

# APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS COM ESTUDO DE CASO NUMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL

Luis Dartanhan de Oliveira Santos<sup>1</sup>  
Antônia Ferreira dos Santos Cruz<sup>2</sup>

## Resumo

Um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) é imprescindível para a maioria das edificações comerciais, residenciais, industriais etc. O presente artigo irá avaliar, através de um estudo de caso, um sistema de proteção que proporcione uma cobertura completa no que tange à estrutura física e à segurança de pessoas e de animais. Para a elaboração do projeto, foi analisado, inicialmente, se havia a necessidade de se projetar esse sistema na edificação. Para tanto, ocorreu a análise de risco considerando: avaliação do número anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas, avaliação da probabilidade de danos, análise da quantidade de perda, apreciação dos componentes de risco, riscos toleráveis e divisão da estrutura em zonas de análise. Após esta etapa, constatou-se a necessidade do SPDA para a edificação em estudo e, posteriormente, foram especificados os subsistemas de captação, de descida e de aterramento.

**Palavras-chave:** Descargas atmosféricas; Avaliação; Risco. Análise; SPDA.

## Abstract

An Air Discharge Protection System is imperative for most commercial, residential, industrial and other buildings. This article will evaluate, through a case study, a protection system that provides complete coverage regarding the physical structure, safety of people and animals. In order to prepare the project, it was initially analyzed whether the building had the need to design this system. Therefore, the risk analysis was carried out considering: evaluation of the annual number of dangerous events due to atmospheric discharges, evaluation of the probability of damages, analysis of the amount of loss, analysis of the risk components, tolerable risk and division of the structure into zones of analysis. It was verified the necessity of the SPDA for the building under study and, later, the subsystems of capture, subsystem of descent and ground subsystem were specified.

**Keywords:** Discharge Protection; Evaluation; Risk. Analyze; SPDA.

## 1 INTRODUÇÃO

O SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) corresponde a um sistema de proteção contra descargas atmosféricas que tem como objetivo proporcionar um caminho seguro para as correntes de descargas. A implantação desse sistema em edifícios comerciais é algo muito importante e que já deve ser previsto na maior parte dos projetos de novas edificações.

Um sistema de proteção não impossibilita que um raio atinja a estrutura, ele promove um meio para controlar as consequências associadas ao fluxo de elétrons da nuvem para o solo, garantindo assim a eficiência da proteção.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica da UNIFACS. E-mail: luisdartanhan@gmail.com

<sup>2</sup> Professora da UNIFACS. Coordenação de Engenharia Elétrica. E-mail: antonia.cruz@unifacs.br

Empregar uma proteção contra descargas permite criar-se uma espécie de blindagem na estrutura, tanto na parte estrutural externa quanto na interna, e para os ocupantes dessa edificação, contra efeitos térmicos, mecânicos e elétricos associados a esses raios.

Em edificações relativamente mais antigas, não se tinha uma preocupação com a proteção desses efeitos naturais. Entretanto, devido à grande incidência de raios em algumas localidades, tornou-se cada vez mais imprescindível a proteção dessas estruturas e de todos os seus subsistemas, a exemplo do sistema de energia e gás. Ao longo dos anos, tanto no Brasil como no resto do mundo, a norma técnica que trata de sistema de proteção contra descargas atmosféricas passou por profundas transformações em virtude do aprofundamento teórico sobre o assunto e do aperfeiçoamento tecnológico, no que se refere à tecnologia dos materiais dos sistemas de captação, distribuição de corrente (condutores de descidas para o solo) e aterramento. Na atualidade, um SPDA é uma realidade a que cada vez mais novas, ou mesmo antigas, edificações deverão se adequar, sob o intuito de se ter mais segurança.

Nesse segmento, o objetivo deste trabalho é avaliar a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas perigosas que podem ocorrer em uma edificação comercial. Portanto, após avaliação, ocorrerá a definição do nível de proteção do SPDA que será utilizado e, conseqüentemente, serão determinados os subsistemas de captação, descida e aterramento. Espera-se, que com a instalação de um sistema de proteção a probabilidade de uma descarga ocasionar um dano à estrutura e/ou pessoas seja praticamente nula.

O estudo de caso será desenvolvido com base na NBR 5419:2015, norma que trata do SPDA, visando garantir todos os requisitos mínimos de proteção. Além do emprego da Norma, o trabalho se utilizará de pesquisas em livros, dissertações, teses, artigos científicos, catálogos de fabricantes de equipamentos e pesquisas em sites de empresas governamentais e privadas relacionadas ao tema.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

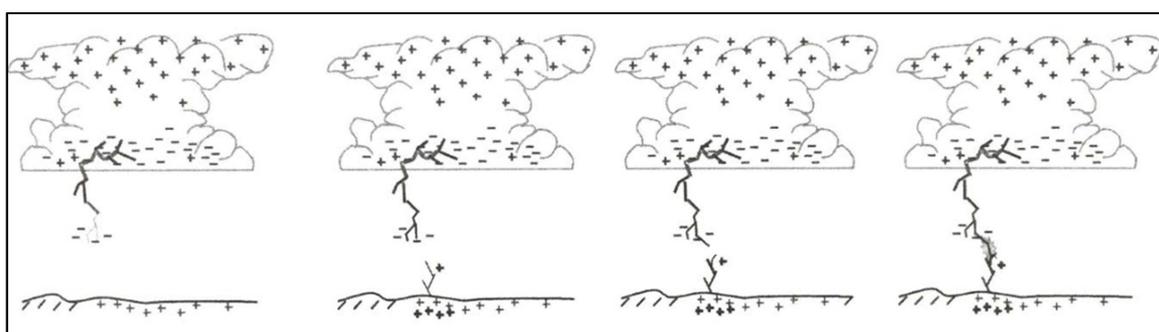
A passagem dos ventos de grande velocidade em contato com as nuvens, que a princípio são formadas por partículas de água, permite que haja internamente às mesmas a formação de grande concentração de cargas elétricas. No que respeita a esta formação das

cargas elétricas, obtém-se experimentalmente que as cargas positivas tendem a se localizar na parte superior da nuvem, e as cargas negativas na parte inferior, conforme Figura 1.

Cargas elétricas negativas induzem no solo ou em algum meio captor, como, por exemplo, no mar, topo de edificações e árvores, cargas elétricas positivas, permitindo assim que haja a formação de uma diferença de potencial que, segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), pode chegar a 100 milhões de volts. O ar atmosférico possui uma suportabilidade ao campo elétrico denominada de rigidez dielétrica. Segundo Silvério Visacro (2005), a rigidez dielétrica do ar vale aproximadamente 3MV / m. O campo elétrico, em determinadas regiões, supera a rigidez dielétrica do ar, permitindo o surgimento de uma descarga elétrica muito intensa, constituindo um canal ionizado de plasma, cujo comprimento possui dezenas de metros. À medida que ocorre esse deslocamento de cargas pelo ar, acontece o aumento da densidade de cargas positivas induzidas na superfície do solo ou edificação.

Quando o valor do campo elétrico gerado é ultrapassado, ocorrerá um deslocamento de cargas elétricas saindo da nuvem e indo em direção ao solo num trajeto cheio de ramificações. Essa descarga inicial é denominada de descarga descendente; à medida que este canal carregado negativamente se aproxima do solo, ocorre o aumento da densidade de cargas positivas induzidas no solo, podendo dar origem à descarga elétrica ascendente. Quando estas duas descargas se conectam, é formada a descarga principal ou corrente de retorno. Esse processo pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Processo de conexão dos canais ascendente e descende com salto final.



Fonte: Visacro Filho (2005, p. 39)

## 2.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

O Brasil é o país mais atingido por raios no mundo. Atualmente, caem cerca de 50 milhões de descargas atmosféricas por ano, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais – INPE (2016). A explicação é geográfica: o Brasil é o maior país da zona tropical do planeta, ou seja, área central onde o clima é mais quente e, portanto, mais favorável à formação de tempestades e de raios.

Segundo o ELAT – INPE (2016), há registros de 1792 mortes por raios. Constatou-se que 43% das mortes ocorrem durante o verão, devido à grande concentração de calor e umidade; além disso, cerca de 66,67% acontecem ao ar livre. As atividades agropecuárias lideram as circunstâncias com maior número de acidentes, isto é, ¼ de todas as mortes no país advém do trabalho no campo; isso se deve aos instrumentos utilizados por esses trabalhadores, como enxadas, pás e facões, ou seja, elementos metálicos que, expostos ao ambiente, podem facilitar a condução da corrente elétrica.

O estado de São Paulo concentra o maior número de vítimas da região sudeste. Segundo Ana Paula Santos (2016), esse dado estatístico é atribuído principalmente às mudanças climáticas que vêm influenciando de diversas formas uma maior incidência de raios. O aumento da emissão de gases poluentes na atmosfera acarreta uma maior probabilidade dos raios se formarem (INPE, 2016).

Além das perdas de vida humana, as descargas atmosféricas causam prejuízos às edificações industriais e de serviço essencial ao público, como sistema de energia (transmissão e distribuição), telefonia e gás.

No Brasil, existe a norma NBR 5419:2015, que trata de proteção contra descargas atmosféricas. Nela está presente todo o procedimento de análise para se verificar a obrigatoriedade ou não para adoção de um sistema de proteção do objeto em estudo, que pode ser, por exemplo, uma edificação comercial ou um posto de gasolina.

### **2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO**

O gerenciamento de risco estabelece alguns critérios para avaliar se a estrutura necessita ou não do SPDA. O gerenciamento referido corresponde ao pontapé de partida: uma vez identificada a estrutura e suas características, faz-se necessária uma análise da situação para que seja possível classificar todas as fontes de danos, tipos de danos, perdas e riscos da edificação. Após a análise desses parâmetros, é necessário avaliar o risco para cada tipo de perda e conseqüentemente definir as estratégias de proteção sempre que o valor de cada risco for superior ao nível admissível. Serão tabelados abaixo os fatores que serão utilizados para cálculos dos parâmetros (TERMOTÉCNICA, 2017).

- **Valores de probabilidade  $P_{TA}$  de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar choques a seres vivos**

Esses valores correspondem à probabilidade de uma pessoa ficar submetida a tensões de passo e de toque provocadas por descargas atmosféricas em uma estrutura em função das medidas de proteção adicionais adotadas; observa-se que a depender da medida protetiva adotada, a probabilidade da descarga causar choques se torna menor.

Tabela 1 – Valores de propriedade  $P_{TA}$ .

Valores de probabilidade $P_{TA}$	
Medida de proteção adicional	$P_{TA}$
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica, por exemplo, 3mm de polietileno	$10^{-2}$
Equipotencialização efetiva do solo	$10^{-2}$
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada com subsistema de descida	0

Fonte: NBR 5419 (2015)

- **Valores de probabilidade  $P_B$  em função das medidas de proteção para reduzir danos físicos**

No gerenciamento de risco, avaliam-se as características da edificação e seu respectivo conteúdo para ponderar a necessidade do SPDA. Na tabela abaixo, mostram-se as probabilidades de redução de danos para cada classe de proteção. Inicialmente, sempre se considera que a estrutura não é protegida por SPDA. Verificando-se a necessidade e proteção da edificação, adota-se uma determinada classe de SPDA, avaliando-se se o risco será reduzido a um valor menor que o tolerável.

Tabela 2 – Valores de propriedade  $P_B$ .

Característica da estrutura	Classe do SPDA	$P_B$
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,01

Fonte: NBR 5419:2015 (adaptado).

- **Risco tolerável**

Segundo a NBR 5419:2015, para cada tipo de perda existe um risco tolerável, sendo o risco de perda de vida humana o menos tolerável. Portanto, os valores da tabela abaixo servirão como padrão para se comparar com o valor do risco total calculado. Caso o risco calculado da edificação seja menor que o tolerável, deve-se adotar medidas de proteção e/ou adotar um SPDA, verificando-se posterior e novamente se o risco total é adequado com o valor padronizado.

Tabela 3 – Valores típicos de risco tolerável  $R_T$ .

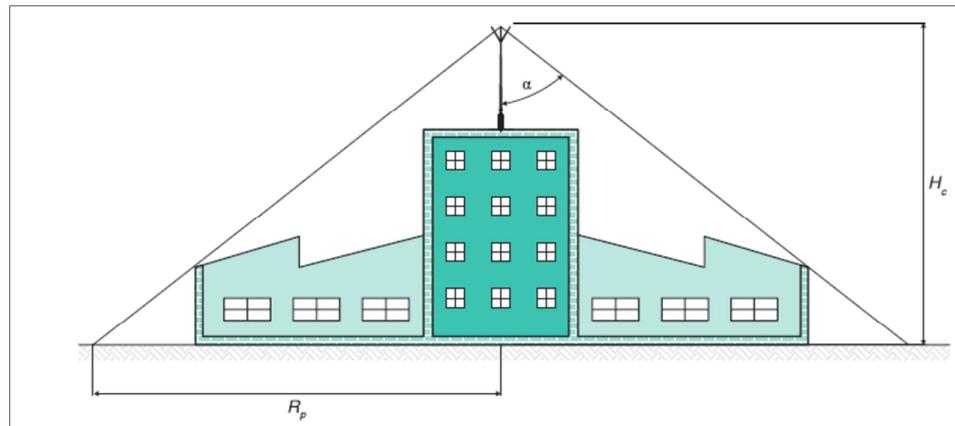
Tipo de perda		$R_T$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
L2	Perda de serviço ao público	$10^{-3}$
L3	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$

Fonte: NBR 5419 (2015)

## 2.4 FILOSOFIA DE PROTEÇÃO “FRANKLIN”

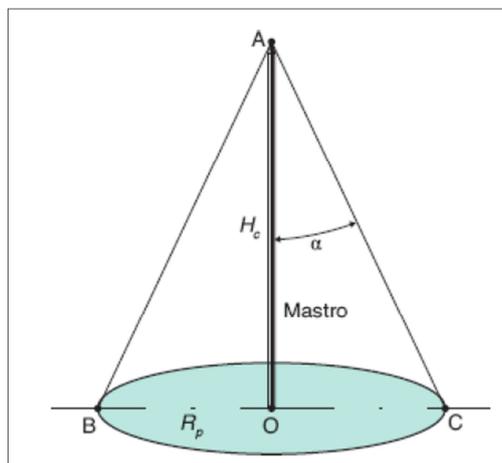
O método de proteção Franklin ou ângulo de proteção consiste da interceptação de raios que se aproximam da estrutura por meio de captor. Esse captor é sustentado pelo mastro posicionado na parte superior da estrutura. Esses para-raios formam um cone de proteção cujo vértice corresponde à extremidade superior do captor e cujo ângulo da geratriz com a vertical varia de acordo com a classe de proteção adotada. Se a área do cone for menor do que a estrutura protegida, deve-se escolher um captor maior e/ou colocar mais captores com o intuito de proteger toda a edificação (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 2 – Edificação protegida com o para-raios Franklin



Fonte: Mamede Filho (2017, p. 645)

Figura 3 – Volume de proteção provido pelo mastro do para-raios



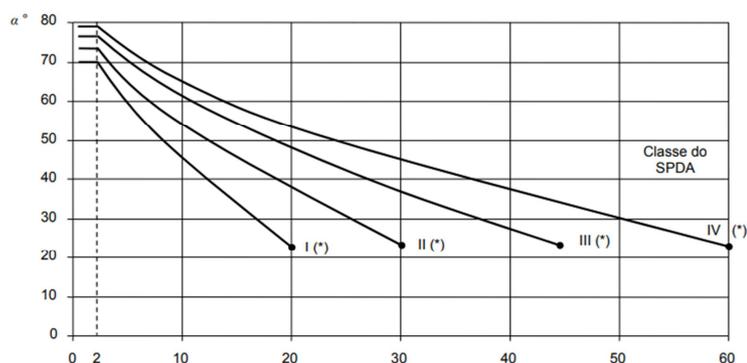
Fonte: Mamede Filho (2017, p. 644)

Sendo o  $H_C$  a altura do captor, o  $R_p$  correspondente ao raio de proteção, o ângulo “ $\alpha$ ” obtido a partir da classe do SPDA adotado e a altura  $H_C$ , o raio de proteção pode ser calculado através da equação [1]:

$$R_p = H_C \times \tan \alpha \quad [1]$$

Segundo a Norma NBR 5419-3:2015, podem ser obtidos os valores dos ângulos  $\alpha$  com auxílio do gráfico 1.

Gráfico 1 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

O número de descidas deve ser em função do nível de proteção desejado e do afastamento entre os condutores de descida, de acordo com a tabela 4 é calculado pela equação [2].

$$N_{CD} = \frac{P_{CD}}{D_{CD}} \quad [2]$$

Onde:  $P_{CD}$  é o perímetro da construção (metros) e o  $D_{CD}$  é o espaçamento entre os condutores de descida, dado a Tabela 4.

Tabela 4 – Espaçamentos típicos entre os condutores de descida

Classe do SPDA	Espaçamento em m
I	10
II	15
III	15
IV	20

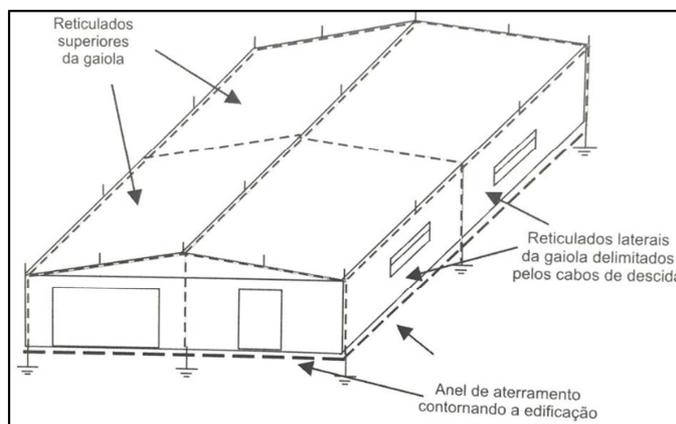
Fonte: NBR 5419 (2015)

## 2.5 FILOSOFIA DE PROTEÇÃO “GAIOLA DE FARADAY”

O método das malhas, como também é conhecido, fundamenta-se na constituição de uma gaiola metálica envolvendo uma estrutura, na qual o campo eletromagnético no interior da mesma é nulo quando são percorridas pelas correntes de descargas. A indicação do método das malhas é para telhados horizontais planos sem curvaturas. Para que essa filosofia seja efetivada, deverá existir interligação da malha condutora envolvendo toda a estrutura; assim, terá um condutor fixado sobre as laterais da superfície superior e dele irão derivar os

condutores de descida, e cada um desses condutores se conectará ao eletrodo de aterramento enterrado no solo (VISACRO FILHO, 2005).

Figura 4 – Proteção por gaiola de Faraday



Fonte: Visacro Filho (2005, p. 238)

A NBR 5419:2015, determina que o afastamento dos condutores da malha esteja de acordo com a classe de proteção adotada para o SPDA – esses valores podem ser encontrados na Tabela 05. Quando se utiliza o método de proteção das malhas, a Norma NBR 5419:2015 não obriga a utilização de minicaptadores, porém, se os mesmos forem usados ao longo dos condutores da malha, poderão evitar que o centelhamento devido ao impacto da descarga atmosférica danifique os equipamentos da cobertura (MAMEDE FILHO, 2017).

Tabela 5 – Dimensões da malha de acordo com a classe do SPDA

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores da malha (m)
I	5 X 5
II	10 X 10
III	15 X 15
IV	20 X 20

Fonte: NBR 5419 (2015)

## 2.6 MODELO ELETROGEOMÉTRICO (ESFERA ROLANTE)

O modelo eletrogeométrico consiste em desenhar-se uma esfera fictícia, com raio de acordo com a Tabela 6, em todos os sentidos e direções sobre o topo e fachadas da estrutura

(Figura 4). Ao rolar essa esfera, se nenhum ponto da edificação tocá-la, com exceção do sistema de captação, pode-se afirmar que a área está protegida. Os métodos de Franklin e gaiola de Faraday, compostos de mastros, captosres e condutores, são instalados ao longo de toda a estrutura; portanto, para se afirmar que esses elementos foram posicionados e dimensionados corretamente, utiliza-se esse método da esfera rolante, a fim de garantir a eficácia do projeto (SOUZA, 2016).

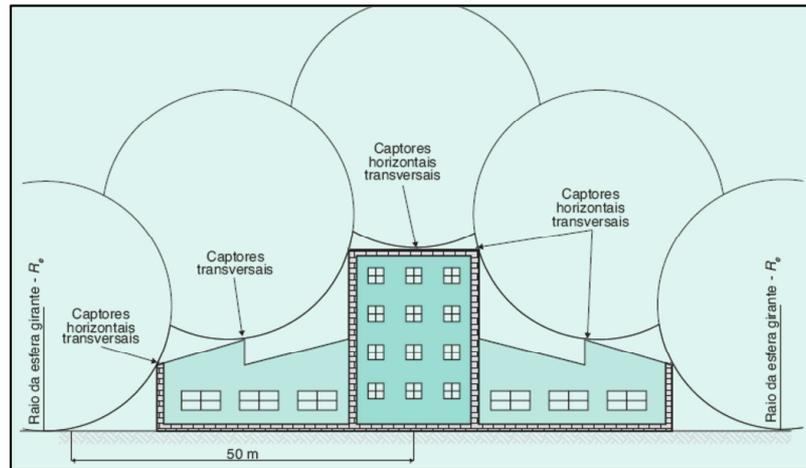
Tabela 6 – Valores do raio da esfera em função da classe do SPDA.

<b>Classe do SPDA</b>	<b>Raio da esfera rolante (m)</b>
I	20
II	30
III	45
IV	60

Fonte: NBR 5419 (2015)

De acordo com a Tabela 6, mostrada acima, quanto maior for a classe do SPDA maior será o raio da esfera fictícia. Para estruturas com alturas superiores a 60 metros, a probabilidade de impactos no topo e nas laterais por descargas atmosféricas é maior, ou seja, deixa de ser desprezível do que para construções com altura até 60 metros. Nesse contexto, para solucionar o problema, recomenda-se que, além da captação superior, exista a instalação de sistemas de captação lateral (ALVES, 2016).

Figura 5 – Aplicação do método esfera rolante numa superfície irregular



Fonte: Mamede Filho (2017)

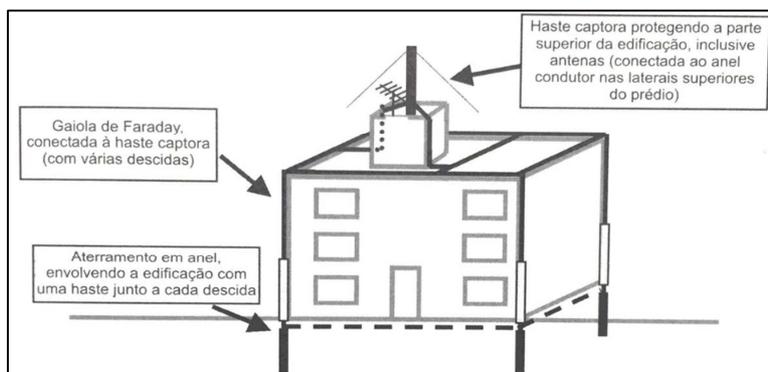
## 2.7 SISTEMAS HÍBRIDOS

Em muitas situações, devido à forma e complexidade da estrutura, não se consegue adotar uma única filosofia de proteção. Para tanto, em diversas aplicações, tem sido adotada a configuração denominada híbrida, mostrada na Figura 6. Esta tenta aproveitar o que há de melhor de cada filosofia de proteção. Essencialmente, adota-se a proteção pelo método das malhas (gaiola de Faraday), acrescentada por um sistema de captação tipo Franklin, para proteção específica dos corpos elevados na parte superior da estrutura, como antenas e reservatórios de água (VISACRO FILHO, 2005).

Na configuração híbrida, sempre é colocado um anel condutor envolvendo a periferia da parte superior da edificação (laje ou telhado). Esses dois sistemas são integrados de tal forma, que os próprios condutores que conectam as hastes Franklin ao cabo periférico da cobertura são dispostos de modo a constituir reticulados superiores (Figura 5). Essa configuração poderá ser eficiente, sempre que a geometria da estrutura permitir a sua implementação (VISACRO FILHO, 2005).

Descargas que incidem na cobertura da estrutura são captadas pelos condutores ou hastes superiores da cobertura. Posteriormente, essa corrente de descarga seguirá pelos condutores de descida (normalmente nas quinas) e chegará até a destinação final, que é o condutor de aterramento (VISACRO FILHO, 2005).

Figura 6 – Configuração híbrida



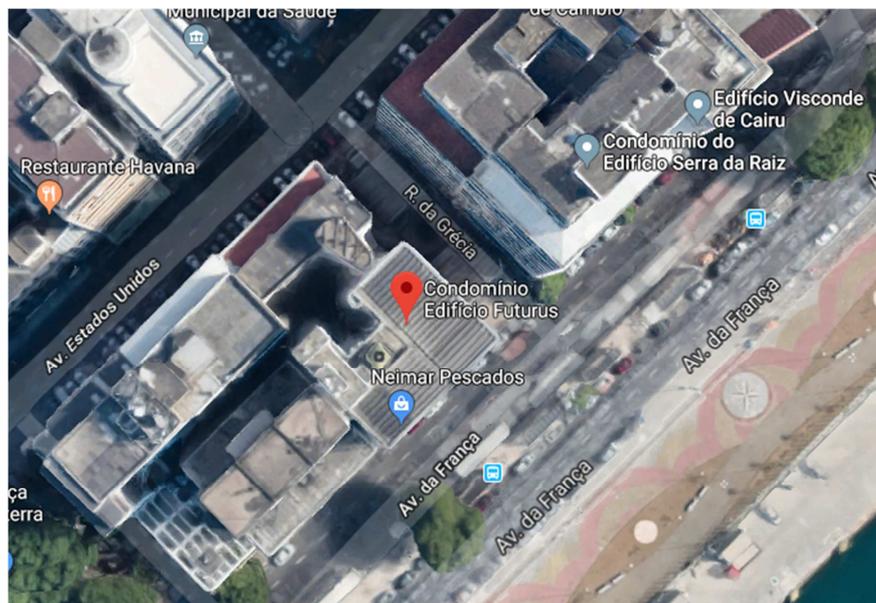
Fonte: Visacro Filho (2005 p. 243)

### 3 O PROJETO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO “EDIFÍCIO FUTURUS”

O edifício Futurus localiza-se no município de Salvador - Bahia. O presente imóvel possui 14 pavimentos, sendo que, desse total, 12 pavimentos contêm 11 salas comerciais e os outros dois correspondem à garagem e portaria. O prédio não possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, o que o deixa vulnerável à ocorrência de prejuízos à estrutura e às instalações internas, caso haja uma descarga. A edificação possui uma área total de 6.440,49 m<sup>2</sup> e está posicionada em frente ao mar, o que requer todo cuidado na especificação da proteção contra descarga, tanto no que se refere à proteção de toda a estrutura, quanto à determinação dos materiais a serem utilizados, levando-se em consideração a agressividade natural promovida pelo salitre.

Figura 7 – Localização Edifício Futurus



Fonte: Google Maps (2018).

### 3.2 AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Inicialmente, foi necessário analisar a real necessidade da edificação para instalação de um SPDA utilizando o gerenciamento de risco, parte II da ABNT NBR 5419/2015. Como constatou-se a real necessidade, foi determinada a classe do SPDA, sistema de captação, descida e aterramento. Para a edificação foram especificadas outras medidas de proteção, como DPS (Dispositivo de Proteção contra Surto), avisos de alerta, barramento de equipotencialização geral e local.

Para se chegar a essa conclusão, levou-se em conta os tipos de perdas possíveis nessa edificação. Segundo a NBR 5419:2015 – Parte II, as possíveis perdas são:

- a) L1: Perda de vida humana;
- b) L2: Perda de serviço ao público;
- c) L3: Perda de patrimônio cultural;
- d) L4: Perda de valores econômicos (estrutura e seu conteúdo, instalação de serviço e perda de atividade).

Para o edifício Futurus, foi adotada apenas a perda L1. A perda L2 não foi considerada, pois a edificação não oferece qualquer serviço ao público, tal como distribuição

de energia, telecomunicações ou gás. A edificação não corresponde a um prédio tombado e/ou não possui obras de arte, logo não foi calculada a perda L3. Para esse estudo, a perda L4 não foi considerada pois, a sua quantificação não é obrigatória.

### **3.3 AVALIAÇÃO DO NÚMERO ANUAL DE EVENTOS PERIGOSOS DECORRENTES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (NX)**

Para avaliação do número anual de eventos perigosos, foi necessário conhecer a densidade de descarga para a terra, área de exposição equivalente da edificação e os números médios anuais de descargas na estrutura e linha de energia.

- **Densidade de Descargas para a terra (Ng)**

O número de descargas atmosféricas pode ser avaliado a partir de sua densidade, que corresponde às características da região onde está localizada a edificação ou estrutura, bem como às suas características físicas, ou seja, edifício, torres, tanques etc. Este valor de densidade é disponibilizado através do site do INPE. Portanto, através dessa consulta pôde-se obter o valor do Ng referente ao bairro do Comércio, Salvador – BA, onde localiza-se o prédio em estudo.

O Ng encontrado foi:

$N_g = 0,5$  (descargas / km<sup>2</sup> / ano), ou seja, uma média de um raio a cada dois anos.

- **Análise do número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas (N<sub>D</sub>)**

Serão consideradas as descargas atmosféricas que atingem a estrutura. Foi necessário conhecer as medidas da estrutura; alguns parâmetros foram calculados a partir dessas medidas e outros por valores tabelados da NBR 5419/2015. Os valores dessas dimensões são:

L = Comprimento (m)

W = Largura (m)

H = Altura (m)

A área de exposição equivalente (A<sub>D</sub>) foi calculada e corresponde à área do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta sua altura.

$$A_D = L \times W + (3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad [3]$$

Onde: L, W e H valem respectivamente 23, 20 e 40 m; o valor total da área de exposição que deverá ser protegida é igual 6.440,49 m<sup>2</sup>.

- **Número de eventos perigosos para a estrutura (N<sub>D</sub>)**

Para calcular esse parâmetro, além de saber o  $N_G$  e  $A_D$ , foi preciso conhecer o fator de localização da estrutura ( $C_D$ ). Esse valor foi extraído da NBR 5419:2015 parte II. Em relação ao edifício Futuros, analisaram-se as estruturas ao seu redor, verificando-se que os prédios em seu entorno têm mesma altura ou são mais baixos, logo o  $C_D = 0,5$  encontrado na NBR 5419:2015. O número de eventos perigosos à estrutura pode ser calculado através da equação [4].

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad [4]$$

Como já foram descritos e determinados os parâmetros  $N_G$  e  $A_D$ , o valor que representa o número de eventos para a estrutura corresponde a 0,014 / ano.

- **Avaliação do número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha ( $N_L$ )**

Observando-se a equação abaixo, verifica-se que apenas o parâmetro  $N_G$  é conhecido. Os parâmetros  $C_I$  (fator de instalação da linha),  $C_T$  (fator ambiental) e  $C_E$  (fator ambiental da linha) foram extraídos da NBR 5419:2015 parte II. A princípio, calculou-se a área de exposição equivalente da linha. A linha de energia que adentra no prédio é enterrada ( $C_I = 0,5$ ), o fator do tipo de linha ( $C_T$ ) é igual a 1 e o edifício encontra-se em área urbana com edificações possuindo altura superior a 20 metros, e, portanto, o ( $C_E$ ) adotado foi 0,01. A área de exposição equivalente e o número de eventos podem ser calculados pelas respectivas equações [5] e [6]:

$$A_L = 40 \times L_L \quad [5]$$

Onde:  $L_L$  é o comprimento da linha, e, segundo a NBR 5419:2015, pode-se adotar o valor 1000 quando não se conhece o valor preciso desse comprimento. Logo, a área de exposição equivalente no que se refere à linha é igual 40.000 m<sup>2</sup>.

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad [6]$$

Dessa forma, encontrou-se 0,0001/ano referente ao número de eventos perigosos provenientes de descargas na linha de energia.

### **3.4 AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE DANOS ( $P_X$ )**

Nesta etapa, foram calculadas as probabilidades de danos causarem prejuízos aos seres vivos. Para evidenciar essas probabilidades, foram levadas em consideração descargas atmosféricas que atingem a estrutura e as linhas de energia.

- **Probabilidade  $P_A$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico**

As tensões de toque e de passo provocadas nos seres vivos devido a descargas atmosféricas ocorridas em uma estrutura estão relacionadas às medidas adotadas, ao nível de proteção adotado e ao nível de proteção determinado no projeto de SPDA. Para a edificação em pauta, serão colocados avisos de alerta, conseqüentemente, o valor do  $P_{TA}$  (Tabela 1) será  $10^{-1}$ . Primeiramente, para a probabilidade  $P_B$  (Tabela 2), foi determinado que a edificação não era protegida por um SPDA, logo o valor adotado é igual a 1, pois o objetivo dessa primeira análise foi verificar se a edificação possuía a necessidade de implantação de proteção contra descargas atmosféricas. Após a constatação da necessidade, especificou-se a classe do SPDA e houve a necessidade de atualizar o valor de  $P_B$ . A  $P_A$  foi calculada pela equação [7].

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad [7]$$

Assim, a probabilidade de uma descarga causar ferimentos aos seres vivos é de 0,1 ou 10%.

- **Probabilidade  $P_B$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos**

A probabilidade  $P_B$  é um valor adequado para reduzir a probabilidade de ocorrência de danos físicos provenientes de uma descarga atmosférica. O valor de  $P_B$  utilizado é igual a 1, pois nessa primeira etapa de avaliação foi preciso verificar a necessidade de implantação de tal sistema. Caso, ao final dessa verificação, fosse constatado que a edificação não possuía a necessidade de implantação de um PDA (Proteção contra Descargas Atmosféricas), o mesmo não seria especificado.

- **Probabilidade  $P_U$  de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico**

A probabilidade foi calculada utilizando-se a equação [8].

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad [8]$$

O valor  $P_{TU}$  utilizado é o mesmo adotado para o  $P_{TA}$ , ou seja,  $10^{-1}$ , pois adotaram-se avisos de alerta como medida de proteção contra tensões de toque. O  $P_{EB}$  será igual a 1 devido ao fato de não se ter adotado DPS no primeiro momento de análise. A tensão suportável de impulso tomada para a linha de energia foi de 2,5 kV ( $P_{LD} = 1$ ) e a linha de energia que

adentra no edifício é subterrânea e não blindada ( $C_{LD} = 1$ ), tabelado na NBR 5419:2015. Substituindo-se todos esses valores na equação [6], a probabilidade  $P_U$  é igual a 0,1 ou 10%.

- **Probabilidade  $P_V$  de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar danos físicos**

Para este cálculo, seguiu-se a mesma formulação do item acima, porém não se adotou o  $P_{TU}$ , portanto os respectivos valores de  $P_{EB}$ ,  $P_{LD}$  e  $C_{LD}$  valem 1, 1 e 1; logo, o valor de  $P_V$  é encontrado através da equação [9]:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad [9]$$

O valor encontrado para essa probabilidade é igual a 1 ou 100%.

### 3.5 ANÁLISE DA QUANTIDADE DE PERDA ( $L_X$ )

Nessa etapa, foram classificados todos os tipos de perda e danos possíveis para essa edificação. A perda  $L_X$  está relacionada às perdas de vida humana ( $L_1$ ); perdas essenciais de serviço ao público ( $L_2$ ); perdas inaceitáveis ao patrimônio cultural ( $L_3$ ); e perdas econômicas ( $L_4$ ). A cada tipo de perda será associado um tipo de dano correlacionado. Esses danos são: ferimentos devido ao choque (D1), danos físicos (D2) e falhas em sistemas internos (D4).

- **Perda de vida humana ( $L_1$ )**

Segundo a NBR 5419, para este tipo de perda levam-se em consideração todos os três tipos de danos, originando as equações [10], [11] e [12].

- ✓ Dano  $D_1$ :

$$L_A = L_U = r_t \times L_T \times \frac{Nz}{Nt} \times \frac{Tz}{8.760} \quad [10]$$

- ✓ Dano  $D_2$ :

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times \frac{Nz}{Nt} \times \frac{Tz}{8.760} \quad [11]$$

- ✓ Dano  $D_3$ :

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_0 \times \frac{Nz}{Nt} \times \frac{Tz}{8.760} \quad [12]$$

O parâmetro  $r_t$  presente no dano  $D_1$  corresponde a um fator de redução de perda de vida humana em função do tipo de superfície do solo ou piso da estrutura. O valor adotado para o edifício Futurus é  $10^{-3}$ , pois o piso da edificação é feito de cerâmica que oferece uma resistência de contato de 1 a 10 k $\Omega$  (NBR 5419:2015).

O parâmetro  $L_T$  corresponde ao número médio relativo de vítimas feridas por choques elétricos (D1); neste estudo, o valor corresponderá a  $10^{-2}$ , ou seja, para qualquer tipo de estrutura (NBR 5419:2015).

Nesta pesquisa, apenas uma zona foi considerada. O número de pessoas na zona ( $n_z$ ) e o número total de pessoas ( $n_t$ ) no Futuros, assim como o tempo de permanência das pessoas na zona ( $T_Z$ ), em horas / ano, foram informados pela administração do prédio. Como a edificação possui apenas uma zona, o valor de  $n_z = n_t$ . O tempo de permanência ( $T_Z$ ) de pessoas foi considerada uma média de 12 horas / dia, totalizando 4380 horas / ano. Diante desses dados, os valores encontrados para  $L_A$  e  $L_U$  são iguais a  $5 \times 10^{-6}$ .

Em relação aos danos físicos (D2), tem-se o fator de redução  $r_p$  que está relacionado com determinadas providências de segurança a serem tomadas. Na edificação em pauta, foram adotados: instalação de extintores de incêndio, alarme e placas de aviso. O valor de  $r_p$ , neste caso, será igual a 0,5 (NBR 5419:2015).

O parâmetro  $r_f$  corresponde ao fator de redução das perdas em função dos danos físicos, dependendo do risco de explosões ou incêndios provenientes de uma descarga atmosférica. O valor  $r_f$  considerado para o edifício foi  $10^{-1}$ , ou seja, risco de incêndio alto (NBR 5419:2015).

O fator  $h_z$  indica um aumento de perda caso um perigo especial esteja presente, como dificuldade de evacuação, localidade designada a eventos culturais etc. Neste estudo, o valor obtido para  $h_z$  é 5, pois apresenta nível médio de pânico (NBR 5419:2015).

O número relativo médio típico de vítimas ( $L_f$ ) por danos físicos (D2) é devido a um evento perigoso decorrente de uma descarga atmosférica. Para o edifício Futuros será adotado o valor de perda típico, igual a  $2 \times 10^{-2}$  por se tratar de uma edificação comercial. Deste modo, o valor de perda  $L_B$  e  $L_V$  vale  $2,5 \times 10^{-3}$  (NBR 5419:2015).

O dano D3 não será calculado, pois a edificação não corresponde a uma unidade hospitalar e não tem risco de explosão.

- **Perdas inaceitáveis em serviço público ( $L_2$ )**

O edifício Futurus é um prédio comercial e não possui qualquer sala comercial que preste serviço essencial ao público, como serviço de fornecimento de energia elétrica, gás ou telecomunicações, e portanto não será levado em consideração no gerenciamento de risco.

- **Perdas inaceitáveis em patrimônio cultural (L<sub>3</sub>)**

O prédio em questão não corresponde a uma edificação tombada pelos institutos responsáveis e também não possui patrimônio cultural algum. Logo, não se fez necessário apreciar essa perda.

### 3.6 ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO

O risco corresponde ao valor provável da perda média anual (vidas e bens materiais) em relação ao valor total da estrutura protegida. Esses riscos dependem do número médio anual de descargas da localidade onde se encontra a edificação, das probabilidades de danos e do quantitativo de perdas que foram calculadas nos itens acima. Após calculados os riscos, deve-se compará-los com valores toleráveis determinados na norma e, caso algum risco ultrapasse o valor tolerável, medidas de proteção deverão ser empreendidas para os mesmos atendam os riscos toleráveis (TERMOTÉCNICA, 2017).

Segundo a NBR 5419 parte II, a distribuição dos riscos é dividida em quatro fontes de danos (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub>), e cada uma delas é associada até três tipos de danos (D1, D2 e D3).

- **Risco de perda de vida humana em uma estrutura**

Para o edifício mencionado, será calculado apenas o risco R<sub>1</sub>, que corresponde ao risco de perda de vida humana.

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad [13]$$

R<sub>A</sub> = Risco de choque, proveniente de uma descarga atmosférica na estrutura.

R<sub>B</sub> = Risco de incêndio, proveniente de uma descarga atmosférica na estrutura.

R<sub>U</sub> = Risco de choque, proveniente de uma descarga atmosférica na linha de energia.

R<sub>V</sub> = Risco de incêndio, proveniente de uma descarga atmosférica na linha de energia.

Todas as variáveis das equações [14], [15] e [16], respectivamente, foram especificadas nos itens anteriores. Calculou-se, nesse aspecto, cada risco (R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, R<sub>U</sub> e R<sub>V</sub>) separadamente, e posteriormente encontrou-se o risco total, R<sub>1</sub>.

$$\checkmark \mathbf{R_A} \quad R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad [15]$$

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad [14]$$

$$R_A = 7 \times 10^{-9}$$

$$R_B = 3,5 \times 10^{-5}$$

$$\checkmark \mathbf{R_U}$$

$$\checkmark \mathbf{R_B} \quad R_U = N_L \times P_U \times L_U \quad [16]$$

$$R_U = 5 \times 10^{-11}$$

$$R_V = N_L \times P_V \times L_V \quad [17]$$

$$R_V = 2,5 \times 10^{-7}$$

### ✓ $R_V$

A partir dos valores calculados anteriormente é possível determinar o risco  $R_1$ , o qual tem risco tolerável ( $R_{1T}$ ) de  $1 \times 10^{-5}$  (Tabela 3). O risco total foi calculado através da equação [16].

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad [18]$$

Somando-se os riscos  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$ , o valor encontrado é  $3,52 \times 10^{-5}$ . Pode-se concluir, por meio do resultado mostrado acima, que o valor de  $R_1$  é maior que o tolerável ( $R_1 > R_{1T}$ ); logo, a edificação necessita de um SPDA.

## 3.7 DETERMINAÇÃO DA CLASSE DO SPDA

Após a constatação da necessidade de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para a edificação, o próximo passo foi definir a classe do SPDA.

Segundo a NBR 5419, existem 4 classes, sendo elas: nível I, nível II, nível III e nível IV. Quanto menor for o número da classe, maior será o aparato de proteção; por exemplo: a captação terá um tamanho maior e existirão mais condutores de descida.

Quando se escolhe uma classe, faz-se relevante recalcular o parâmetro  $R_A$  e  $R_B$ , pois os parâmetros  $P_A$  e  $P_B$  sofrem alteração, o que, inevitavelmente, influenciará no cálculo do risco total. Se o novo risco calculado ainda estiver maior que o risco tolerável ( $R_{1T}$ ), é preciso mudar para a classe III, e assim sucessivamente.

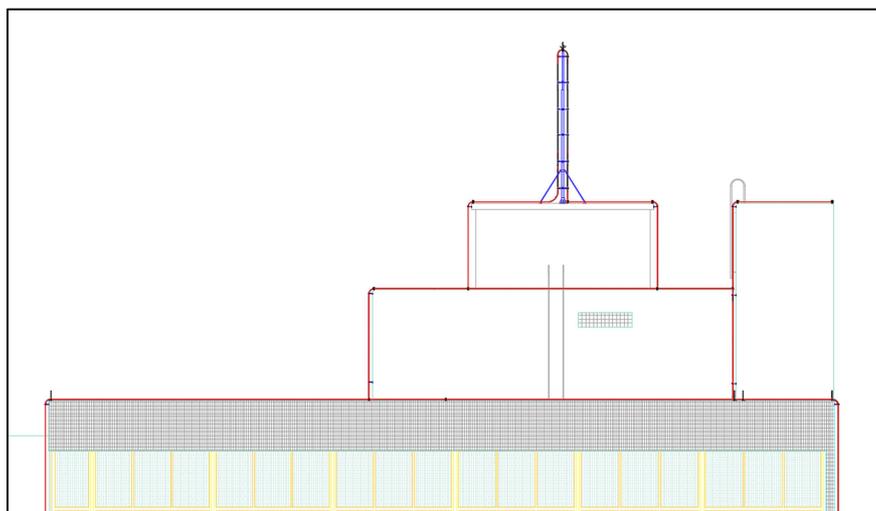
Para o edifício Futurus, a princípio foi adotada a classe IV, e o valor de  $P_B$  sai de 1 e vai para 0,2, conforme Tabela 2. Realizando os cálculos que dependem desses parâmetros, o novo risco total, que era de  $3,52 \times 10^{-5}$ , passa para  $0,7 \times 10^{-5}$ , por conseguinte, menor que o risco tolerável. A partir desse novo valor encontrado para o risco, pôde-se afirmar que, de fato, a classe IV atende a edificação e portanto os subsistemas de captação, descida e aterramento foram especificados.

## 3.8 IMPLANTAÇÃO DO SPDA

Após a definição da classe de proteção do SPDA para proteção do edifício, foram especificados todos os elementos necessários para garantia da eficiência do sistema. O SPDA

adotado será externo, contendo um sistema de captação híbrido (método de Faraday associado ao método de Franklin) e descidas por intermédio de condutores de cobre nu.

Figura 8 – Sistema híbrido do edifício



Fonte: Elaboração Própria (2018)

### 3.9 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

No edifício Futurus adotaram-se os três subsistemas existentes, sendo eles: método do ângulo de proteção (método de Franklin), método de Faraday e comprovação da eficácia das duas filosofias através do método da esfera rolante.

- **Método do ângulo de proteção ou Franklin**

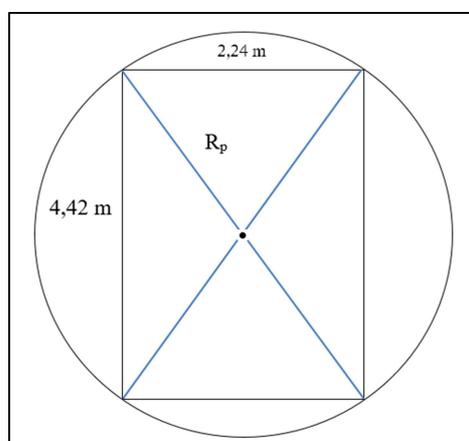
Para este objeto de estudo, o método de Franklin foi empregado apenas para uma parte do terraço da edificação; o mesmo protegerá o sistema de antenas e o reservatório de água (ilustrado na Figura 9). Em torno do reservatório aludido desenhou-se uma circunferência fictícia, e foi colocado no centro do mesmo um para-raios tipo Franklin. Para especificar o raio de proteção, inicialmente foram consideradas as dimensões dessa estrutura, que correspondem a 2,24 m de largura e 4,42 m de comprimento. Utilizando-se o teorema de Pitágoras, determinou-se o raio de proteção mínimo que o captor posicionado no centro da estrutura deverá proporcionar. A equação [19] propiciou determinar o raio de proteção.

$$R_{\text{Proteção}} = \sqrt{\frac{C^2 + L^2}{2}} \quad [19]$$

Onde:  $C$  é o comprimento da estrutura e  $L$  a largura. Como o raio de proteção equivale à metade da hipotenusa do triângulo retângulo, o seu valor necessitou ser dividido por dois. Assim, o valor encontrado foi de 2,50 m.

Portanto, escolheu-se um captor de 2 metros de altura, e utilizando-se a curva correspondente à classe IV do Gráfico 1, percebe-se que o ângulo de proteção é  $80^\circ$ . Substituindo-se esse ângulo e altura do captor na equação [1], o raio de proteção que efetivamente esse captor proporcionará é igual a 5,6 metros, ou seja, superior ao mínimo determinado.

Figura 9 – Captor no centro do reservatório de água



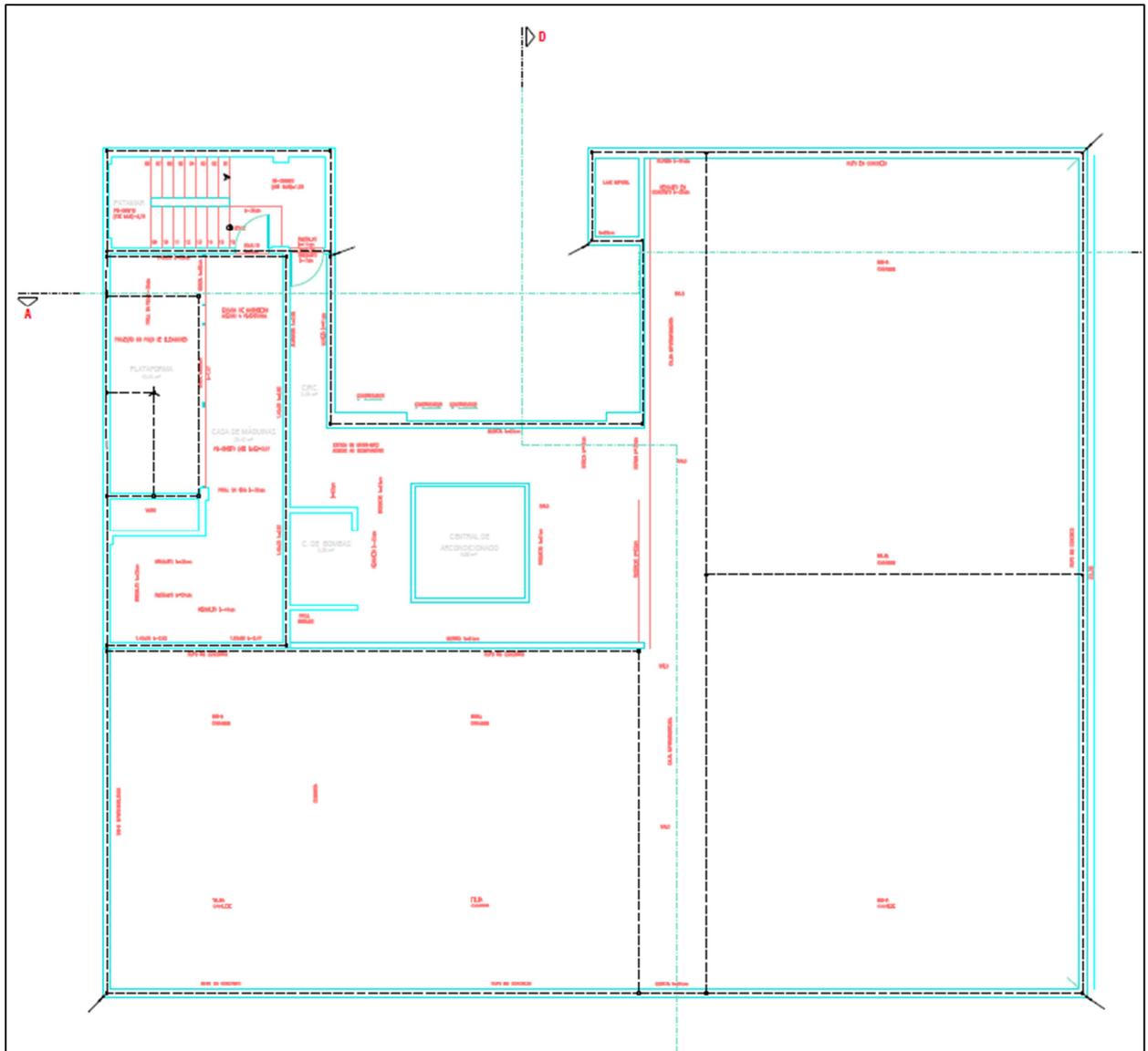
Fonte: Elaboração Própria (2018)

- **Método das malhas**

O Futurus possui uma grande área horizontal, cerca de 23,00 m de comprimento por 20,00 de largura, logo, se se utilizasse somente o método de Franklin, não se conseguiria proteger toda a estrutura, sem contar que no terraço há estruturas de diferentes níveis, como o reservatório e o poço dos elevadores. Consequentemente, para essas localidades, teriam que também ser especificados os captores.

Para a dimensão da malha captora sobre o terraço (Figura 10), foram consideradas as dimensões máximas do módulo da malha captora de proteção, que, para a classe de proteção IV, corresponde a 20 x 20 m, conforme Tabela 5. No terraço do prédio foram formados cinco módulos, sendo os maiores retângulos especificados correspondentes a 12,96 m (comprimento) e 9,96 m (largura), ou seja, muito inferior ao limite máximo, demandando uma maior proteção.

Figura 10 – Malha captora no terraço do edifício Futurus



Fonte: Elaboração Própria (2018)

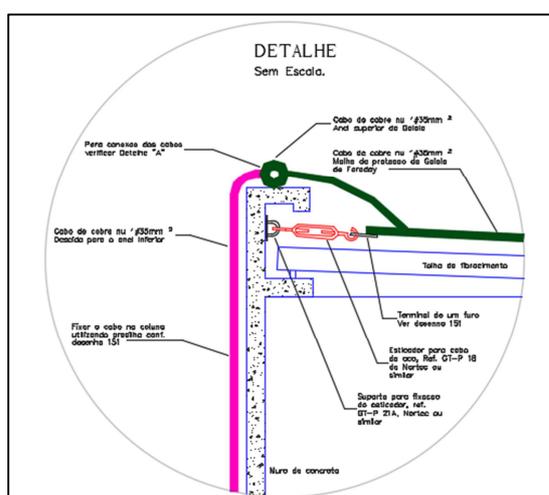
- **Método da esfera rolante**

O método da esfera rolante foi empregado no edifício, pois o terraço apresenta uma estrutura um pouco complexa. Através da tabela 6 o valor de referência adotado da esfera fictícia é igual a 60 metros. Ao rolar a mesma por toda a estrutura, percebe-se que a filosofia de Franklin e a de Faraday adotada se mostrou eficaz, pois evidenciou que os mastros e condutores posicionados na parte superior do edifício foram dimensionados de maneira adequada.

### 3.10 SUBSISTEMA DE DESCIDA

O número de descidas foi calculado dividindo-se o perímetro da construção pelo espaçamento entre os condutores de descida (Tabela 4). Como a largura do prédio é de 20,0 e o comprimento 23,0 metros, o perímetro vale 86,0 metros. O espaçamento entre os condutores é de 20 metros (classe IV de proteção) e a quantidade de descidas especificadas é igual a 5 metros. O condutor será em cobre nu, possuindo área de seção transversal de 35 mm<sup>2</sup>.

Figura 11 – Detalhe da descida

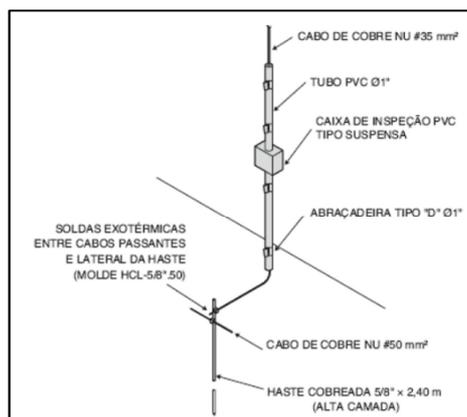


Fonte: Termotécnica (2017)

### 3.11 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

Como no presente estudo de caso há 5 condutores de descidas, foi adotado o mesmo número de eletrodos verticais de aço cobreado de 3 m cada para todos, conectando-se cada eletrodo na extremidade de cada condutor de descida. Os eletrodos de aterramento deverão ser instalados a uma distância aproximada de 1,0 m das paredes externas e enterrados, no mínimo, a 50 cm de profundidade. Os condutores horizontais interligando esses eletrodos são de cobre e com área de 50 mm<sup>2</sup>, conforme apontado pela NBR 5419:2015.

Figura 12 – Conexão entre o condutor de descida e o aterramento



Fonte: Termotécnica (2017)

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma avaliação da necessidade de instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas é algo que tem que ser feito em qualquer edificação. Após essa avaliação, se for comprovado que a edificação necessita de tal sistema, será necessário projetá-lo. Para tanto, o mesmo deverá ser realizado por um profissional habilitado devidamente registrado no CREA.

A norma que trata de SPDA sofreu alteração recentemente, saindo de 42 páginas para 309, por isso também, é de grande importância a atualização por parte dos profissionais que trabalham diretamente com esse tipo de projeto, principalmente devido à existência de muitas edificações que possuem sistemas mal projetados

Através do presente estudo de caso, foi alcançado o objetivo proposto, pois, com o mesmo, o edifício Futurus poderá adequar a sua estrutura segundo a NBR 5419:2015, que trata de proteção contra descargas atmosféricas, e, a partir disso, poderá pleitear uma redução no valor do seguro e também solicitar o AVCB (Auto de Avaliação do Corpo de Bombeiros), que, juntamente com o projeto de combate a incêndio e pânico, atesta que a edificação está em conformidade com as normas de segurança, estando livre, assim, para que ocorra o pleno funcionamento de todas as atividades presentes no edifício.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Normando. **Porque o SPDA deve ser considerado um item de segurança**. 2016. Disponível em: <<https://tel.com.br/porque-um-spda-e-um-item-de-seguranca/>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Corrente elétrica do raio, 2015. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

KINDERMANN, Geraldo. **Descargas Atmosféricas**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997. 283 p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. São Paulo: LTC Editora Ltda., 2017. 964 p.

PORTAL O SETOR ELÉTRICO. **Inspeção de SPDA**. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/inspecao-no-spda>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

SOUZA, Ingrid Fernandes Moraes de. **Estudo da norma ABNT 5419/2015 com estudo de caso no antigo prédio do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas**. 2011. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

STÉFANI, Rodrigo. **Metodologia de projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício residencial**. 2011. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TERMOTÉCNICA. (Gerenciamento de risco). Disponível em: <<https://tel.com.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

VISACRO FILHO, Silvério. **Aterramento Elétrico**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2002. 106 p.

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