No Brasil, a principal referência técnica para proteção contra descargas atmosféricas é a série **ABNT NBR 5419**, composta por quatro partes:

- **Parte 1 – Princípios gerais:** Estabelece os requisitos básicos para proteção contra descargas atmosféricas e oferece fundamentos técnicos para aplicação em projetos.
- **Parte 2 – Gerenciamento de risco:** Define os critérios para análise de risco em estruturas, orientando a escolha de medidas de proteção que reduzam os riscos a níveis toleráveis ou inferiores.
- **Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida:** Apresenta os requisitos para projeto, instalação e manutenção do SPDA, visando proteger as estruturas contra danos físicos e as pessoas contra lesões permanentes ou fatais. Também aborda os riscos de tensões de toque e passo nas imediações do sistema de proteção.
- **Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura:** Orienta o projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio de Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), com foco na mitigação de danos causados por impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas (LEMP).

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

A série brasileira foi desenvolvida com base na norma internacional **IEC 62305**, que também fundamenta seus critérios técnicos. Nos Estados Unidos, a norma **NFPA 780** é amplamente utilizada. Embora essa norma não adote o Método do Ângulo, reconhece sua aplicabilidade como abordagem válida em projetos de proteção contra descargas atmosféricas para cobertura de edificações.

A versão **2015 da NBR 5419** trouxe avanços significativos nos conceitos, critérios e exigências normativas, refletindo a evolução da IEC 62305. Comparada à versão anterior (2005), a norma passou de 48 para 353 páginas, o que demandou sua divisão em quatro partes, conforme descrito acima. A distribuição do conteúdo entre as partes é a seguinte:

NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas

- Parte 1 – Princípios gerais: **77 páginas**
- Parte 2 – Gerenciamento de risco: **116 páginas**
- Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida: **61 páginas**
- Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura: **99 páginas**

Destaque: Parte 2 – Gerenciamento de risco

- 31 tabelas inter-relacionadas;
- 4 tipos de risco que abrangem 23 componentes (alguns com subdivisões)
- 16 fatores que influenciam os componentes de risco
- 4 fontes de dano que se combinam com 3 tipos de dano (gerando 8 combinações)
- 3 tipos de dano que se relacionam a 4 tipos de perdas (resultando em 24 combinações)
- 4 tipos de perdas associadas a 3 valores típicos de perda (formando 9 grupos e 23 valores médios típicos)
- 62 equações que determinam os valores probabilísticos dos riscos calculados

O inter-relacionamento entre essas partes está representado na **Figura 3** a seguir.

O aprofundamento dos temas normativos e fundamentos físicos será tratado nos Volumes 2, 3, 4 e 5 desta série de eBooks [6, 7].

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO

3. PRINCÍPIOS GERAIS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (Visão Conceitual)

A ameaça da descarga atmosférica

Riscos associados à descarga

Proteção contra descarga atmosférica

Medidas de proteção

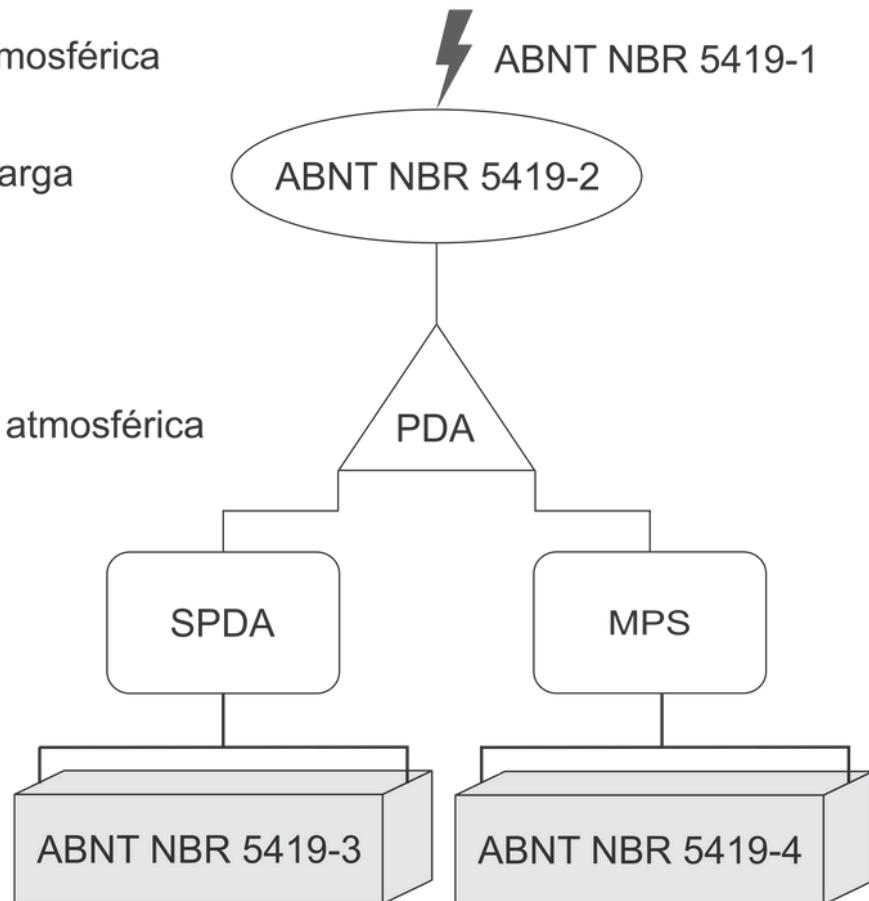


Figura 19 – Inter-relação entre as Partes da NBR 5419:2015, conforme estrutura da IEC 62305

3.4. Considerações Finais sobre os Subsistemas

O entendimento integrado dos subsistemas e dos fenômenos físicos relacionados às descargas atmosféricas é a base para decisões de projeto mais seguras e eficazes [2, 12, 13, 14, 15].

O próximo capítulo apresenta uma visão geral dos principais modelos e métodos de dimensionamento utilizados nesses projetos.

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

4. MODELOS E MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO (VISÃO GERAL)

4. MODELOS E MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO (Visão Geral)

A proteção contra descargas atmosféricas atua em duas frentes principais [13,14]:

- Redução de danos físicos e riscos à vida humana (ABNT NBR 5419-3), focada no SPDA externo (ver **Figura 19**);
- Redução de falhas em sistemas elétricos e eletrônicos internos (ABNT NBR 5419-4), por meio de medidas de proteção contra surtos (DPS e blindagem) - ver **Figura 19**.

Essas frentes integram o conceito completo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA), e os métodos de dimensionamento precisam considerá-las conjuntamente para garantir eficácia.

4.1. Modelo Eletrogeométrico (EGM)

O Modelo Eletrogeométrico define o raio de atração (Ra) de um sistema de proteção, associado à intensidade da corrente do raio, como parâmetro fundamental para avaliar e dimensionar SPDA em estruturas e linhas de transmissão. Este modelo baseia-se na formação de canais ascendentes que interagem com o canal descendente do raio [1, 2, 12, 15].

Nesta série, o foco está nos modelos contemplados pela NBR 5419 para estruturas, excluindo linhas de transmissão, que serão abordadas em subitem específico. Os principais métodos derivados do EGM são:

- **Método da Esfera Rolante:** Neste método, considera-se a rolagem de uma esfera de raio R (definido pelo nível de proteção – ver **Tabela 3**) sobre a estrutura, em uma análise bidimensional (ver **Figura 20**). Assume-se que a extremidade do canal de descarga descendente está no centro da esfera e que o ponto de impacto ocorrerá onde sua superfície tocar a estrutura. Os pontos assim tocados são considerados suscetíveis a descargas diretas [1, 2, 12, 13, 14];

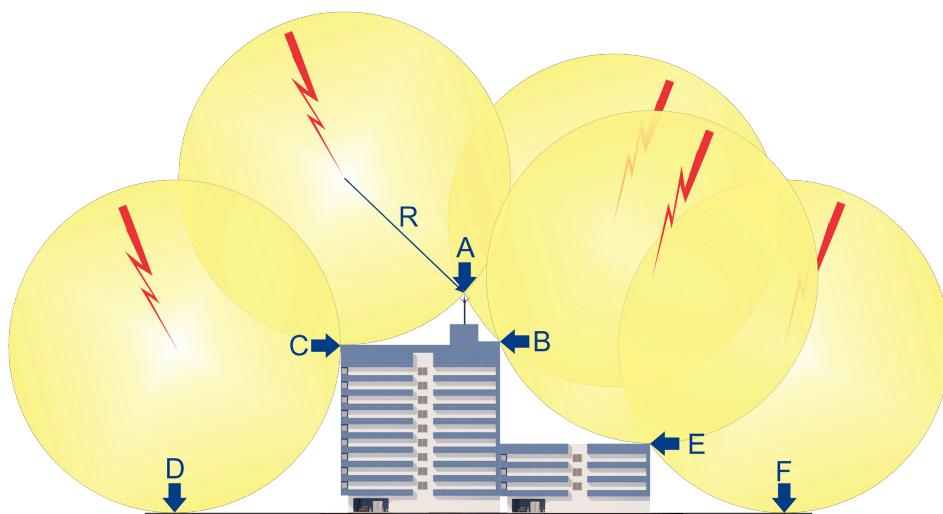


Figura 20 – Visão bidimensional do Método da Esfera Rolante e seu raio de proteção

4. MODELOS E MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO (Visão Geral)

- **Método do Ângulo de Proteção:** O método do ângulo baseia-se na interceptação de canais descendentes por meio de canais ascendentes originados em captores posicionados nas regiões mais elevadas da estrutura. Esses captores, geralmente metálicos, definem zonas de proteção a partir de um ângulo de blindagem associado ao Nível de Proteção adotado e à altura do captor em relação à superfície de referência (ver gráfico da coluna IV da Tabela 4). A **Figura 21** apresenta a visão esquemática dos volumes de proteção gerados. No Volume 3, este método será aprofundado, evidenciando-se sua origem como uma simplificação prática do método da esfera rolante [1, 2, 11, 13, 14];

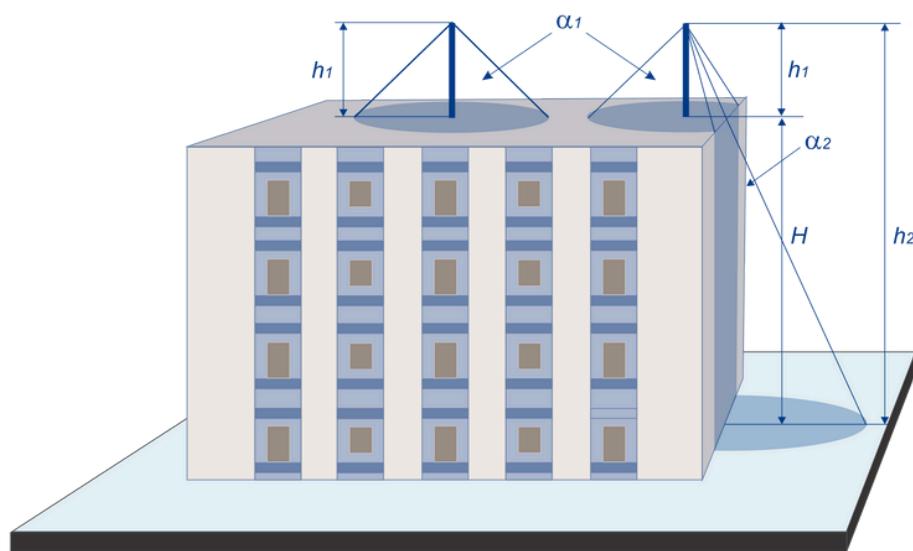


Figura 21 – Esquema dos volumes de proteção definidos pelo método do ângulo

- **Método das Malhas:** Este método, também conhecido como método da gaiola de Faraday, baseia-se na blindagem eletromagnética observada nas experiências de Faraday: um corpo envolto por uma estrutura condutora torna-se imune à passagem de correntes transitórias. Assim, ao instalar condutores sobre coberturas — formando malhas condutivas — cria-se uma zona protegida contra descargas atmosféricas. O método é indicado para coberturas extensas, desde que respeitados os limites de inclinação da superfície, e pode ser aplicado isoladamente ou em conjunto com os métodos da esfera rolante ou do ângulo. O espaçamento entre condutores da malha é determinado conforme o Nível de Proteção adotado (ver **Tabela 4**). A **Figura 22** ilustra exemplos de aplicação do método em diferentes geometrias de cobertura [1, 2, 12, 13, 14].

4. MODELOS E MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO (Visão Geral)

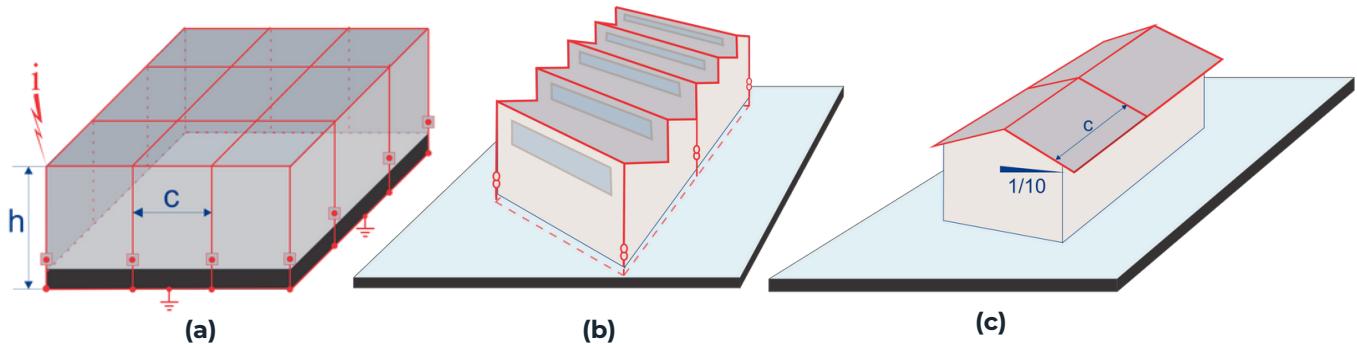


Figura 22 – Exemplos de aplicação do método da malha:
(a) cobertura plana; (b) cobertura serrilhada; (c) cobertura inclinada

Embora distintos, esses métodos convergem conceitualmente para o modelo do raio de atração. A escolha do método adequado depende da geometria da estrutura, do nível de proteção exigido e das condições ambientais locais.

4.1.1. Raio de Atração

A **Tabela 5** apresenta os valores estimados do raio de atração (R_a) para diferentes valores de pico da corrente de descarga atmosférica. Esses valores foram obtidos com base na equação [1, 2, 12]:

$$R_a = 10 I_p^{0,65} \quad (\text{A.1})$$

Onde:

- I_p representa o valor de pico da corrente em kiloampéres (kA).

Esta equação é recomendada pela ABNT NBR 5419-1, Anexo A (item A.4), como modelo para estimar a distância máxima a partir da qual uma descarga atmosférica pode ser atraída por um sistema de proteção.

Tabela 5 – Valores Estimados do Raio de Atração em Função da Corrente de Descarga

Valor de Pico da Corrente (kA)	Raio de atração (m)
3	20
5	28
10	45
15	58
20	70
30	91
50	127
100	200

4. MODELOS E MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO (Visão Geral)

Note que descargas de baixa intensidade, como 3 kA, já têm raio de atração compatível com SPDA **Classe I**, cuja esfera fictícia tem raio de 20 m. Isso demonstra que sistemas projetados para níveis elevados de proteção (Classe I) podem captar eficazmente descargas de diferentes intensidades.

4.2. Considerações finais do Capítulo

Os métodos apresentados neste capítulo constituem a base técnica estabelecida pela ABNT NBR 5419-3 para a proteção contra descargas atmosféricas. Seu uso adequado visa reduzir danos físicos e riscos à vida no interior das estruturas, sendo essencial à eficácia de qualquer sistema de proteção.

A seguir, o **Capítulo 5** abordará os benefícios do uso de tecnologias digitais no dimensionamento do SPDA e como essas ferramentas ampliam a precisão e a segurança dos projetos.

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

5. BENEFÍCIOS DO USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

Um material da

BRCLightning

5. TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

5. BENEFÍCIOS DO USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

5.1. Relevância da Aplicação Digital nas Soluções de Proteção

A elevada incidência de raios no Brasil, já destacada no item **2.1.6.5.3**, evidencia a urgência de soluções eficazes. Tecnologias digitais têm se mostrado estratégicas para aplicar com precisão as diretrizes da ABNT NBR 5419-3, no dimensionamento do SPDA, e da ABNT NBR 5419-4, na proteção de sistemas elétricos e eletrônicos. Juntas, essas normas integram o PDA previsto na ABNT NBR 5419-1. Embora a estimativa aponte 100 milhões de raios anuais entre 2081 e 2100, o país já registrou mais de 90 milhões em 2011 e 2012 — um indicativo de possível antecipação desse cenário [17, 18, 19, 20, 21].

5.2. Limitações dos Métodos Convencionais

Os métodos tradicionais de dimensionamento de SPDA, baseados em softwares como AutoCAD e em planilhas, ainda são largamente utilizados. No entanto, apresentam limitações significativas [16, 17, 18, 19, 20]:

- Processos manuais e demorados;
- Suscetibilidade a erros humanos e retrabalho;
- Falta de padronização e rastreabilidade;
- Necessidade de instalações locais;
- Dificuldade de acesso remoto, o que restringe a mobilidade dos profissionais.

Esse cenário evidencia a necessidade de soluções digitais mais integradas, ágeis e acessíveis.

5.3. Oportunidades com Tecnologias Digitais em Nuvem

Soluções digitais baseadas em nuvem oferecem uma nova abordagem para o dimensionamento de SPDA, combinando:

- **Agilidade:** redução drástica no tempo de cálculo, passando de horas para minutos;
- **Precisão:** minimização de erros por digitação ou interpretação;
- **Mobilidade:** acesso a partir de qualquer dispositivo conectado (smartphones, tablets, notebooks, etc.);
- **Padronização:** conformidade com normas ABNT NBR 5419, NFPA e IEC;
- **Rastreabilidade:** banco de dados estruturado, permitindo revisões, histórico e emissão de novas versões de projeto.

5.4. Mobilidade e Disponibilidade: SPDA na Palma da Mão

A solução BRCLightning foi desenvolvida com foco em mobilidade e acessibilidade, permitindo que os usuários realizem dimensionamentos completos em qualquer ambiente com conexão à internet [17].

- A plataforma opera inteiramente na **nuvem**, dispensando instalação local;
- Permite **uso em campo** por meio de dispositivos móveis;
- Favorece equipes técnicas que atuam em múltiplos projetos simultâneos.

5. TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

5. BENEFÍCIOS DO USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

5.5. Estrutura Técnica com Visão Global

A BRCLIGHTNING é uma plataforma digital estruturada para atender tanto o mercado nacional quanto o internacional, especialmente no que se refere às metodologias de cálculo e dimensionamento baseadas em princípios técnicos reconhecidos globalmente. A base matemática e os critérios normativos estão plenamente alinhados às normas brasileiras (ABNT), americanas (NFPA) e internacionais (IEC), possibilitando sua adoção em diversos contextos regulatórios e geográficos.

Embora a interface bilíngue (Português/Inglês) já esteja desenvolvida e operacional em ambiente local (notebook corporativo da BRCLIGHTNING), sua implementação na plataforma online encontra-se em fase final de validação. A expectativa é disponibilizá-la em breve aos usuários, ampliando o alcance e a usabilidade do sistema em escala global.

Além disso, a plataforma conta com um banco de dados relacional que transforma dados técnicos em informações gerenciais, otimizando a tomada de decisão — recurso desenvolvido para atender demandas reais de grandes empresas, como a Vale.

5.6. Ganhos Operacionais e Econômicos

O uso da BRCLightning representa **economia real de recursos**:

- Tempo de análise reduzido para cerca de **6 minutos**;
- Eliminação da necessidade de múltiplos softwares;
- Redução de erros e retrabalho;
- Interface 3D em fase conceitual, promovendo **precisão desde as etapas iniciais**;
- Preço acessível: **R\$ 53,99/mês no MVP** e previsão de **R\$ 104,03 no pacote completo**, o que representa um excelente custo-benefício frente à economia gerada.

5.7. Inovação Frente à Concorrência

Diferente das soluções tradicionais, que ainda operam com tentativa e erro, a BRCLightning propõe um processo automatizado, técnico e rastreável:

- Dimensionamento e emissão de relatórios em até **6 minutos**;
- Banco de dados que permite **revisões e redimensionamentos**;

5.8. Proposta de visualização 3D desde a fase conceitual

- Redução de até 95% no tempo de projeto;
- Ganho de produtividade e qualidade com menor custo.

5. TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

5. BENEFÍCIOS DO USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO DIMENSIONAMENTO DE SPDA

5.9. Considerações Finais – Inovação como Base para a Proteção Moderna

A adoção de tecnologias digitais é hoje a base técnica essencial para proteção eficaz contra descargas atmosféricas, especialmente no que tange à redução de danos físicos e riscos à vida humana dentro de uma estrutura – conforme exigido pela ABNT NBR 5419-3.

A digitalização, aliada à conformidade normativa e mobilidade, transforma o dimensionamento de SPDA em um processo mais seguro, rápido e acessível, contribuindo para a engenharia do futuro.

5.10. Encerramento – Da Base Tecnológica às Funcionalidades Avançadas

A digitalização aplicada ao dimensionamento de SPDA representa um avanço significativo na forma como engenheiros, projetistas e empresas lidam com os riscos associados às descargas atmosféricas. A BRCLightning consolida esse avanço ao oferecer uma solução moderna, técnica, acessível e alinhada às normas nacionais e internacionais, contribuindo para uma engenharia mais ágil, precisa e segura.

No próximo capítulo, exploraremos com mais profundidade as **funcionalidades da plataforma BRCLightning**, seus diferenciais técnicos, suas vantagens operacionais e um estudo de caso prático, que ilustra como essas ferramentas podem gerar valor concreto ao projeto e à gestão de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

Um material da

BRC Lightning

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

6.1. Fundamentos Técnicos Consolidados

A plataforma BRCLIGHTNING adota modelagens matemáticas próprias que integram os métodos consagrados pelas normas brasileira, internacional e americana para o dimensionamento e a verificação da efetividade de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Com base em parâmetros técnicos como **altura do SPDA (hp)**, **distância horizontal protegida (dp)**, **margem de cobertura e ponto crítico**, o sistema executa cálculos automatizados segundo os critérios estabelecidos pelas seguintes normas:

- **NBR 5419-3** (Brasil)
- **IEC 62305-3** (Internacional)
- **NFPA 780** (Estados Unidos)

Esses parâmetros são definidos por meio de equações sintéticas que permitem avaliar, com precisão e eficiência, tanto o **Método da Esfera Rolante** quanto o **Método do Ângulo**.

A **Figura 20** apresenta os conceitos geométricos fundamentais, como dp, hp e a zona de proteção, enquanto a **Figura 23** ilustra as margens de cobertura associadas a ambos os métodos e o ponto crítico característico do Método do Ângulo (ponto onde as a envoltória de captores se interceptam) ou no Método da Esfera Rolante (ponto mais baixo da esfera rolante entre dois captores).

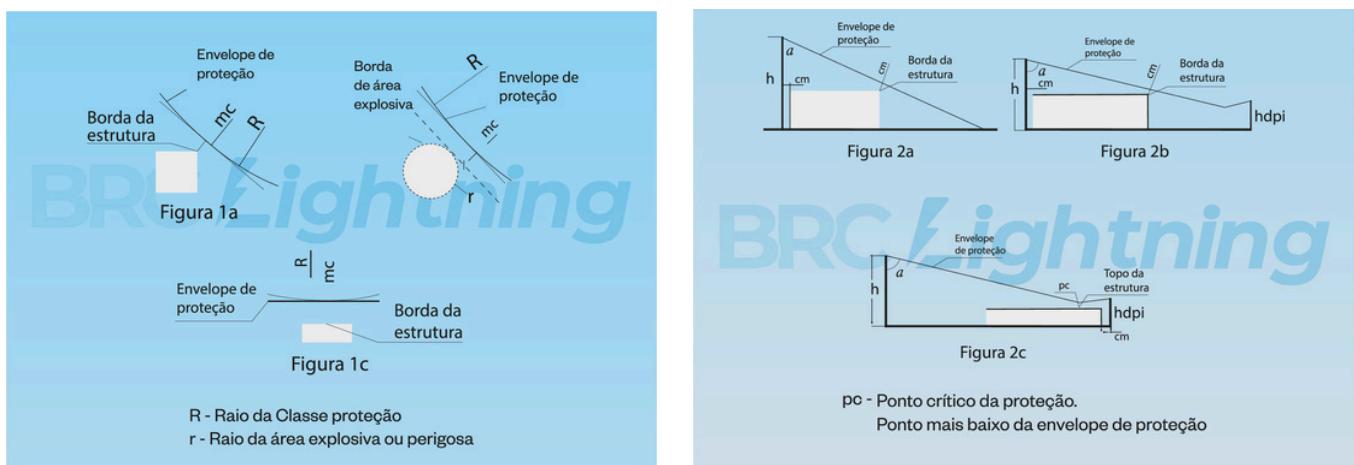


Figura 23 – Margens de cobertura e ponto crítico nos métodos da Esfera Rolante e do Ângulo.

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

6.2. Consolidação Técnica e Diferenciais da Plataforma

A BRCLIGHTNING não apenas incorpora os critérios normativos nacionais e internacionais, mas os transforma em diferencial competitivo. A sistematização de métodos como a Esfera Rolante e o Método do Ângulo, com base em equações matemáticas próprias, permite uma abordagem padronizada, auditável e tecnicamente robusta. Essa estrutura garante maior confiabilidade para aplicações industriais, facilita a validação por órgãos certificadores e reforça a aderência a projetos de alta complexidade.

Além disso, todo esse modelo está implementado em uma base de dados na nuvem, acessível por meio de diferentes dispositivos — como smartphones, tablets e desktops — levando a solução de engenharia para a palma da mão dos seus usuários. Essa arquitetura proporciona alta disponibilidade, mobilidade operacional e significativa redução de tempo, custo e recursos ao longo do ciclo de projeto.

Esses diferenciais não apenas consolidam o rigor técnico da plataforma, como também otimizam o uso de recursos no processo de engenharia: reduzem o tempo de projeto, minimizam a necessidade de softwares especializados como o AutoCAD, diminuem custos com mão de obra técnica, ampliam a rastreabilidade e melhoram a relação custo-benefício das soluções implantadas.

6.3. Validação Científica e Tecnológica

A abordagem técnica da plataforma BRCLIGHTNING tem sido validada em eventos científicos e periódicos de alto impacto, com publicações e apresentações realizadas em conferências internacionais especializadas, como o SIPDA, ICLP, CIGRE e Grounding & LPE. Entre as principais participações:

- **2015 – SIPDA:** Artigo sobre a metodologia da Esfera Rolante
- **2017 – SIPDA:** Modelagem do Método do Ângulo
- **2019 – SIPDA:** Apresentação do protótipo inicial da plataforma
- **2021 – ASTES Journal:** Extensões funcionais e análises de risco
- **2021 – ICECET:** Protótipo com acesso via smartphone
- **2022 – 36th ICLP:** Estudo do coeficiente k_c e proposta de substituição do anel de interligação
- **2023 – CIGRE ICLPS / SIPDA:** Sobretensões em condutores desconectados e análise entre distância de separação e tensões induzidas
- **2024 – Grounding & 11th LPE:** Aplicações matemáticas às normas de SPDA como aliadas à conformidade e segurança profissional

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

Esse conjunto de contribuições reforça a robustez da plataforma, seu alinhamento com o estado da arte e sua validação por pares especializados no campo da engenharia de proteção contra descargas atmosféricas.

Os artigos podem ser acessados na landing page www.brclightning.com, na seção de FAQ técnico:

FAQ_da_Plataforma_do_BRCLightning_Rev_B_06_04_2024.docx – Documentos Google

6.4. Funcionalidades da Plataforma BRCLIGHTNING

A plataforma BRCLIGHTNING já opera com cinco funcionalidades implementadas, quatro baseadas no método da Esfera Rolante e uma voltada à gestão de materiais, com mais duas funcionalidades em fase de migração baseadas no método do Ângulo.

6.4.1. Método da Esfera Rolante

6.4.1.1. Dimensionamento de captor isolado

Calcula a altura do captor (h_c) necessária para proteger uma estrutura com base na classe de proteção, distância horizontal (d_1), margem de cobertura (mc) e outras dimensões de referência. O sistema fornece a altura mínima requerida e simula a envoltória de proteção, permitindo validação técnica e visual.

6.4.1.2. Verificação da proteção de uma estrutura existente

Avalia a efetividade do SPDA instalado, comparando margens de cobertura obtidas com os valores exigidos. Um gráfico indica, por cores, se os níveis de proteção são satisfatórios, com diagnóstico automático para cada classe normativa.

6.4.1.3. Avaliação de proteção por plano imaginário horizontal

Determina a distância limite segura entre uma estrutura e os captores, por meio de um plano paralelo ao solo que intercepta a envoltória de proteção. Permite simulação em diferentes alturas.

6.4.1.4. Dimensionamento de captores paralelos

Calcula a altura adequada de dois captores para proteger uma estrutura localizada entre eles ou lateralmente posicionada. Utiliza os mesmos princípios do captor isolado, adaptados à geometria paralela.

6.4.1.5. Módulo de materiais

Permite compor listas de materiais com base em catálogos técnicos e imagens. O usuário pode selecionar itens por tipo de aplicação (captação, descida, aterramento, etc.) ou por blocos de montagem. Oferece seis templates para emissão de listas segmentadas.

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

6.4.2. Método do Ângulo (em migração)

6.4.2.1. Dimensionamento de captor com cálculo de ângulo de proteção

Similar à esfera rolante, calcula a altura ideal com base no ângulo de blindagem. Pode sugerir alternativas com dois captores e alertas sobre limitação técnica do método, indicando quando usar a esfera rolante.

6.4.2.2. Cálculo da altura ou distância protegida

Permite o dimensionamento da altura requerida a partir de uma distância de proteção desejada (ou vice-versa), considerando a classe de proteção e margem de cobertura. Retorna também o ângulo correspondente.

Relatórios: Todas as funcionalidades fornecem relatórios técnicos automatizados, incluindo memórias de cálculo por vista e um relatório consolidado para projetos completos.

6.5. Aplicabilidade em instalações com áreas perigosas/explosivas

A aplicação da metodologia BRCLightning em instalações de risco, como postos de combustível, demonstrou sua capacidade de detectar falhas que passariam despercebidas em análises convencionais. Em um estudo de caso, a plataforma identificou que um subsistema de captores estava posicionado dentro da área de risco, contrariando os princípios da norma, o que expunha não apenas a estrutura, mas também a vizinhança a riscos significativos [23].

Essa constatação é ilustrada no exemplo do **item 6.5.1** e na **Figura 24**, que evidencia a posição inadequada de captores em uma área classificada como zona de risco.

6.5.1 Cálculo de Verificação de Limites - Rev A

Definições do projeto e do Responsável:

- Norma Considerada: NBR 5419-3
- Responsável Técnico: BIAGIONE R ARAUJO - TESTE
- Nome do Projeto/REV: Posto Combustive
- SPDA: SPDA - 1 SPDA Isolado (Mastro) SPDA do suspiro dos tanques de combustível
- Estrutura: Suspiro de Tanques
- Há uma atmosfera explosiva?: SIM
- Estrutura está entre dois elementos captores?: NÃO

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

Dados da Parametrização para avaliação dos limites de proteção do SPDA:

- Classe do SPDA: **Classe IV**
- Altura de projeto 'hp' do SPDA: **8,05m**
- Altura h_1 da estrutura: **6,00m**
- Raio 'R' da área classificada: **1,50m**
- Largura L_1 da estrutura: **0,10m**
- Margem de cobertura 'mc' da envoltória do volume de proteção do SPDA: **0,30m**



Figura 24 – Vista indicando captores posicionados indevidamente sobre área de risco.

Resultados do dimensionamento de verificação de limites:

- Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-20 - Casse I (m): **-1,08m**
- Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-30 - Casse II (m): **-0,63m**
- Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-45 - Casse III (m): **-0,27m**
- Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-45 - Casse IV (m): **-0,07m**
- Altura limite do ponto crítico da área explosiva da estrutura - h_{1L_Ae} : **7,32m**
- Distância horizontal limite do ponto crítico da área explosiva da estrutura - d_{1L_Ae} : **2,21m**

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

Gráfico do Resultado

- **Plano de cobertura do SPDA para a Classe IV e limite da estrutura com área classificada incorporada**

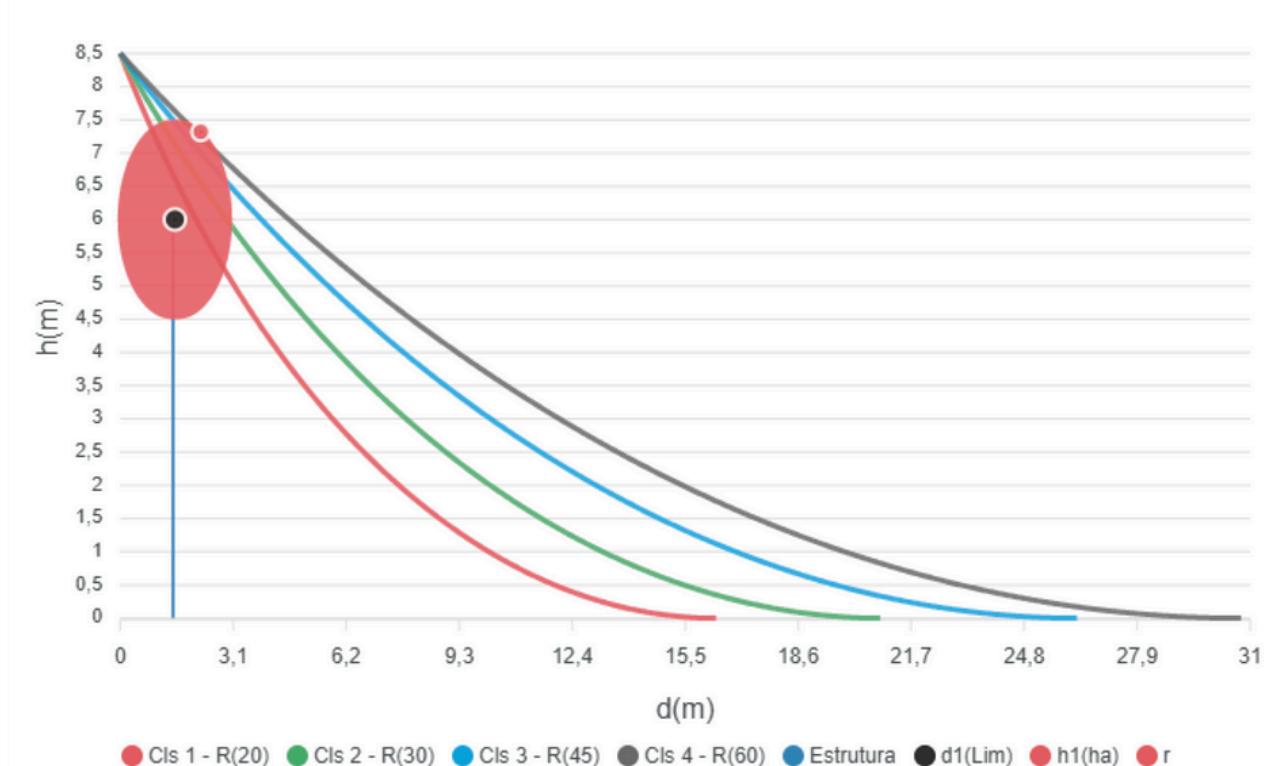


Figura 25 – Gráfico de Resultado

Instalação inadequada.

Considerando os requisitos estabelecidos em projeto, o SPDA não fornece proteção adequada para nenhuma Classe (I, II, III e IV).

Responsável Técnico: **BIAGIONE R ARAUJO**

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

6.6. Estudo de Caso –Entendendo as Diferenças entre os Métodos do Ângulo e da Esfera Rolante

Este estudo de caso foi elaborado para demonstrar, de forma clara e prática, como funcionam dois dos principais métodos utilizados para projetar sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Com base em dados simulados, o objetivo é mostrar que o dimensionamento de um sistema de proteção não deve se basear apenas em estimativas ou intuição, mas sim em uma análise técnica que considere as características reais da estrutura a ser protegida [24].

Para isso, foram aplicados o Método do Ângulo e o Método da Esfera Rolante em uma edificação com forma assimétrica, que inclui um mastro de proteção instalado sobre uma parte elevada da construção. Esse cenário foi escolhido por permitir visualizar claramente como cada método define a área protegida e quais pontos da estrutura podem ficar descobertos, dependendo da abordagem adotada [19-25].

A análise evidencia que o tipo de método escolhido pode influenciar diretamente na eficiência do sistema de proteção. Quando a geometria da estrutura é mais complexa, como neste exemplo, é ainda mais importante avaliar com cuidado qual metodologia aplicar. O uso de ferramentas matemáticas e simulações, como demonstrado aqui, contribui para decisões mais seguras e evita riscos ocultos de falha na proteção.

6.6.1. Resultados Obtidos com o Método do Ângulo

Inicialmente, considerou-se uma vista plana da edificação, abrangendo os lados esquerdo e direito ao longo de sua maior dimensão (largura – ver **Figura 26**). Utilizando a metodologia de abordagem matemática implementada na plataforma BRCLIGHTNING, juntamente com as funcionalidades descritas nos itens **6.4.2.1** e **6.4.2.2**, foi calculada a altura requerida do captor para garantir a proteção [18-24].

Observa-se que, no lado direito, o cálculo da altura foi influenciado pela margem de cobertura necessária, além de outros fatores como a distância horizontal protegida interna entre os pontos A e B (dpi) e as dimensões da estrutura elevada sobre a qual o mastro foi instalado. Já no lado esquerdo, o dimensionamento foi definido principalmente pela distância dpi entre os pontos A e C.

A **Tabela 6** apresenta os dados de entrada utilizados e os resultados obtidos. O maior valor calculado para a altura do captor foi de 5,58 metros. Surge, então, uma pergunta crítica: **esse valor é realmente suficiente para garantir que toda a estrutura esteja efetivamente protegida?**

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

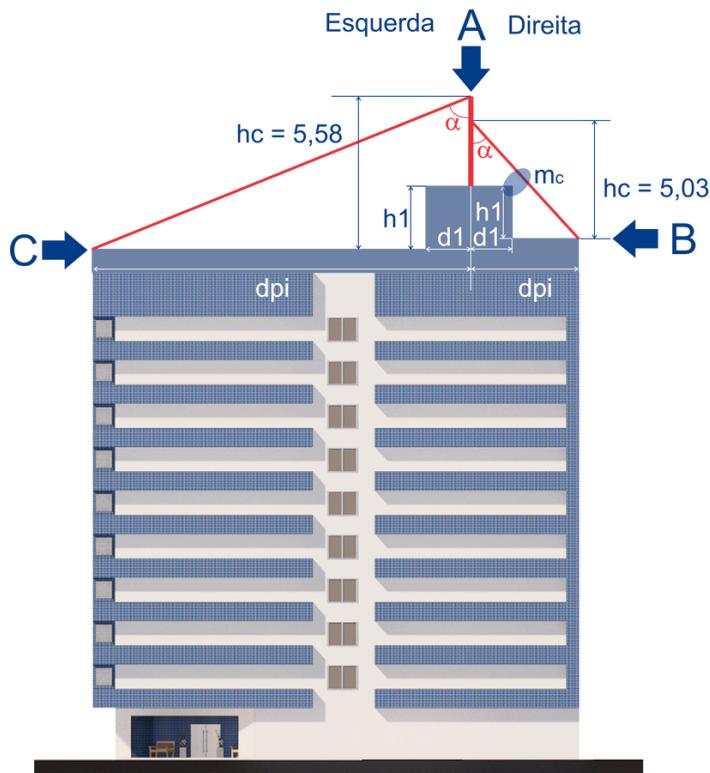


Figura 26 – Vista plana nas direções esquerda e direita para cálculo da altura do captor.

Tabela 6 – Dados de entrada e alturas calculadas do captor nas vistas esquerda e direita

DADOS DE ENTRADA		
Dimensões	Esquerda (A-C)	Direita (A-B)
h_1	2,8	2,5
d_1	2,0	2,0
dpi	16,5	4,8
$R = \text{Classe IV}$		60
c_n		0,3
DADOS DE SAÍDA		
h_c	5,58	5,03
α_c	$71,8^\circ$	$43,7^\circ$

Partindo da suposição de que a estrutura estaria adequadamente protegida, e buscando acrescentar uma margem de segurança, adotou-se a altura de 6,0 m para o captor — tendo como referência o lado esquerdo da edificação. Com essa altura de projeto, foram realizados os cálculos cujos resultados estão apresentados na **Tabela 7**. Os valores obtidos reforçam a percepção de uma proteção eficiente, uma vez que, inclusive no lado direito, a margem de cobertura de projeto (mcp) aumentou.

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

Tabela 7 – Avaliação dos parâmetros de proteção com $hp = 6,0$ m

DADOS DE ENTRADA		
Dimensões	Esquerda (A-C)	Direita (A-B)
h_1	2,8	2,5
d_1	2,0	2,0
d_{pi}	16,5	4,8
$R = \text{Classe IV}$		60
c_{mp}	2,36	0,53
DADOS DE SAÍDA		
h_c	6,0	5,7(*)
α_c	70,6°	40,1°

(*) A superfície de referência em relação ao lado direito é 30cm mais elevada.

Apesar da boa indicação de desempenho obtida na análise lateral, um projeto de proteção contra descargas atmosféricas exige uma avaliação mais completa. Por isso, foi realizada uma nova verificação a partir da vista superior da estrutura (ver **Figura 27**), utilizando novamente os procedimentos descritos nos itens **6.4.2.1** e **6.4.2.2**, com altura de projeto fixada em 6,0 m (referente ao lado esquerdo). Nesse cenário, a distância horizontal protegida alcançada foi de 17 m. No entanto, a análise revelou que parte da edificação — especialmente os pontos 1 e 2 — permaneceu fora da zona de proteção, estando, portanto, vulnerável a impactos diretos de descargas atmosféricas.

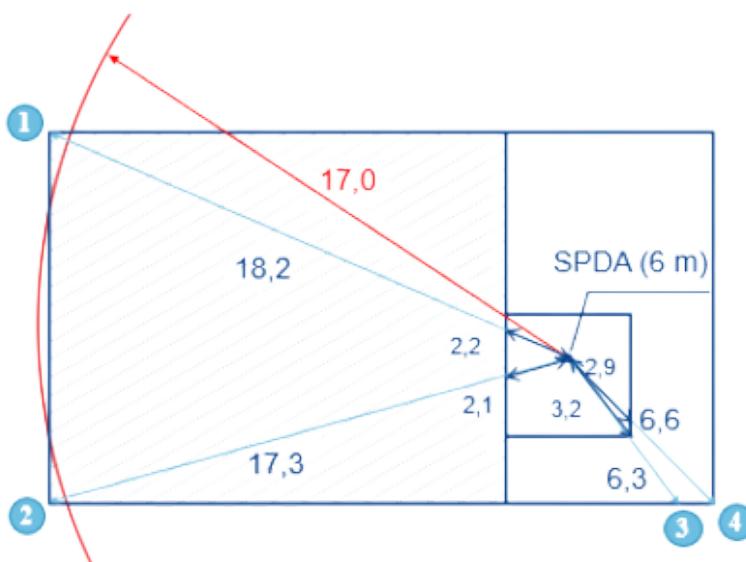


Figura 27 – Vista superior da estrutura com indicação dos pontos 1 e 2, não protegidos com 6m, e dos pontos 3 e 4 incluídos na análise ampliada.

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

6.6.2. Resultados Obtidos com o Método do Ângulo e da Esfera Rolante

Como a altura de projeto de 6m se mostrou insuficiente, a análise na vista superior foi ampliada para incluir os pontos 3 e 4. Procedeu-se, então, à avaliação utilizando os métodos da Esfera Rolante (item **6.4.1.1**) e do Ângulo de Proteção (item **6.4.2.1**), cujos dados de entrada e resultados são apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8 – Avaliação da Altura de Captor pelos Métodos da Esfera e do Ângulo (Pontos 1 a 4)

DADOS DE ENTRADA					
Dimensões	1	2	3	4	
h1	2,8		2,5		
d1	2,2	2,1	3,2	2,9	
dpi	18,5	17,3	6,3	6,6	
R = Classe IV			60		
cm			0,3		
DADOS DE SAÍDA					
Ângulo	hc	6,95	6,2	5,92	5,15
	a_c	63,1°	70,3°	46,8°	42,1°
Esfera	hc	3,90	3,92	6,5	5,5

Os dados evidenciam que, para o Método do Ângulo, o ponto mais crítico é o ponto 1, exigindo um captor com altura mínima de 6,95 m. Já para o Método da Esfera Rolante, o ponto mais crítico é o ponto 3, com exigência de 6,5 m. O resultado chama atenção por não ocorrer convergência entre os pontos críticos dos dois métodos — reforçando a importância de uma análise criteriosa da geometria da estrutura e da escolha do método de dimensionamento.

6.6.3. Conclusão

O caso analisado demonstra a relevância de uma abordagem técnica fundamentada em modelos matemáticos para o dimensionamento de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. A simples definição de uma altura de projeto, sem a devida análise da geometria envolvida e da aplicação rigorosa dos métodos normativos, pode resultar em soluções subdimensionadas e comprometedoras à segurança.

A aplicação comparativa dos métodos da esfera rolante e do ângulo, considerando diferentes pontos críticos e perspectivas da estrutura, revelou divergências significativas nas alturas mínimas exigidas. Essa análise evidenciou que, em determinadas situações, o método considerado mais conservador pode não ser o mais adequado, ressaltando a importância de avaliações específicas para cada cenário.

6. TECNOLOGIA NACIONAL COM IMPACTO GLOBAL EM ENGENHARIA DE PROTEÇÃO

A plataforma **BRCLIGHTNING** adota essa lógica analítica, incorporando algoritmos matemáticos validados que conduzem à escolha mais adequada entre os métodos normativos, conforme a geometria e os requisitos técnicos de cada projeto. Com isso, viabiliza maior precisão, confiabilidade e aderência às normas técnicas, além de contribuir para decisões mais seguras e eficientes por parte dos projetistas.

6.7. Encerramento do Capítulo 6 e Introdução ao Capítulo 7

Os estudos de caso apresentados ilustram apenas algumas das múltiplas possibilidades de aplicação da lógica matemática implementada nos módulos computacionais da BRCLIGHTNING. Sua versatilidade permite atender a diferentes configurações geométricas, níveis de risco e critérios normativos, consolidando a plataforma como uma aliada estratégica no cotidiano de engenheiros e projetistas. Esse conteúdo será aprofundado com exemplos detalhados e aplicações práticas no **Volume 4 – Métodos de Proteção e BRCLIGHTNING**, que explorará com mais profundidade os recursos técnicos da ferramenta e seu impacto direto no dimensionamento de SPDAs.

Convidamos você a seguir para o **Capítulo 7**, onde será apresentada a estrutura completa da série técnica:

“Dimensões da Proteção: Série Técnica sobre Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas com apoio da BRCLIGHTNING.”

Essa coletânea reúne cinco volumes temáticos e complementares que abordam, de forma integrada, os diversos aspectos técnicos do projeto de SPDAs, sempre com base normativa atualizada e suporte das funcionalidades avançadas da plataforma.

FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

volume 1

7. **ENCERRAMENTO
DO VOLUME 1 E CONEXÃO COM
OS PRÓXIMOS TÍTULOS DA SÉRIE**

7. ENCERRAMENTO DO VOLUME 1 E CONEXÃO COM OS PRÓXIMOS TÍTULOS DA SÉRIE

O Volume 1 da série BRCLIGHTNING – Engenharia Aplicada à Proteção contra Descargas Atmosféricas estabeleceu um percurso técnico abrangente, partindo dos fundamentos físicos das descargas atmosféricas até a introdução prática de métodos de dimensionamento com suporte digital.

Ao longo deste volume, foram discutidos os aspectos essenciais do ambiente elétrico da atmosfera, os processos que originam as descargas, os diferentes tipos de raios e seus impactos. Também foram apresentados os princípios gerais da proteção, os modelos clássicos de dimensionamento — como o modelo eletrogeométrico — e os ganhos operacionais oriundos do uso de tecnologias digitais na engenharia de proteção.

A plataforma BRCLIGHTNING foi introduzida como uma solução tecnológica inovadora, construída com base em normas técnicas, validação científica e foco na usabilidade prática. O estudo de caso reforçou a importância da precisão matemática na tomada de decisões técnicas e evidenciou os riscos de abordagens baseadas exclusivamente em métodos convencionais ou intuitivos.

7.1. Continuação: Volume 2 – Princípios Fundamentais da Proteção

O próximo volume, Princípios Fundamentais da Proteção, aprofundará o conteúdo da ABNT NBR 5419-1, que estabelece os requisitos normativos para a definição da proteção contra descargas atmosféricas. Essa parte da norma fornece os fundamentos técnicos que sustentam a aplicação dos demais volumes da série, além de delimitar claramente os contextos de aplicabilidade — com ênfase nas limitações envolvendo estruturas especiais, como veículos, embarcações, plataformas offshore e tubulações subterrâneas.

Além disso, o Volume 2 oferecerá uma leitura técnica acessível mesmo ao público não especializado, facilitando a compreensão das decisões normativas e seu impacto direto nos projetos de SPDA. Seu conteúdo é essencial para compreender os critérios de avaliação, os requisitos mínimos de proteção e o papel da norma na preservação da vida, do patrimônio e da continuidade operacional.

7. ENCERRAMENTO DO VOLUME 1 E CONEXÃO COM OS PRÓXIMOS TÍTULOS DA SÉRIE

7.2. Série BRCLIGHTNING — Engenharia Aplicada à Proteção contra Descargas Atmosféricas

7.2.1 Próximos Volumes:

- **E-book BRCLIGHTNING - Volume 2** Fundamentos e Diretrizes da Proteção contra Descargas Atmosféricas (NBR 5419-1, literatura e normas e correlatas)
- **E-book BRCLIGHTNING Volume 3** Avaliação de Risco na Proteção contra Descargas Atmosféricas (NBR 5419-2, literatura e normas correlatas)
- **E-book BRCLIGHTNING - Volume 4** Métodos de Proteção contra Descargas Atmosféricas e Ferramentas BRCLIGHTNING (NBR 5419-3, literatura e normas correlatas)
- **E-book BRCLIGHTNING - Volume 5** Efeitos de Impulsos Eletromagnéticos e Compatibilidade Eletromagnética (EMC) em Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (NBR 5419-4, normas e literatura correlatas)

7.3. Epílogo: Conexão entre Conceito e Prática

Assim como uma captação bem-sucedida por captor tipo Franklin depende de três condições — formação, propagação e junção de líderes elétricos —, a proteção eficaz contra descargas atmosféricas exige a convergência entre **conhecimento técnico, metodologia adequada e tecnologia aplicada.**

Essa é a missão desta série de eBooks: conectar ciência e engenharia para oferecer soluções robustas, normatizadas e sustentáveis. Para que uma captura bem-sucedida incorpore essas três condições:

- Formação de um líder ascendente nos terminais do captor;
- Propagação estável desse líder em direção ao líder descendente;
- Junção final entre os dois canais.

Não abandone seu SPDA! Ele envelhece. Requer atenção contínua, manutenção periódica e reavaliações criteriosas para manter sua eficácia ao longo do tempo.

7. ENCERRAMENTO DO VOLUME 1 E CONEXÃO COM OS PRÓXIMOS TÍTULOS DA SÉRIE

7.4. Acesse a Plataforma e Cadastre-se

Para explorar os recursos da plataforma **BRCLIGHTNING** e acompanhar os próximos volumes da série, acesse nosso site e cadastre-se gratuitamente. Assim, você receberá notificações sempre que novos conteúdos forem publicados.

Na plataforma, é possível calcular gratuitamente o **ângulo de proteção de um SPDA com base em sua altura**, conforme a **Figura 1** da NBR 5419-3. Além disso, o sistema fornece automaticamente a **distância de proteção horizontal** correspondente.

Caso o usuário prefira, também pode informar diretamente a distância horizontal a ser protegida, e o sistema calculará a **altura mínima necessária do SPDA** e o ângulo correspondente, com base na classe de proteção selecionada. Todos os dados são apresentados de forma dinâmica e visual, incluindo um **gráfico interativo** com curvas específicas para cada classe, conforme ilustrado na **Figura 28**.

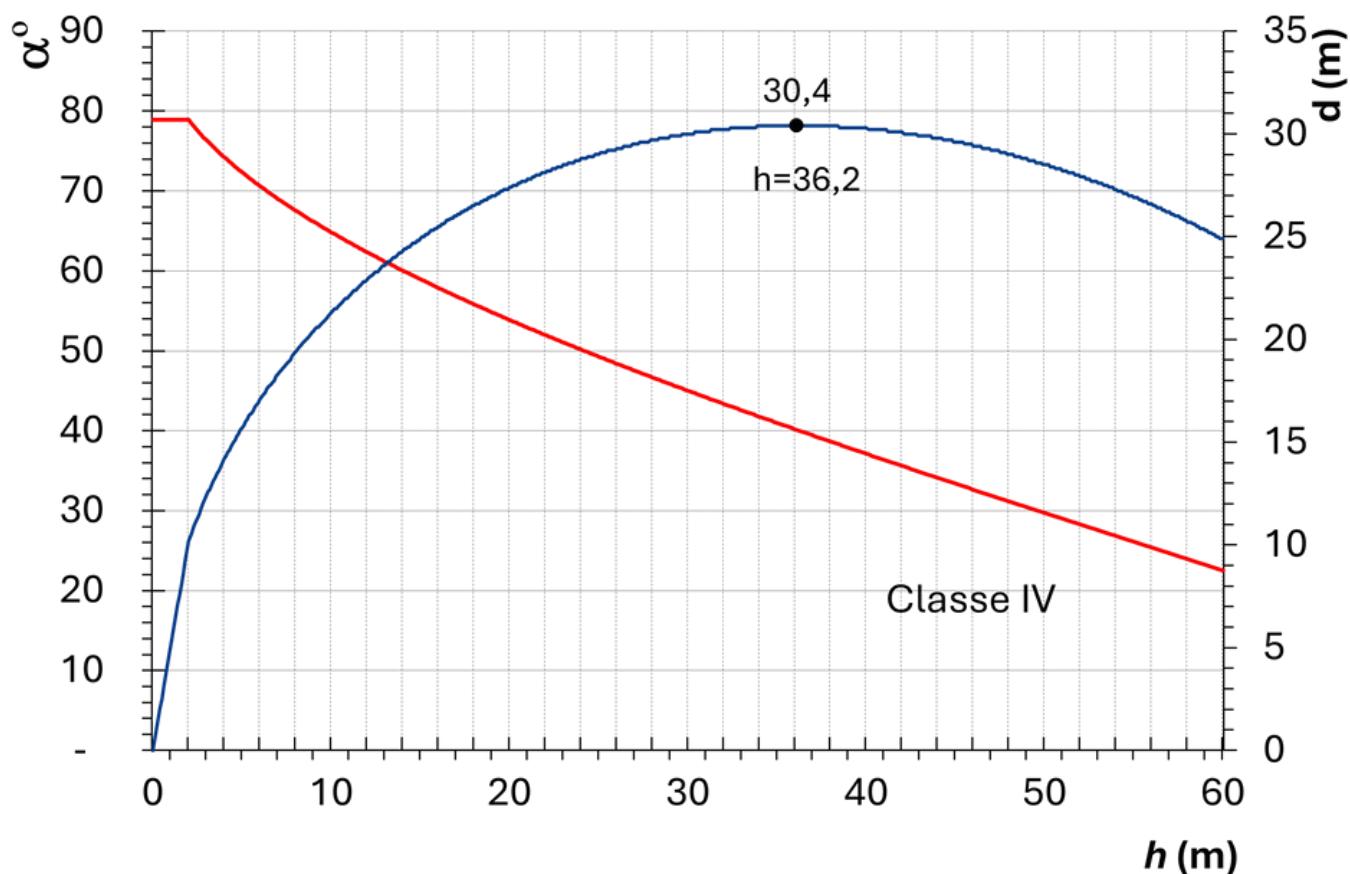


Figura 28 – Gráfico integrado da distância horizontal protegida x altura do SPDA x ângulo de proteção (Classe IV – $R = 60\text{ m}$)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Visacro Filho, Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. São Paulo, Brazil: Artliber Editora, 2005.
- [2] V. Cooray, Lightning protection, IET Power and Energy Series 58. London, U.K.: Institution of Engineering and Technology, 2010.
- [3] Grupo de Eletricidade Atmosférica – ELAT/INPE, “Relatórios institucionais e estatísticas nacionais,” 2024. [Online]. Available: ELAT/INPE website.
- [4] A. R. Panicali, J. C. O. Silva, C. F. Barbosa, and N. V. B. Alves, “Separation distance between external LPS and structure conductive parts,” in Proc. XIII Int. Symp. Lightning Protection (SIPDA), 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/SIPDA.2015.7339288.
- [5] F. H. Heidler and W. J. Zischank, “Necessary separation distances for lightning protection systems – IEC 62305-3 revisited,” in Proc. X Int. Symp. Lightning Protection (SIPDA), Curitiba, Brazil, 2009, pp. 1–6.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas — Parte 1: Princípios gerais, ABNT Catálogo, 2015.
- [7] International Electrotechnical Commission, IEC 62305-1: Protection against lightning – Part 1: General principles, IEC, 2024.
- [8] V. A. Rakov and M. A. Uman, Lightning: Physics and effects. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2003.
- [9] Y. Zhang and V. A. Rakov, “Measurement of a bipolar lightning discharge current waveforms,” J. Geophys. Res. Atmos., vol. 117, no. D19, 2012.
- [10] IEEE, IEEE Std 142-2007: Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems (Green Book). New York, NY, USA: IEEE, 2007.
- [11] Vaisala Xweather Annual Lightning Report 2024 – a estatística está alinhada com os dados públicos divulgados em 2024.
- [12] V. Cooray, The lightning flash, 2nd ed., IET Power and Energy Series 69. London, U.K.: Institution of Engineering and Technology, 2014.
- [13] International Electrotechnical Commission, IEC 62305-3: Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard, IEC, 2024.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas — Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida, ABNT Catálogo, 2015.
- [15] S. Ait and G. B. Hélita, “Attractive radius of elevated building,” in Proc. 28th Int. Conf. Lightning Protection (ICLP), Kanazawa, Japan, 2006.
- [16] O. Pinto Jr. and I. Cardoso, Brasil: campeão mundial de raios. São José dos Campos, Brazil: ELAT/INPE, 2010.
- [17] B. R. Araujo, “BRCLightning – Protection against atmospheric discharges on the palm of your hand,” in Proc. 2021 Int. Conf. Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Cape Town, South Africa, 2021, doi: 10.1109/ICECET52533.2021.9698418.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [18] B. R. Araujo, "BrcLightning - Risk analysis and scaling for protection against atmospheric discharge," in Proc. XV Int. Symp. Lightning Protection (SIPDA), 2019, pp. 1–8, doi: 10.1109/SIPDA47030.2019.8951666.
- [19] B. R. Araujo, "Mathematical modeling for analysis and design of LPS angle method," in Proc. XIV Int. Symp. Lightning Protection (SIPDA), 2017, pp. 42–48, doi: 10.1109/SIPDA.2017.8116897.
- [20] B. R. Araujo, "BrcLightning - Risk analysis and scaling for protection against atmospheric – Extender," Advances Sci., Technol. Eng. Syst. J., vol. 6, no. 1, pp. 1384–1402, 2021.
- [21] National Fire Protection Association, NFPA 780: Standard for the installation of lightning protection systems. Quincy, MA, USA: NFPA, 2023.
- [22] B. R. Araujo and J. T. Oliveira, "Mathematical approach methodology to analysis and design of LPS," in Proc. XIII Int. Symp. Lightning Protection (SIPDA), 2015.
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 14639: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor, ABNT Catálogo, 2014.
- [24] B. R. Araujo, "Mathematical approaches to LPS standards are a valuable ally in ensuring greater compliance for projects and safety for professionals," in Proc. Int. Symp. Lightning Protection (Grounding2024)/Lightning Physics and Effects (11th LPE), 2024.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO 1 - Imagem do Relatório da Figura 24

BRC Lightning

Método da Esfera Rolante

Cálculo de Verificação de Limites - Rev A

DEFINIÇÕES DO PROJETO E DO RESPONSÁVEL

Norma considerada NBR 5419-3
 Responsável Técnico BIAGIONE R ARAUJO - TESTE
 Nome do Projeto/REV Posto combustive

SPDA SPDA - 1 SPDA Isolado (Mastro) SPDA do suspiro dos tanques de combustivel
 ESTRUTURA Suspiro dos tanques
 Há uma atmosfera explosiva? SIM A estrutura está entre dois elementos captores? NÃO

DADOS DA PARAMETRIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DOS LIMITES DE PROTEÇÃO DO SPDA

Classe do SPDA Classe IV Raio 'R' da área classificada 1,50 m
 Altura de projeto 'hp' do SPDA 8,50 m
 Altura h1 da estrutura 6,00 m Largura L1 da estrutura 0,10 m
 Margem de cobertura 'mc' da envoltória do volume de proteção do SPDA 0,30 m

RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DE VERIFICAÇÃO DE LIMITES

Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-20 - Classe I (m): -1,08 m

Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-30 - Classe II (m): -0,63 m

Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-45 - Classe III (m): -0,27 m

Margem de cobertura 'mc' do SPDA para R-60 - Classe IV (m): -0,07 m

Altura Limite do ponto crítico da área explosiva da estrutura - h1L_Ae: 7,32 m

Distância horizontal Limite do ponto crítico da área explosiva da estrutura - d1L_Ae: 2,21 m

BRC Lightning

BRC Lightning © 2025 | Todos os direitos reservados.

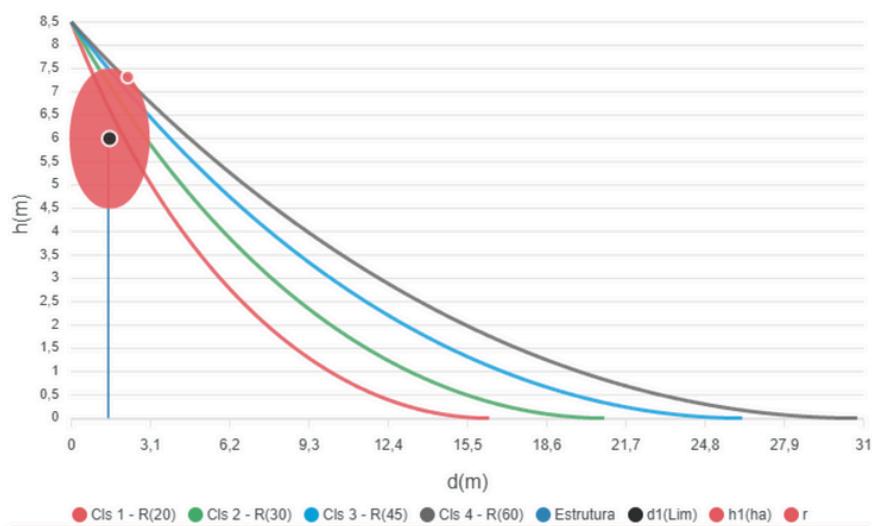
9. ANEXOS



Método da Esfera Rolante

GRÁFICO DO RESULTADO

Plano de cobertura do SPDA para a Classe IV e limite da estrutura com área classificada incorporada



Instalação inadequada.

Considerando os requisitos estabelecidos em projeto, o SPDA não fornece proteção adequada para nenhuma Classe(I, II, III e IV).

PARECER TÉCNICO

A instalação do SPDA apresenta diversos desvios normativos e não proporciona proteção contra impactos direto ao suspiros das tanques de combustível. Também, a área classificada (potencialmente explosiva, que por norma deve ser de 1,5m) não está dentro do volume de proteção do captor e afastada do limite desse volume por uma margem de cobertura adequado (foi considerada um margem de 0,3m), haja vista, que todas as margens calculadas estão com valor negativo.

Responsável Técnico: BIAGIONE RARAUJO
- TESTE
CREA/RN: 210469025

**FUNDAMENTOS DA PROTEÇÃO
CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS**
volume 1

**PROJETE COM PRECISÃO
E CONFIANÇA**

**Transforme o conhecimento deste material
em projetos otimizados.**

Ative agora seu acesso gratuito ao Simulador Técnico NBR 5419-3 e gere, em minutos, o ângulo de proteção ideal com memorial auditável e base 100% nas normas.

**ACESSE O LINK AGORA!
E ATIVE O SEU ACESSO**

BRC *Lightning*

BRC Lightning

ACOMPANHE NOSSAS REDES

 **LINKEDIN**

BRCLIGHTNING SERVICOS DE SOFTWARE LTDA

 **INSTAGRAM**

@BRCLIGHTNING

 **FACEBOOK**

BRCLIGHTNING

 **SITE**

BRCLIGHTNING.COM

 **YOUTUBE**

@BRCLIGHTNING