



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FRANCISCO BRUNO NASCIMENTO LEITE**

**ADEQUAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS APÓS A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**

**FORTALEZA**

**2022**

FRANCISCO BRUNO NASCIMENTO LEITE

ADEQUAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS APÓS A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- L552a Leite, Francisco Bruno Nascimento.  
Adequação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas após a implantação de um sistema fotovoltaico / Francisco Bruno Nascimento Leite. – 2022.  
84 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório.
1. SPDA. 2. Sistema fotovoltaico. 3. Segurança. I. Título.

CDD 621.3

---

FRANCISCO BRUNO NASCIMENTO LEITE

ADEQUAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS APÓS A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.

Aprovada em: / / .

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ernande Eugenio Campelo Moraes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Me. Renato Guerreiro Araújo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Iramilton e Elizangela.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por toda a força nos momentos difíceis.

À minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos, e por serem essencial em minha vida.

Ao Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Ernande Eugenio Campelo Moraes e Eng. Me. Renato Guerreiro Araújo pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas de trabalho por toda a ajuda no desenvolvimento do estudo, e metodologia adotada.

“É mais fácil prevenir maus hábitos do que eliminá-los.” (Benjamin Franklin).

## RESUMO

Nos últimos tempos, tem se tornando comum a implantação de sistemas fotovoltaico em prédios residenciais e comerciais, é preciso adotar medidas que visem atenuar os riscos e aumentar a segurança das instalações. Sendo assim, os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e sistemas fotovoltaicos devem atuar em conjunto para não acumular riscos adicionais. Esse trabalho tem o objetivo de analisar um estudo de caso de um hotel no estado do Ceará que já possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, visando analisar se está de acordo com a ABNT NBR 5419 (2015), norma que regulamenta os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Além disso, a análise também deve ser feita considerando a implantação do sistema fotovoltaico. Ao final, foi possível chegar à conclusão que o sistema não está de acordo com as normas vigentes. Assim, um novo sistema será proposto com método de implantação e lista de materiais completa, além de possíveis adequações na instalação elétrica existente.

**Palavras-chave:** SPDA; Sistema fotovoltaico; Segurança.

## **ABSTRACT**

Since the implementation of photovoltaic systems in residential and commercial buildings has become common, it is necessary to adopt measures that aim to mitigate the risks and increase the safety of the installations. Therefore, lightning protection systems and photovoltaic systems must work together to avoid accumulating additional risks. This work aims to analyze a case study of a hotel in the state of Ceará that already has a lightning protection system, in order to analyze whether it is in accordance with ABNT NBR 5419 (2015), a standard that regulates lightning protection systems. protection against atmospheric discharges. In addition, the analysis must also be done considering the implementation of the photovoltaic system. In the end, it was possible to reach the conclusion that the system does not comply with current regulations. Thus, a new system will be proposed with an implementation method and a complete list of materials, in addition to possible adjustments to the existing electrical installation.

**Keywords:** LPS; Photovoltaic system; Safety.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Experimento de Benjamin Franklin.....	3
Figura 2 – Composição das cargas elétricas no interior da nuvem .....	4
Figura 3 – Formação das descargas atmosféricas.....	5
Figura 4 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas. ....	7
Figura 5 - Ângulo de proteção do para-raios.....	16
Figura 6 – Volume de proteção do método da esfera rolante .....	17
Figura 7 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA .....	18
Figura 8 - Tipos de radiação Solar.....	25
Figura 9 - Efeito fotovoltaico .....	26
Figura 10 - Sistema on-grid.....	28
Figura 11 - Funcionamento do sistema <i>off-grid</i> .....	29
Figura 12 - Célula fotovoltaica.....	30
Figura 13 - Composição módulo fotovoltaico.....	32
Figura 14 - Influência da irradiância na corrente .....	33
Figura 15 - Influência da temperatura na tensão .....	34
Figura 16 - Atuação dos inversores SFCRs.....	35
Figura 17 - Potência de saída em relação a temperatura ambiente.....	36
Figura 18 – <i>Layout</i> da unidade. ....	37
Figura 19 – Divisão da unidade para análise do SPDA.....	38
Figura 20 – Detalhamento do sistema de captação do bloco A.....	39
Figura 21 – Sistema de descida do bloco A.....	39
Figura 22 – Paginação bloco A.....	57
Figura 23 – Paginação bloco B.....	57
Figura 24 – Subsistema de aterramento existente. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas .....	8
Tabela 2 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica.....	10
Tabela 3 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura. ....	11
Tabela 4 -Valores típicos de risco tolerável RT .....	13
Tabela 5 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA ..	14
Tabela 6 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.....	18
Tabela 7 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.....	19
Tabela 8 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas. ....	21
Tabela 9 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.....	22
Tabela 10 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento. ....	23
Tabela 11 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) .....	23
Tabela 12 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura. ....	41
Tabela 13 - Valores médios típicos de LT, LF e LO .....	43
Tabela 14 - Fator de redução $r_t$ em função do tipo da superfície do solo ou piso. ....	44
Tabela 15 - Fator de redução $r_p$ em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio. ....	44
Tabela 16 - Fator de redução $r_f$ em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura. ....	44
Tabela 17 - Fator $h_z$ aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial. ....	44
Tabela 18 - Resumo dos índices para cálculo das perdas.....	45
Tabela 19 - Valores de probabilidade $P_{TA}$ de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas. ....	46
Tabela 20 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos. ....	47

Tabela 21 - Valores da probabilidade $P_{TU}$ de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas. ....	48
Tabela 22 - Valor da probabilidade $P_{EB}$ em função do $N_P$ para o qual os DPS foram projetados. ....	48
Tabela 23 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência $R_S$ da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso $U_W$ do equipamento. ....	48
Tabela 24 - Valores dos fatores $C_{LD}$ e $C_{LI}$ dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento. ....	49
Tabela 25 - Resumo dos índices para cálculo das probabilidades. ....	49
Tabela 26 - Fator de localização da estrutura CD. ....	50
Tabela 27 - Fator de instalação da linha CI. ....	52
Tabela 28 - Fator tipo de linha CT. ....	52
Tabela 29 - Fator ambiental da linha CE. ....	52
Tabela 30 - Resumo dos índices para cálculo do número de eventos perigosos. ....	53
Tabela 31 - Resumo da usina 1. ....	55
Tabela 32 - <i>Datasheet</i> módulo fotovoltaico. ....	55
Tabela 33 – <i>Datasheet</i> inversor SUN2000-60KTL-M0. ....	56
Tabela 34 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA. ....	59
Tabela 35 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA. ....	60
Tabela 36 - Quantitativo de materiais. ....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
DDP	Diferença de potencial
TW	Terawatts
eV	Elétron-volt
$P_{FV}$	Potência de pico do painel FV;
E (Wh/dia)	Consumo diário médio anual
HSP (h)	Média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV
TD	Taxa de desempenho
$W/m^2$	Watt/metro quadrado
$I_{MPP}$	Corrente de máxima potência
$I_{SC}$	Corrente de curto-circuito
$V_{MPP}$	Tensão de máxima potência
$V_{OC}$	Tensão de circuito aberto
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
SFIs	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
SFCRs	Sistemas Fotovoltaicos Conectado à Rede
MPPT	seguinte do ponto de potência máxima

## LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
R\$	Real
©	Copyright
®	Marca Registrada

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Objetivos Gerais</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Descargas atmosféricas</b> .....	<b>3</b>
3.1.1 Formação das descargas atmosféricas .....	4
3.1.2 Descargas atmosféricas no Brasil .....	5
<b>3.2 Danos, efeitos e perdas devido às descargas atmosféricas</b> .....	<b>7</b>
3.2.1 Efeitos das descargas atmosféricas sobre uma estrutura .....	8
3.2.2 Fontes e tipos de danos a uma estrutura .....	9
3.2.3 Tipo de perdas .....	10
<b>3.3 Gerenciamento de risco</b> .....	<b>11</b>
3.3.1 Componentes de riscos .....	11
3.3.2 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas .....	13
3.3.3 Risco tolerável $R_T$ .....	13
<b>3.4 Proteção contra descargas atmosféricas – PDA</b> .....	<b>14</b>
3.4.1 Classe do SPDA .....	14
3.4.2 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA.....	15
3.4.2.1 Subsistema de captação .....	15
3.4.2.2 Subsistema de descida .....	19
3.4.2.3 Subsistema de aterramento .....	20
3.4.2.4 Fixação .....	20
3.4.2.5 Conexões .....	20
3.4.2.6 Materiais e Dimensões.....	21
3.4.3 Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas .....	22
3.4.3.1 Equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas.....	22
3.4.3.2 Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) .....	24
<b>3.5 Radiação solar</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6 Efeito fotovoltaico</b> .....	<b>25</b>
<b>3.7 Sistemas fotovoltaico</b> .....	<b>26</b>
<b>3.8 Sistema <i>on-grid</i></b> .....	<b>27</b>

<b>3.9 Sistema <i>off-grid</i></b> .....	<b>29</b>
<b>3.10 Células Fotovoltaica</b> .....	<b>30</b>
<b>3.11 Módulo Fotovoltaico</b> .....	<b>31</b>
3.11.1 Fatores que afetam as características elétricas dos módulos .....	33
<b>3.12 Inversor Solar</b> .....	<b>34</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1 Caso Concreto</b> .....	<b>37</b>
<b>4.2 Gerenciamento de risco</b> .....	<b>40</b>
4.2.1 Risco Tolerável $R_T$ .....	41
4.2.2 Cálculo das componentes de risco para o bloco B .....	42
4.2.2.1 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura ( $S_1$ ).....	42
4.2.2.2 Componentes de risco devido a descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura ( $S_3$ ).....	42
4.2.3 Cálculo das perdas .....	42
4.2.4 Cálculo da Probabilidade.....	46
4.2.5 Cálculo do número anual N de eventos perigosos.....	50
<b>4.3 Implantação do sistema fotovoltaico</b> .....	<b>55</b>
<b>4.4 Adequação do SPDA existente após a implantação da usina fotovoltaica.</b> .....	<b>59</b>
4.4.1 Análise do SPDA existente no bloco A.....	59
4.4.2 Adequação do SPDA .....	61
4.4.3 Modo de instalação.....	62
4.4.4 Lista de materiais.....	63
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>65</b>
<b>ANEXO A – PROJETO CONSTRUTIVO DO NOVO SPDA</b> .....	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

É fato que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. Sua emissão de energia inesgotável na escala terrestre de tempo é uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. É aproveitado tanto como fonte de calor quanto de luz (PINHO; GALDINO, 2014).

O “*Boom*” da energia solar fotovoltaica no Brasil se deu em 2012 com a normativa 482 da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) que regulamentou a troca de energia entre o consumidor e a distribuidora. Assim, o excedente da eletricidade produzida é injetado na rede da concessionária pelo sistema fotovoltaico *On Grid* e computado como créditos. O crescimento do setor proporcionou a queda do custo dessa tecnologia, que é composta basicamente por equipamentos como painéis solares, inversores *On Grid*, string-box e estrutura de fixação. Nos últimos dois anos, o investimento necessário para a instalação desses equipamentos caiu pela metade e tende a se reduzir ainda mais. (Luz Solar, 2016)

Todavia, deve ser destacado o risco que as descargas atmosféricas representam para as usinas de geração fotovoltaica. Estima-se que, no mundo, 26% de todos os danos sofridos pelos sistemas fotovoltaicos sejam causados por descargas atmosféricas diretas e indiretas. Levando-se em consideração que o Brasil é o país campeão mundial em relação à densidade de descargas atmosféricas, todos os cuidados devem ser tomados para atenuar os efeitos destas. Tendo em vista que, a redução de riscos de danos é proporcional ao conhecimento que se tem, é importante destacar e dividir os riscos associados às descargas atmosféricas em usinas fotovoltaicas em três categorias (Canal solar, 2020):

1. Impactos diretos da descarga na usina;
2. Surtos de tensão ou corrente provocados por descargas diretas ou indiretas em suas instalações, incluindo os módulos fotovoltaicos;
3. Ferimento ou morte de trabalhadores que estejam nas áreas abertas da usina.

Já existem normas técnicas nacionais e internacionais que estabelecem critérios mínimos a serem atendidos pelos projetos de sistemas de aterramento e de proteção contra raios. Essas são aplicáveis tanto para usinas fotovoltaicas construídas no solo, quanto para os geradores fotovoltaicos, que integram instalações dos consumidores. A norma brasileira é a ABNT NBR 5419 — Proteção contra descargas atmosféricas, atualmente em revisão e dividida em quatro partes.

Paulo Edmundo da Fonseca Freire (AEC WEB, 2021) alerta “A falta de uma proteção adequada, além dos riscos usuais associados aos raios, como queima de equipamentos, interrupção da geração e incêndios, tem reflexos de ordem jurídica”.

Para os sistemas de geração residencial/predial, os geradores fotovoltaicos precisam ser integrados ao sistema de aterramento e de proteção contra raios da instalação. Essa prática reduz os riscos adicionais como danos às instalações do consumidor, desde a queima de equipamentos até incêndios.

Paulo Edmundo da Fonseca Freire ainda destaca que é importante observar não somente os aspectos específicos do gerador, mas também as interfaces com os demais subsistemas das instalações. Além disso, é necessário garantir que os captadores sejam instalados de modo a não interceptar os raios do Sol (AEC WEB, 2021).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

O objetivo desse estudo é contribuir com a análise e implantação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, visando aumentar a segurança de pessoas, animais e equipamentos elétricos no município de Beberibe/CE.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar a pertinência da implantação da proteção contra descargas atmosféricas (PDA)
- Implantar um sistema fotovoltaico para o telhado da unidade.
- Projetar um SPDA que atenda os padrões normativos.
- Criar uma lista de materiais para a implantação do PDA

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Descargas atmosféricas

Por muito tempo, as descargas atmosféricas foram consideradas como manifestações sobrenaturais ou místicas. Até que, em 1752, Benjamin Franklin realizou um experimento durante uma tempestade e demonstrou que os raios são um fenômeno de natureza elétrica.

Em um experimento simples, porém extremamente perigoso, Franklin confeccionou uma pipa e a empinou com uma linha e chaves de metal presas em sua estrutura durante uma tempestade. Assim, foi possível observar que os raios eram atraídos e percorriam a estrutura através da linha de metal da pipa.

Figura 1 - Experimento de Benjamin Franklin



Fonte: Dicas Free (2020)

Após a comprovação de sua teoria, Benjamin Franklin propôs que fossem instalados no topo dos prédios uma haste metálica com ligação direta à terra, visando protegê-los dos efeitos das descargas atmosféricas. Assim, surgiu o para-raios. A ideia foi difundida rapidamente e grande parte da América e Europa já estavam equipando seus prédios com a invenção de Franklin (Dicas Free, 2020).

### 3.1.1 Formação das descargas atmosféricas

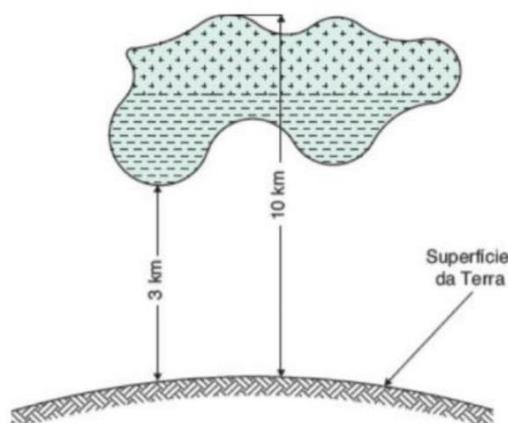
As descargas atmosféricas, ou raios, são, na verdade, descargas elétricas de grande extensão e intensidade, que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas na atmosfera, em geral, esse acúmulo se dá no meio de grandes tempestades.

A descarga é iniciada no momento que o campo elétrico produzido por essas cargas excede a rigidez dielétrica do meio isolante, que para descargas atmosféricas é o ar. Após a rigidez ser quebrada, é iniciado um movimento de elétrons entre cargas opostas (negativas para positivas). As descargas podem acontecer de diversas formas, sendo classificadas em função do local onde se originam e do local onde terminam.

Dentre as diversas possibilidades, as descargas atmosféricas podem acontecer da nuvem para o solo, do solo para a nuvem, da nuvem para um ponto qualquer na atmosfera ou ainda entre nuvens. Dentre estas, as descargas intra-nuvem são as mais frequentes, tendo em vista a diminuição da capacidade isolante do ar em função da densidade do ar diminuir em alturas mais elevadas. No geral, elas representam cerca de 70% do número total de descargas. Este percentual varia de acordo com a latitude geográfica, para regiões próximas ao equador, sendo em torno de 80~90% e, em regiões mais distantes, em torno de 50-60%. (INPE, 2020)

Durante os anos, muitas teorias foram criadas para explicar o fenômeno do raio. Atualmente, sabe-se que essas descargas elétricas são formadas no interior das nuvens com a fricção das partículas de água. Estudos verificaram que as cargas positivas se acumulam na parte superior das nuvens e as cargas negativas são repelidas para a parte inferior, adquirindo assim a característica bipolar. Geralmente, a parte inferior da nuvem fica a 3 km de distância da superfície da terra e a parte superior a 10 km. A Figura 2 apresenta a composição das cargas dentro de uma nuvem.

Figura 2 – Composição das cargas elétricas no interior da nuvem

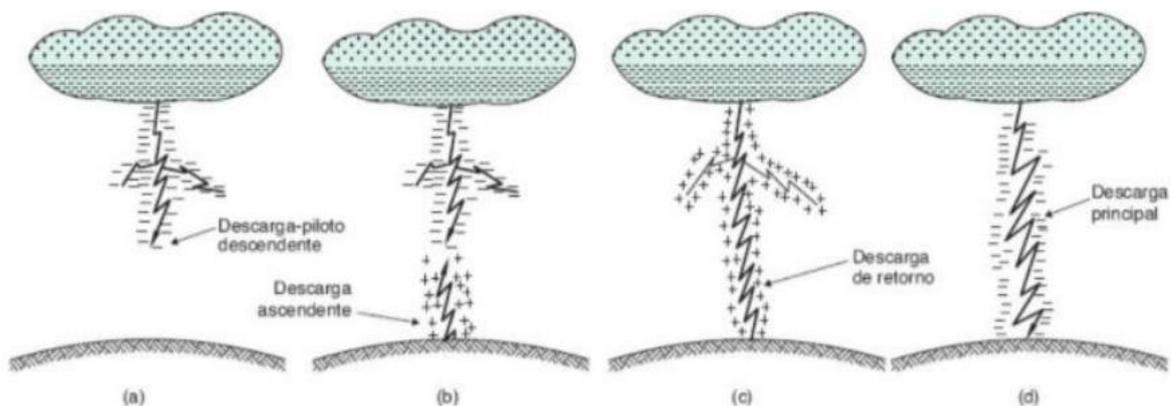


Fonte: Mamede, João F. (2010).

Essa distribuição concentra cargas elétricas positivas na superfície da terra, gerando assim uma diferença de potencial (DDP), entre a terra e a nuvem. O gradiente de tensão, aumento da (DDP) entre a nuvem e a terra, pode romper a resistência dielétrica do ar, que é variável conforme as condições do ambiente, resultando na migração das cargas elétricas em direção a terra, por um caminho tortuoso e, geralmente, com diversas ramificações, caracterizando uma descarga piloto.

O gradiente de tensão que rompe a rigidez dielétrica do ar é de aproximadamente 1 kV/mm. O caminho aberto pela ionização do ar é seguido pela descarga piloto, o que favorece a condução elétrica. Com o aumento do gradiente de tensão entre a terra e a nuvem, uma ramificação da descarga piloto é gerada, essa ramificação é constituída de cargas elétricas positivas e é chamada de descarga ascendente que sobe da terra para a nuvem e, posteriormente, a descarga principal desce no sentido da terra, gerando o fenômeno do trovão, que produz um grande estrondo causado pela dilatação do ar na proximidade que circunda o caminho do raio, em resposta ao aumento de temperatura. (Mamede, João F.,2010). A Figura 3 ilustra as etapas da formação da descarga atmosférica, conforme descrito.

Figura 3 – Formação das descargas atmosféricas.



Fonte: Mamede, João F. (2010).

### 3.1.2 Descargas atmosféricas no Brasil

O Brasil é o campeão mundial de descargas elétricas, tendo uma média de 77,8 milhões atingirem o país todos os anos. Desde 2016, o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) faz o monitoramento do número de raios que caem em toda a extensão territorial do Brasil, e os últimos dados apresentaram um aumento inédito.

Entre janeiro e fevereiro de 2022, foram registrados cerca de 17 milhões de raios no país. Aumento de 29% em relação à 2021. O ELAT opera uma rede de 110 sensores espalhados pelo Brasil, responsáveis por mapear a incidência e a intensidade das descargas elétricas – tanto aquelas que atingem o solo (os raios) quanto as que ficam entre as nuvens. As últimas são mais frequentes: nos dois primeiros meses deste ano, foram registradas 27 milhões delas (Super abril, 2022).

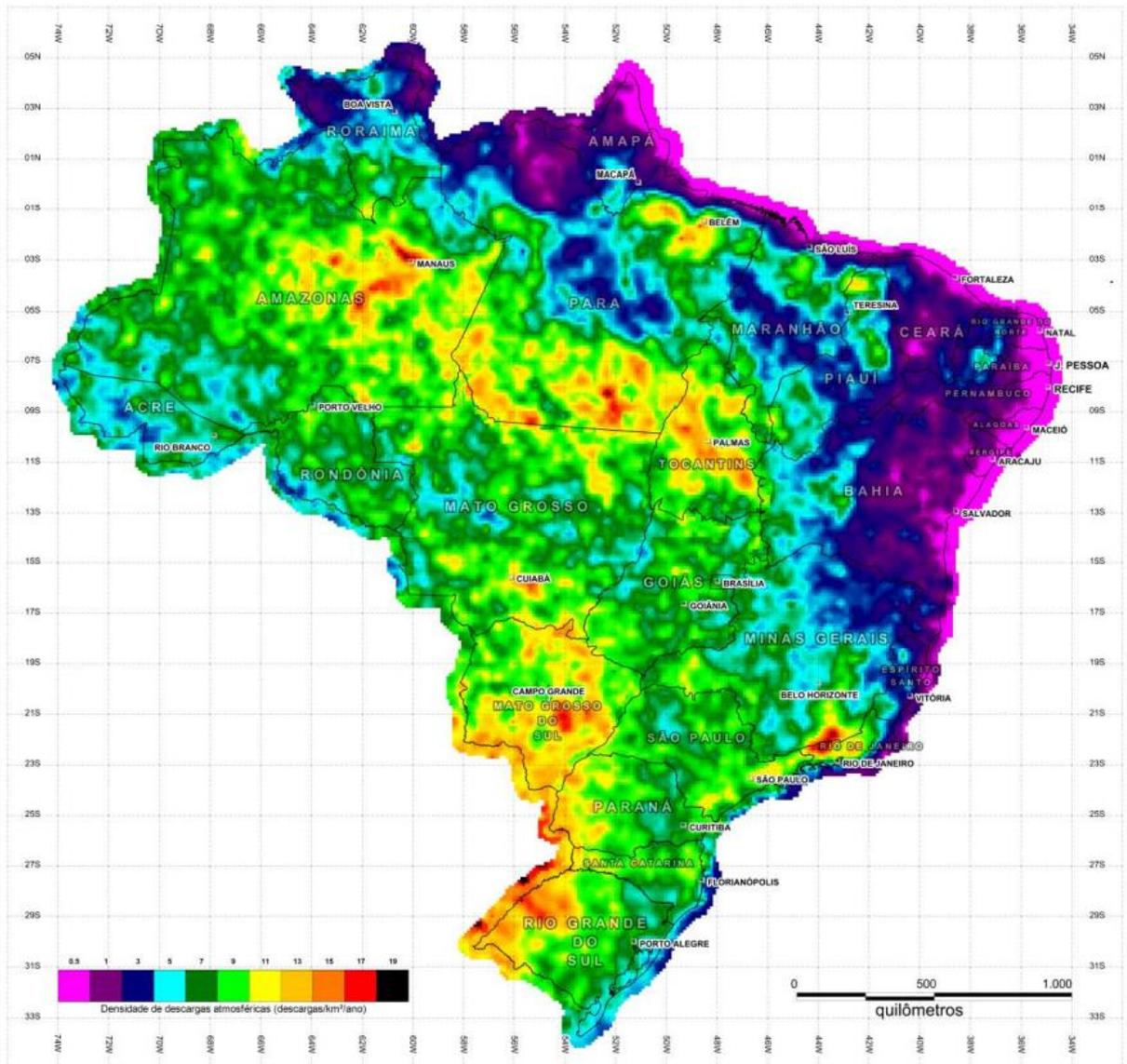
Apesar de ser o país líder em incidência de descargas atmosféricas, o Brasil ocupa a 7º lugar mundial no número de mortes devido à queda de raios. Isso pode ser explicado pela orografia e extensão territorial que são muito favoráveis para que haja formação de nuvens convectivas, responsáveis pelas tempestades com descargas elétricas.

Segundo o ELAT, até 2019 o Brasil registrou 2.194 mortes devido às descargas elétricas e cerca de 43% dessas mortes ocorreram durante o verão. Os dados estatísticos levantados pelo ELAT, mostraram que a chance de uma pessoa morrer atingida por um raio no Brasil é de uma em 25 mil, um número que parece baixa. Entretanto, ao comparar com a chance de um ser humano ser mordido por um cachorro, que chega a uma em 100 mil, esse número parece bem significativo. Além disso, essa chance pode aumentar em até 2,5 vezes se a pessoa estiver desprotegida em uma área descampada durante uma tempestade (Clima Tempo, 2021).

Há dois métodos para a consulta da quantidade de descargas atmosféricas que caem em determinado local por ano. Uma delas é através do mapa de densidade de descargas atmosféricas disponibilizado na NBR 5419-2:2015. O outro método é através do site da ELAT que traz dados para todo território nacional, utilizando-se dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço, pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM da *National Aeronautics and Space Administration* - NASA. Durante o período de 1998 a 2011. O mapa possui uma escala de cores na legenda que contém dez valores de densidade de descargas atmosféricas. Valores que vão de 0,5 a 19 descargas atmosféricas/km<sup>2</sup>/ano e são representados pelas cores de lilás claro para 0,5 e preto 19. A Figura 4 apresenta o mapa citado no texto acima.

Do mapa, é possível retirar que os menores índices de incidência de descargas atmosféricas ocorrem nos estados litorâneos do Nordeste do Brasil e os lugares com maiores densidades estão localizados nas regiões Sul, Centro-oeste e Norte.

Figura 4 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas.



Fonte: NBR 5419-2:2015.

### 3.2 Danos, efeitos e perdas devido às descargas atmosféricas

De acordo com a ABNT NBR 5419-1 (2015), a descarga atmosférica que atinge uma estrutura pode causar danos à própria estrutura e a seus ocupantes, incluindo falhas dos sistemas internos. Esses danos poderão também estender-se às estruturas vizinhas e o ambiente local. A extensão dos danos às edificações vizinhas depende das características das estruturas e da descarga atmosférica.

### 3.2.1 Efeitos das descargas atmosféricas sobre uma estrutura

Ao analisar os efeitos das descargas atmosféricas sobre as estruturas, as características apontadas a seguir são as mais relevantes:

- a) Tipo de construção (madeira, alvenaria, concreto);
- b) Função (residência, escritório, comércio, rural, teatro, hotel, escola, hospital, museu, igreja, prisão, shopping center, área industrial, área de práticas esportivas);
- c) Ocupantes e conteúdo (pessoas e animais, presença ou não de materiais combustíveis ou explosivos, sistemas elétricos e eletrônicos);
- d) Linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram a estrutura (linhas de energia, linhas de sinal, tubulações);
- e) Medidas de proteção existentes;
- f) Dimensão do risco (estrutura com dificuldade de evacuação ou estrutura na qual pode haver pânico, estrutura perigosa às redondezas, estrutura perigosa ao ambiente).

A Tabela 1 apresenta os efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.

Tabela 1 - Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas

<b>Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo</b>	<b>Efeitos das descargas atmosféricas</b>
Casa de moradia	Perfuração da isolamento das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos de TV, computadores, modems, telefones etc.).
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco devidos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica)  Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Fabrica de fogos de artificios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores
Industria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global

Fonte: NBR 5419-1:2015.

### 3.2.2 Fontes e tipos de danos a uma estrutura

Da ABNT NBR 5419-1 (2015), pode-se retirar que a corrente da descarga atmosférica é a fonte de danos. Abaixo são classificadas as fontes de danos de acordo com o ponto de impacto da corrente de descarga:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

Severos danos podem ser causados para o caso que a descarga atmosférica cai direto na estrutura, dentre eles:

- a) Danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão devido ao próprio plasma quente do canal da descarga atmosférica.
- b) Fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido a sobretensões resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos e à passagem de parte da corrente da descarga atmosférica;
- c) Danos às pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos;
- d) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido aos impulsos eletromagnéticos das descargas atmosféricas.

Resumidamente, as descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

- D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
- D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- D3: falhas de sistemas internos devido aos impulsos eletromagnéticos das descargas atmosféricas.

### 3.2.3 Tipo de perdas

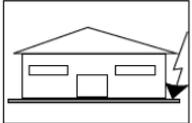
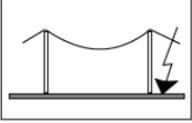
As perdas podem variar de acordo com o tipo de dano que a descarga atmosférica venha a causar. Além disso, pode variar de acordo com as características da própria edificação e os conteúdos interno.

Para a ABNT NBR 5419-1 (2015), os seguintes tipos de perdas são considerados, os quais aparecem como consequência de danos relevantes à estrutura:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

As perdas do tipo L4 são consideradas perdas puramente econômicas, já as perdas L1, L2 e L3 podem ser consideradas como de valor social. A correspondência entre fonte de danos, tipo de danos e perdas é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica

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

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

Fonte: NBR 5419-1:2015.

### 3.3 Gerenciamento de risco

A ABNT NBR 5419:2 (2015) formulou o estudo de gerenciamento de risco, responsável por garantir um dimensionamento mais eficaz e seguro do SPDA. Esse estudo tem o propósito de fornecer procedimentos necessários para a avaliação de riscos, e da necessidade, ou não, da implantação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 2, 2015).

Os seguintes riscos devem ser levados em conta, em correspondência aos tipos de perdas relacionadas:

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

Para avaliar os riscos, R, os relevantes componentes de risco devem ser definidos e calculados. Cada risco, R, é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 2, 2015).

#### 3.3.1 Componentes de riscos

Os componentes de riscos estão relacionados com o tipo de dano que atingirá a estrutura e o tipo de perda que poderá causar. A tabela 3 os componentes de risco para cada tipo de risco a ser calculado.

Tabela 3 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.

Fonte de Danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica Perto da Estrutura S2	Descarga atmosférica em Uma Linha conectadaà Estrutura S3			Descarga atmosférica Perto de Uma Linha conectadaà Estrutura S4
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Risco para cada tipo de perda								
R1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*				*		
R4	*b	*	*	*	*b	*	*	*

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

Fonte: NBR 5419-2:2015.

As componentes de risco são divididas em:

- RA: componente de risco relacionada a fonte de dano S1 e tipo de dano D1 - ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico.
- RB: componente de risco relacionada a fonte de dano S1 e tipo de dano D2 - danos físicos causados por centelhamentos perigosos.
- RC: componente de risco relacionada a fonte de dano S1 e tipo de dano D3 - falhas de sistemas internos devido aos impulsos eletromagnéticos das descargas atmosféricas.
- RM: componente de risco relacionada a fonte de dano S2 e tipo de dano D3 - falhas de sistemas internos devido aos impulsos eletromagnéticos das descargas atmosféricas.
- RU: componente de risco relacionada a fonte de dano S3 e tipo de dano D1 - ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico.
- RV: componente de risco relacionada a fonte de dano S3 e tipo de dano D2 - danos físicos causados por centelhamentos perigosos.
- RW: componente de risco relacionada a fonte de dano S3 e tipo de dano D3 - falhas de sistemas internos devido aos impulsos eletromagnéticos das descargas atmosféricas.
- RZ: componente de risco relacionada a fonte de dano S4 e tipo de dano D3 - falhas de sistemas internos devido aos impulsos eletromagnéticos das descargas atmosféricas. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 2, 2015).

Assim, para cada risco, seu valor é determinado pelo somatório das componentes que estão associados a ele. É válido destacar que os riscos R1 e R4 possuem condições para adicionar ou não alguns componentes de risco.

- **Análise dos componentes de risco**

As componentes de risco  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$  e  $R_Z$ , como descrito acima, podem ser expressas pela seguinte equação geral (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 2, 2015):

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (3.1)$$

Onde:

$N_X$ : é o número de eventos perigosos por ano;

$P_X$ : é a probabilidade de dano à estrutura;

$L_X$ : é a perda consequente.

### 3.3.2 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas

Para os casos que  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ou  $R_4$  forem maior que o risco tolerável  $R_T$ , o sistema de proteção contra descargas atmosféricas se faz necessário:

$$R > R_T$$

Para garantir a proteção da unidade,  $R$  deve ser menor que o risco tolerável. Assim, as medidas de proteção devem ser adotadas de modo a reduzir o risco  $R$  que a unidade está exposta (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 2, 2015):

$$R \leq R_T$$

### 3.3.3 Risco tolerável $R_T$

A ABNT NBR 5419:2 (2015) estabelece alguns valores representativos de risco tolerável  $R_T$ , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana, valores sociais ou culturais, fornecidos na Tabela 4:

Tabela 4 - Valores típicos de risco tolerável  $R_T$

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

Fonte: NBR 5419-2:2015.

Para perda de valor econômico ( $L_4$ ), deve ser feita uma comparação com relação ao custo/benefício dada no Anexo D da NBR 5419:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 2, 2015).

O detalhamento completo de como deve ser feito o gerenciamento de risco é feito na seção 4, onde o estudo de caso é feito.

### 3.4 Proteção contra descargas atmosféricas – PDA

A proteção contra descargas atmosféricas (PDA) é dividida em SPDA – Sistema de proteção contra descargas atmosféricas e MPS - Medidas de Proteção de Surto. O SPDA é responsável pela proteção externa da estrutura e o MPS faz a proteção interna.

#### 3.4.1 Classe do SPDA

A escolha de um SPDA é definida de acordo com as características da unidade que será protegida. Além disso, deve ser considerado o nível de proteção exigido para a estrutura de acordo com a ABNT NBR 5419:1 (2015). A Tabela 5 apresenta as quatro classes de SPDA (I a IV) e os níveis de proteção correspondente.

Tabela 5 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA

Nível de proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: NBR 5419-3:2015.

Alguns fatores contribuem para a escolha do SPDA e outros não, esses estão apresentados a seguir:

a) Dados que dependem da classe de SPDA:

- Tipo de método de captação;
- Distâncias entre condutores de descida;
- Distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- Comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

b) Fatores não dependentes da classe do SPDA:

- Equipotencialização entre as estruturas metálicas não energizadas;
- Espessura mínima nos sistemas de captação;

- Materiais e condições de uso;
- Dimensões mínimas dos condutores de conexão.

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

### **3.4.2 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA**

O SPDA é a parte que fica externa a edificação e tem a função de interceptar as descargas atmosféricas que atingiriam diretamente a estrutura, incluindo as descargas laterais. Além disso, tem a finalidade de encaminhar a corrente de descarga à terra sem causar danos térmicos ou mecânicos, nem centelhamentos perigosos que possam iniciar fogo ou explosões.

O SPDA externo deve ser escolhido conforme a estrutura que deve proteger. Em casos de possíveis danos à estrutura, um SPDA externo isolado deve ser considerado. Como é o caso de estruturas com parede ou cobertura de material combustível e áreas com risco de explosão e fogo.

Componentes naturais feitos de materiais condutores podem ser usados no SPDA externo, desde que permaneçam dentro ou na estrutura definitivamente e não sejam modificados. Ademais, devem cumprir os requisitos específicos dessa norma. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015)

#### **3.4.2.1 Subsistema de captação**

O subsistema de captação é a parte do sistema responsável por interceptar diretamente as descargas atmosféricas que atingiriam a estrutura da unidade. Podem ser formados pela combinação dos seguintes elementos:

- Hastes (incluindo mastros);
- Condutores suspensos;
- Condutores em malha.

A presença de um bom subsistema de captação reduz a probabilidade de penetração da corrente da descarga atmosférica na estrutura. Além disso, o volume de proteção é determinado de acordo com o posicionamento dos elementos captadores.

É importante salientar que os captadores individuais devem ser interconectados ao visando assegurar a divisão de corrente em diferentes caminhos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015)

- **Posicionamento**

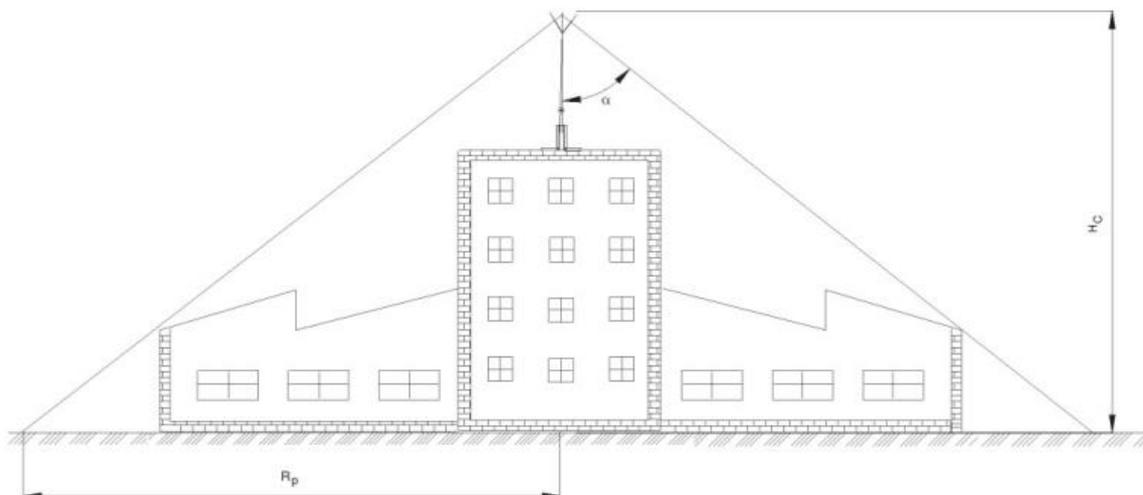
O posicionamento dos captadores é fundamental para determinar qual a área protegida, logo, visando uma ampla proteção da estrutura, os componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas (especialmente no nível superior de qualquer fachada).

Métodos aceitáveis a serem utilizados na determinação da posição do subsistema de captação incluem:

a) método do ângulo de proteção:

O método do ângulo de proteção, também conhecido como método de Franklin, consiste em determinar o volume de proteção propiciado por um cone, no qual esse ângulo de proteção varia de acordo com o nível de proteção desejado e a altura da construção baseado no plano de referência. Esse método utiliza o chamado poder das pontas para propiciar o escoamento das cargas elétricas à terra. De acordo com Mamede, os para-raios usados nesse método devem oferecer uma proteção dada por um cone cujo o vértice é a extremidade superior do captor e a base é formada pelo ângulo determinado através da Figura 5. A Figura 5 representa como esse método funciona. (Mamede, João F.,2010)

Figura 5 - Ângulo de proteção do para-raios.



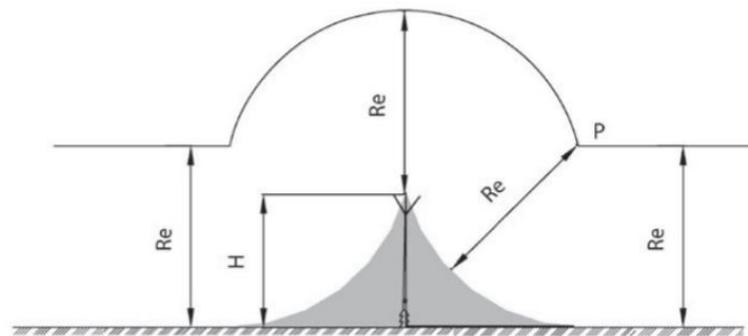
Fonte: Mamede, João F. (2010)

b) método da esfera rolante:

O método da esfera rolante, ou método eletrogeométrico, determina através de uma análise tridimensional o volume de proteção dos captosres de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. É geralmente utilizado para estruturas de altura elevado ou formato complexo. Podem ser utilizados hastes, cabos ou uma combinação dos dois.

A zona de proteção fornecida por esse método é determinada rolando uma esfera fictícia sobre o solo e sobre o sistema de proteção, a região que a esfera não toca estará protegida pelo sistema. O tamanho do raio dessa esfera fictícia é determinado pela Tabela 6. A Figura 6 mostra um exemplo de aplicação (Mamede, João F.,2010).

Figura 6 – Volume de proteção do método da esfera rolante



Fonte: Mamede, João F. (2010)

c) método das malhas:

O método das malhas, ou método de Faraday, consiste em envolver a parte superior da estrutura com uma malha captora de condutores elétricos nus. O distanciamento máximo da malha é determinado pela Tabela 6. Esse método, é o mais indicado para edificações com uma grande área horizontal, já que o método de Franklin exigiria uma grande quantidade de captosres, tornando o projeto muito oneroso. A malha formada tem a função de tornar o campo eletromagnético nulo no interior de uma estrutura metálica quando percorridas por uma corrente elétrica de qualquer intensidade (Mamede, João F.,2010).

Dentre os métodos indicados, é valido destacar que o método do ângulo de proteção é mais adequado para edificações de formato simples, limitado aos níveis de altura indicados na figura 7. O método das malhas e das esferas rolantes podem ser adequados para variados tipos de telhado. Deve ser dado um destaque para estruturas maior que 60 m, nesses casos, deve ser considerada a instalação de captação na lateral da parte superior das estruturas (tipicamente a 20 % do topo da altura da estrutura).

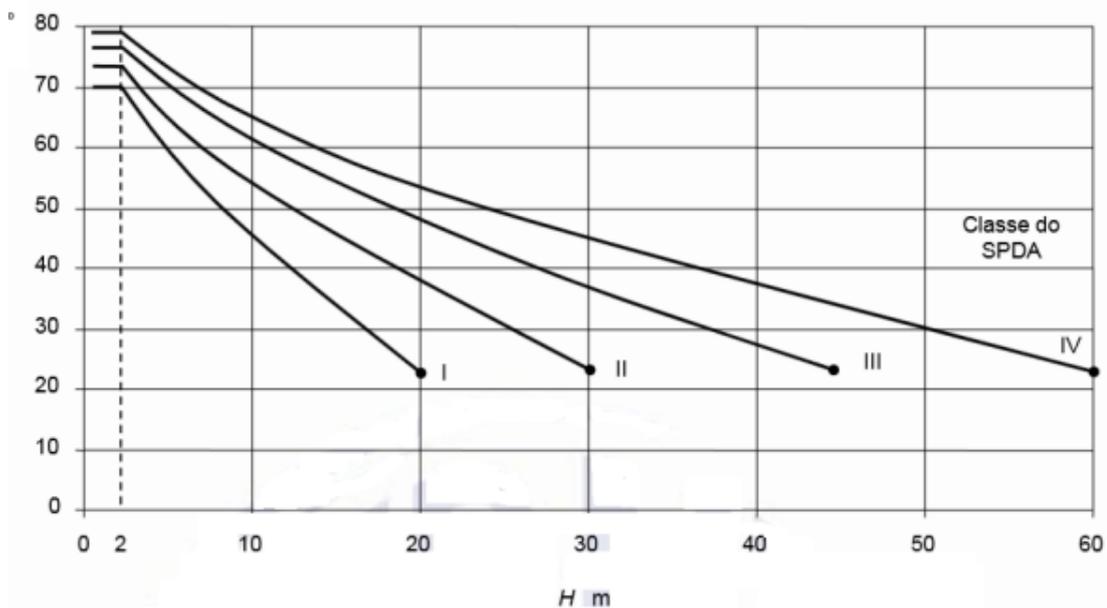
A Tabela 6 apresenta os valores para o ângulo de proteção, raio da esfera rolante e tamanho da malha para cada classe de SPDA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

Tabela 6 - 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 dos condutores da malha m	Ângulo de proteção a
I	20	5 x 5	ver figura abaixo
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: NBR 5419-3:2015.

Figura 7 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA



Fonte: NBR 5419-3:2015.

Vale destacar que para valores de H (m) acima dos valores finais de cada curva apenas os métodos da esfera rolante e das malhas devem ser considerados. Além disso, H é a altura do captor em relação ao plano de referência da área a ser protegida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

### 3.4.2.2 Subsistema de descida

O subsistema de descida tem a função levar a corrente de descarga à terra pelo menor caminho possível, sem que a edificação seja afetada. A ABNT NBR 5419:3 (2015) indica que condutores de descida devem ser alocados a fim de proverem:

- a) vários caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- b) o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;

De acordo com a ABNT NBR 5419:3 (2015), quanto maior for o número de condutores de descida, instalados a um espaçamento regular em volta do perímetro interconectado pelos anéis condutores, maior será a redução da probabilidade de descargas atmosféricas e centelhamentos perigosos facilitando a proteção das instalações internas.

- **Posicionamento**

A ABNT NBR 5419:3 (2015) impõe que em nenhum caso o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois. Ademais, devem estar espaçados da forma mais uniforme possível ao redor do perímetro da unidade. A Tabela 7 apresenta os valores da distância entre os condutores para as diferentes classes de SPDA. Preferencialmente, deve ser instalado um condutor de descida em cada canto saliente da estrutura além dos demais condutores impostos pela distância de segurança calculada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

Tabela 7 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.

<b>Classe do SPDA</b>	<b>Distâncias m</b>
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA. É aceitável que o espaçamento dos condutores de descida tenha no máximo 20% além dos valores acima.	

Fonte: NBR 5419-3:2015.

- **Construção**

Os condutores de descida devem ser instalados como uma continuação direta dos condutores do subsistema de captação, visando sempre criar um caminho mais curto e direto à terra.

Deve-se evitar que os condutores de descida sejam instalados em calhas ou tubulações de águas pluviais. Além disso, devem ser posicionados de tal forma que a distância de segurança entre eles e portas e janelas sejam mantidas. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

### **3.4.2.3 Subsistema de aterramento**

O subsistema de aterramento é a parte do sistema de proteção responsável pela dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, ou seja, é essencial para minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa.

A ABNT NBR 5419-3 (2015) orienta que uma única infraestrutura de aterramento integrada é preferível e adequada para todos os propósitos. Assim, o eletroduto deve ser comum para todos os sistemas separados da unidade (proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal). Além disso, a norma indica que pelo menos 80% do comprimento total do arranjo a ser utilizado no condutor em anel deve estar em contato direto com o solo. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

### **3.4.2.4 Fixação**

A fixação dos elementos captadores e condutores de descidas deve ser realizada de forma a garantir que forças eletrodinâmicas ou mecânicas acidentais não causem afrouxamento ou quebra de condutores. As distâncias máximas a seguir devem ser respeitadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015):

- a) Até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal;
- b) Até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical ou inclinado;
- c) Até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- d) Até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical ou inclinado.

### **3.4.2.5 Conexões**

A ABNT NBR 5419 (2015) impõe que o número de conexões ao longo dos condutores deve ser o menor possível. Além disso, deve-se priorizar as conexões através de solda exotérmica e conexões mecânicas de pressão (se embutidas em caixas de inspeção) ou compressão.

### 3.4.2.6 Materiais e Dimensões

Para a escolha dos materiais e suas dimensões, deve ser levado em consideração a possibilidade de corrosão da estrutura a ser protegida e do SPDA. A tabela 8 apresenta as Configurações e áreas de seção mínima dos condutores dos subsistemas de captação e de descida. Já na Tabela 9, são dadas as configurações e dimensões mínimas dos condutores do subsistema de aterramento.

Tabela 8 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.

Material	Configuração	Área da seção mínima mm <sup>2</sup>	Comentários <sup>d</sup>
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço <sup>d</sup>	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % <sup>e</sup>	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente <sup>a</sup>	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável <sup>c</sup>	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
<sup>a</sup>	O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].		
<sup>b</sup>	Aplicável somente a minicaptoras. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.		
<sup>c</sup>	Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.		
<sup>d</sup>	Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.		
<sup>e</sup>	A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS ( <i>International Annealed Copper Standard</i> ).		
NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.			
NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.			

Fonte: NBR 5419-3:2015.

Tabela 9 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.

Material	Configuração	Dimensões mínimas <sup>f</sup>		Comentários <sup>f</sup>
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado <sup>c</sup>	–	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço <sup>c</sup>	–	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça <sup>c</sup>	–	50 mm <sup>2</sup>	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço <sup>a, b</sup>	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo <sup>a, b</sup>	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça <sup>a</sup>	–	90 mm <sup>2</sup>	Espessura 3 mm
	Encordoado	–	70 mm <sup>2</sup>	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço <sup>d</sup>	12,7 mm	70 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
	Encordoado <sup>g</sup>			
Aço inoxidável <sup>e</sup>	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm
	Fita maciça		100 mm <sup>2</sup>	

<sup>a</sup> O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323 [1].  
<sup>b</sup> Aplicável somente a mini captadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.  
<sup>c</sup> Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.  
<sup>d</sup> Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.  
<sup>e</sup> Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela.  
<sup>f</sup> A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).  
<sup>g</sup> Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: NBR 5419-3:2015.

### 3.4.3 Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas

O sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas, também conhecido como Medidas de Proteção de Surto (MPS), é a parte do PDA utilizada para evitar a ocorrência de centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção e da estrutura a ser protegida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

#### 3.4.3.1 Equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas

Existe a possibilidade de ocorrer centelhamentos perigosos entre o SPDA externo e a instalações metálicas, os sistemas internos e as partes condutivas externas e linhas conectadas à estrutura. Assim, faz-se necessários tomar as seguintes medidas visando evitar a ocorrência desses centelhamentos perigosos:

- 1) Ligações equipotenciais, ou
- 2) Isolação elétrica entre as partes.

Quando uma equipotencialização é realizada, uma parte da corrente da descarga atmosférica pode fluir para os sistemas internos, logo, devem ser adotadas medidas para atenuar

os efeitos dessas correntes. A seguir, são destacadas as maneiras de fazer a interligação entre estruturas:

- a) direto: condutores de ligação, quando a continuidade elétrica não é garantida pelas ligações naturais;
- b) Indireto: dispositivos de proteção contra surtos (DPS), onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada;

É também importante destacar que as equipotencializações devem procurar ser mais retilíneas e curta possível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – PARTE 3, 2015).

A Tabela 10 indica os valores mínimos os valores mínimos da seção reta dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização e os condutores que ligam essas barras ao sistema de aterramento. Já a Tabela 11, indica os valores mínimos da seção reta dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização.

Tabela 10 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Fonte: NBR 5419-3:2015.

Tabela 11 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta $mm^2$
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: NBR 5419-3:2015.

### 3.4.3.2 Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)

Os DPS (Dispositivos de Proteção contra Surtos) são dispositivos capazes de detectar sobretensões transitórias na rede elétrica, e desviar para a terra, as correntes de surto que, infelizmente, são mais comuns do que se imagina — atingindo eletrônicos e eletrodomésticos, principalmente. Tendo em vista as diversas as aplicações do DPS, existem três classes de DPS, voltadas para atuações em lugares específicos:

- Classe I: São, geralmente, expostos a descargas atmosféricas diretas com capacidade para drenagem de correntes parciais de um raio,
- Classe II: Atuam nos efeitos indiretos das descargas atmosféricas drenando as correntes induzidas.
- Classe III: são geralmente usados na proteção fina de equipamentos ligados à rede elétrica.

As classes são complementares e fundamentais na proteção para a segurança elétrica individual e coletiva. Em casos de projetos de edificações, entretanto, vale focar mais no tipo III, que cuida de surtos mais simples, mas que podem se transformar em acidentes graves.

Para a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha externa de alimentação, os DPS devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação ou no quadro de distribuição principal, localizado o mais próximo possível do ponto de entrada;

Para a proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, os DPS devem ser instalados no ponto de entrada da linha na edificação.

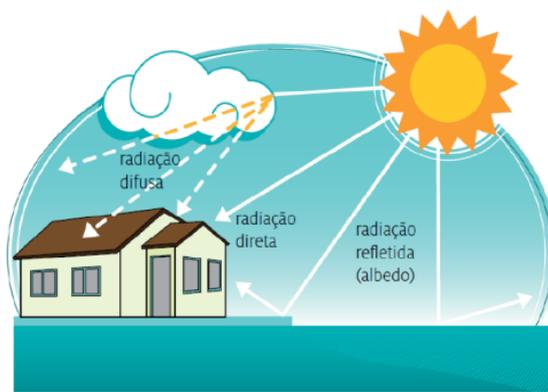
Além disso, os DPS podem ser selecionados conforme suas localizações de instalação, como se segue:

- a) Na entrada da linha na estrutura, ou seja, no quadro de distribuição principal
- b) Próximo ao equipamento a ser protegido, ou seja, no quadro de distribuição secundário ou na tomada de energia. (Schneider Electric, 2022).

### 3.5 Radiação solar

A radiação solar é a energia emitida pelo sol que chega à atmosfera terrestre através de ondas eletromagnéticas. A Terra recebe cerca de 174.000 terawatts (TW) de radiação solar, e aproximadamente 30% dessa radiação é refletida de volta ao espaço, enquanto, o resto é absorvido por outras massas terrestres (BETINI, 2012). Há três tipos de radiação diferente: direta, difusa e refletida. A radiação solar direta pode ser definida como aquela que não recebe nenhum desvio causado pela atmosfera; a radiação difusa é a que alcança a superfície da Terra vindo de todas as direções, após ter sido dispersada pelas moléculas e partículas presentes na atmosfera; já a radiação refletida (ou albedo) é a energia que é refletida pela superfície terrestre que seria reenviada ao espaço. (TOLMASQUIM, 2016). Um fato interessante é que mesmo em um dia totalmente sem nuvens, pelo menos 20% da radiação que atinge a superfície é difusa. E nos dias totalmente nublado, não há incidência de radiação solar direta (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 8 representa os três tipos de radiação existente.

Figura 8 - Tipos de radiação Solar



Fonte: Tolmasquim (2016).

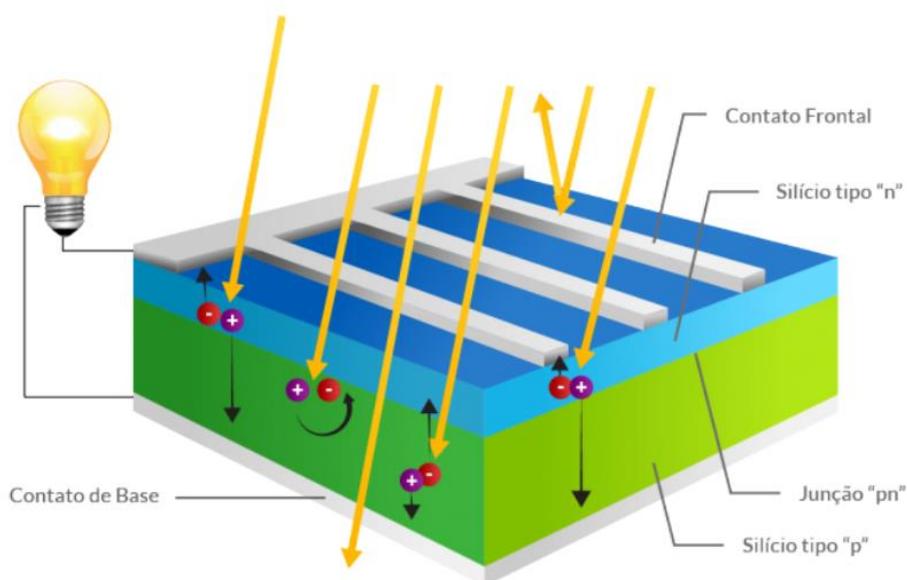
### 3.6 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, e pode ser definido como o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando exposto à luz visível. Os materiais semicondutores possuem três bandas de energia chamadas de banda de valência, banda de condução e banda proibida ou “*gap*” (BLUESOL, 2015).

Diferentemente dos metais, os semicondutores possuem uma camada completamente cheia, a banda de valência, e uma banda vazia, a banda de condução, que possui um *gap* de 1 eV (um elétron-volt). Quando o elétron da banda de valência recebe energia suficiente do fóton

para saltar a banda proibida e passar para a banda de condução, surge uma tensão elétrica. Entretanto, para que isso aconteça, é necessário que a energia recebida do fóton de luz seja maior ou igual a energia do *gap*, ou seja, o elétron precisa de energia para vencer a banda proibida (BLUESOL, 2015). A Figura 9 representa o efeito fotovoltaico.

Figura 9 - Efeito fotovoltaico



Fonte: BLUESOL (2015)

### 3.7 Sistemas fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos são sistemas de geração de energia, na qual as células fotovoltaicas transformam a radiação solar diretamente em eletricidade. A condição principal para a geração de energia fotovoltaica é a disponibilidade de radiação solar suficiente, o que torna essa forma de geração confiável em locais inóspitos como: espaço, desertos, selvas, regiões remotas, etc. Além disso, os sistemas fotovoltaicos não utilizam combustíveis, não possuem partes móveis, e por serem dispositivos que, geralmente, atuam de modo estático, requerem menor manutenção. Durante o seu funcionamento não produzem ruído acústico ou eletromagnético, e tampouco emitem gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental (BLUESOL, 2016).

Os sistemas fotovoltaicos atuam de forma a converter diretamente a energia luminosa em eletricidade através do efeito fotoelétrico. Podem atuar de diversas formas, como

no modo *on-grid*, ou seja, o sistema é diretamente conectado à rede da concessionária, no modo *off-grid*, isto é, o sistema atua de forma independente, não tendo conexão com a rede externa, e ainda pode atuar no modo híbrido, isto significa que o sistema atua de modo *on-grid* em funcionamento normal, e em modo *off-grid* quando a rede externa apresenta alguma falha (BLUESOL, 2016).

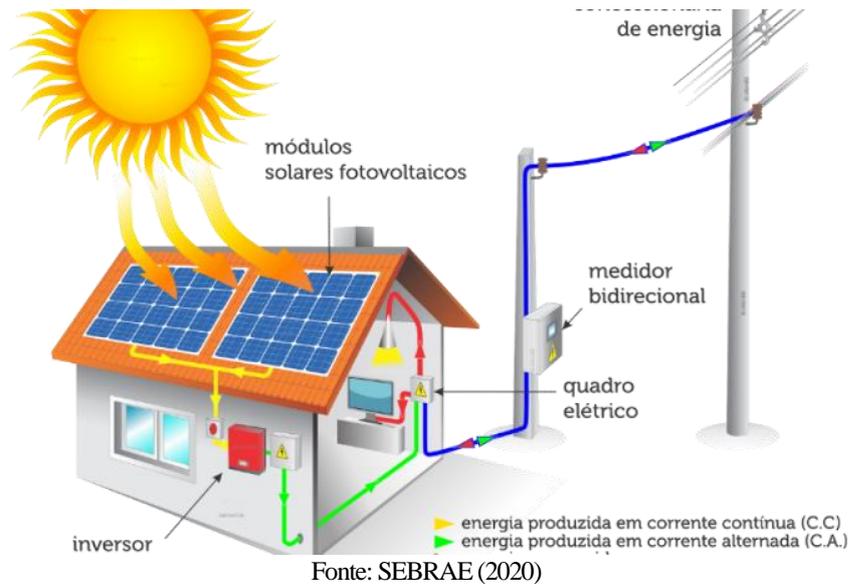
A forma mais usual é *on-grid*, tendo em vista a facilidade de manutenção, a longa vida útil dos equipamentos e o bom retorno financeiro propiciado por essa forma de conexão. Os sistemas *off-grid* são mais utilizados em casos que a continuidade de serviço é essencial ou a rede da distribuidora encontra-se inacessível. Os sistemas híbridos atuam das duas formas, entretanto apresentam um custo muito alto em relação às outras opções.

### **3.8 Sistema *on-grid***

Os sistemas *on-grid*, ou sistema conectado à rede de distribuição, é o tipo de sistema fotovoltaico que atua em paralelo com a rede da concessionária de energia. Tem como principal objetivo gerar o melhor retorno financeiro, tendo em vista que toda energia excedente injetada na rede é contabilizada e posteriormente descontada no valor da conta de energia, ou seja, tem o objetivo de gerar energia nos períodos de sol pleno para ser compensada em períodos que não à geração solar, como em períodos chuvosos ou à noite (BLUESOL, 2016).

Os sistemas *on-grid* são formados por módulos fotovoltaicos, inversor solar, sistemas de proteção e o medidor bidirecional. Os módulos fotovoltaicos são responsáveis pela conversão solar-elétrica, essa energia produzida pelos módulos é enviada para o inversor que faz a conversão da energia contínua, produzida nos módulos, para a energia alternada, consumida na residência e padrão da rede da distribuidora. O medidor bidirecional é responsável por medir toda a energia que é injetada na rede e toda energia que é consumida da mesma, a diferença é o que será cobrado na conta de energia, se houver mais produção que consumo, créditos são criados para serem usados posteriormente, se houver mais consumo, a diferença será cobrada na fatura de energia (BLUESOL, 2016). A Figura 10 ilustra um sistema *on-grid*.

Figura 10 - Sistema on-grid



Para o dimensionamento de um sistema *on-grid* otimizado, deve-se ter o consumo médio diário anual da residência (Wh/dia) descontado o valor da disponibilidade mínima da energia. Geralmente, esse valor é obtido através das contas de energia emitidas pela distribuidora local. A potência da usina pode ser calculada a partir da equação 6, onde se pode escolher a parte de demanda que se deseja suprir (PINHO; GALDINO, 2014).

$$P_{FV}(Wp) = \frac{E/TD}{HSP} \quad (6)$$

Onde:

$P_{FV}(Wp)$  – Potência de pico do painel FV;

$E$  (Wh/dia) – Consumo diário médio anual da edificação descontado do valor da disponibilidade mínima dado pela concessionária;

$HSP$  (h) – Média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV;

$TD$  (adimensional) – Taxa de desempenho.

Como esse tipo de sistema atua em paralelo com a rede da concessionária, em casos de falta na rede, obrigatoriamente, o sistema deve ser desativado, visando proteger a integridade do sistema e das pessoas. Inclusive, a ABNT NBR 16149 (2013) - Sistemas fotovoltaicos - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição, estabelece os requisitos mínimos necessários para a detecção das condições de desligamento. Esse sistema de proteção é chamado de detecção de ilha e é feita pelo sistema de controle embutido no inversor (PINHO; GALDINO, 2014).

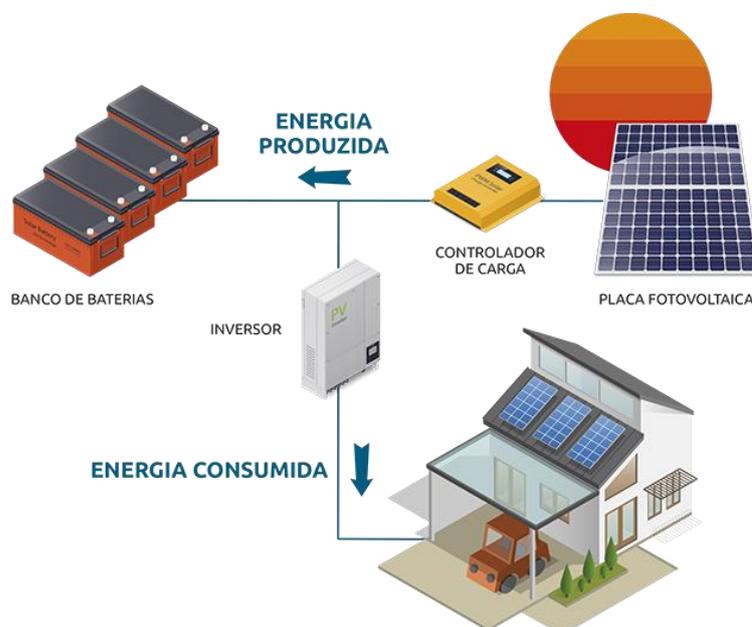
### 3.9 Sistema *off-grid*

Os sistemas *off-grid*, ou sistemas desconectados da rede de distribuição, são o tipo de sistema fotovoltaico que atua independente da rede de energia da concessionária, ou seja, o sistema não possui conexão direta com a rede local. Como atuam de forma independente da rede, os sistemas *off-grid* possuem continuidade de serviço, não caindo o fornecimento em casos de falta externa, diferentemente dos sistemas *on-grid* (ALVES, 2016).

Por conta da atuação diferenciada, os sistemas *off-grid* são dimensionados de forma diferente dos *on-grid*. No seu dimensionamento, é essencial conhecer a curva de consumo de carga da residência em diferentes épocas do ano e dos dias, e o sistema deve ser capaz de fornecer energia para todas as cargas, e carregar as baterias para que elas possam ser usadas durante a noite (BLUESOL, 2016).

Os sistemas *off-grid* possuem uma composição parecida com os sistemas *on-grid*, a diferença está na presença dos acumuladores de energia, ou baterias, e o controlador de carga. As baterias são responsáveis por acumular a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos durante o dia, e fornecer energia para as cargas da residência nos períodos que a geração não é suficiente para abastecer as cargas, ou nos períodos que não existe geração (ALVES, 2016). Os controladores de carga são utilizados para garantir o correto abastecimento das baterias evitando sobrecargas e descargas profundas (LIMA JUNIOR, 2019). A Figura 11 representa o funcionamento de um sistema *off-grid*.

Figura 11 - Funcionamento do sistema *off-grid*



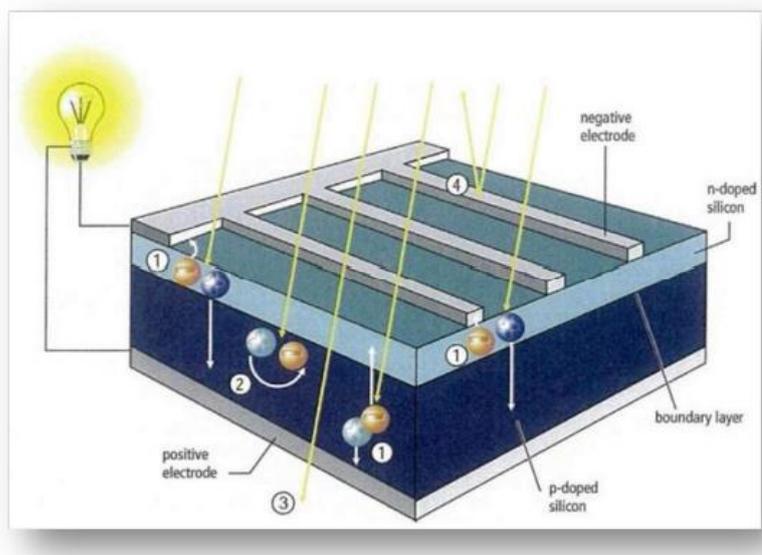
Fonte: Eco Aquecedores, 2020

A desvantagem nos sistemas *off-grid* está exatamente no uso dos acumuladores, as baterias possuem uma vida útil muito menor em relação aos outros componentes do sistema, tendo em vista que os módulos fotovoltaicos podem durar até 25 anos. Além disso, a manutenção passa a ser mais constante, as baterias exigem um cuidado maior. Assim, é atribuído um maior custo total ao sistema considerando sua troca frequente (PINHO; GALDINO, 2014).

### 3.10 Células Fotovoltaica

A célula fotovoltaica é a menor unidade de um sistema fotovoltaico, também chamada de unidade básica fotovoltaica, e é responsável pela conversão direta de energia solar em energia elétrica. Uma única célula individualmente produz pouca energia elétrica, normalmente, se agrupam vários conjuntos de células, a fim de aumentar a quantidade de energia disponível. O agrupamento de células fotovoltaica é conhecido como módulo, placa ou painel fotovoltaico, isto é, um módulo fotovoltaico é na verdade um conjunto de células dispostas de forma atingir valores desejados de corrente e tensão. A Figura 12 apresenta a configuração de uma célula fotovoltaica. (ALVES, 2016).

Figura 12 - Célula fotovoltaica



Fonte: BLUESOL (2016)

A eficiência dos módulos está atrelada, principalmente, ao tipo e a qualidade do material semicondutor utilizado. O material semicondutor mais utilizado para a fabricação das células fotovoltaicas é o silício, podendo ser aproveitado como monocristalino, policristalino ou amorfo (NASCIMENTO, 2004).

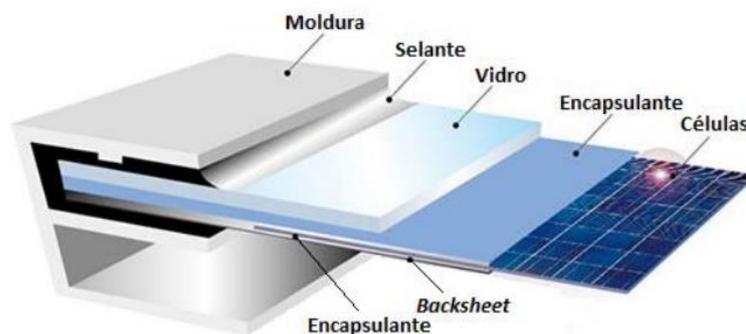
Os principais tipos de células fotovoltaicas são apresentados a seguir:

- **Silício Monocristalino:** A sua denominação é dada pela estrutura homogênea em toda sua extensão. Um elevado grau de pureza do silício é exigido, em torno de 99,99%, para a sua fabricação. (MME, 2012).  
Além disso, geralmente, são de cor azul-escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul-acinzentado (sem antirreflexo). Possuem uma eficiência média de 15 a 18% e formato arredondado, ou em formato de fatia de pizza (BLUESOL, 2016).
- **Silício Policristalino:** São produzidas a partir de blocos de silício em moldes especiais. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Assim, uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais é formada (NASCIMENTO, 2004). Ademais, geralmente, são de cor azul (com antirreflexo) ou cinza prateado (sem antirreflexo). Possuem uma eficiência média de 13 a 15% e formato, normalmente, quadrada (BLUESOL, 2016).
- **Silício Amorfo:** Como o nome já indica, o silício amorfo não possui uma estrutura definida, mas sim uma rede irregular. As ligações livres que absorvem hidrogênio até a saturação se formam por isso. A maior desvantagem desse tipo de célula é a sua baixa eficiência, que fica entre 5 a 9%. Além disso, sua cor fica entre castanho avermelhado e azul escuro com formato livre (BLUESOL, 2016).

### 3.11 Módulo Fotovoltaico

Segundo a norma ABNT NBR 10899 (2020), o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia. Com o objetivo de atender os padrões de tensão, corrente e potência comercial, os fabricantes conectam uma certa quantidade de células fotovoltaicas entre si em um processo de conexão que é feito soldando os terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da seguinte, e assim por diante (BLUESOL, 2016). A Figura 13 mostra a configuração básica de um módulo fotovoltaico (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 13 - Composição módulo fotovoltaico



Fonte: TOLMASQUIM (2016).

- **Moldura:** É a parte que dá a estrutura do módulo, geralmente feita de alumínio. É a estrutura usada para fazer a fixação dos módulos. Nela, encontram-se furos pré-existente para o aterramento.
- **Selante:** É o composto adesivo que une as camadas internas do módulo com a moldura. Além de impedir a entrada de gases e umidade, e proteger o interior de vibrações e choques mecânicos.
- **Vidro:** Possui duas funções essenciais de proteger as células e os condutores do ambiente, e permitir a entrada de luz para que a conversão da energia solar em eletricidade. Trata-se de um vidro especial, com baixo teor de ferro, com uma camada antirreflexiva, e superfície texturizada, que evita a reflexão da luz que atinge o vidro.
- **Encapsulante:** É o filme que envolve as células com a função de protegê-las da umidade e dos materiais externos, além de otimizar a condução elétrica. Geralmente, utiliza-se o EVA (Etil Vinil Acetato) para cumprir essa função.
- **Células Fotovoltaicas:** É o principal componente do módulo fotovoltaico, responsável pela conversão direta da energia solar em energia elétrica.
- **Backsheet:** É a parte inferior do módulo, tem a função de prevenir a entrada de umidade e proteger as células de elementos externos. Ademais, oferece isolamento elétrico adicional.

Os módulos fotovoltaicos, geralmente, possuem garantia contra defeito de fabricação de 3 a 5 anos, e garantia de rendimento de, no mínimo, 25 anos. No período de 20 a 25 anos da sua operação gerarão, pelo menos, 80% da potência do primeiro ano de geração. Além disso, é importante ter o cuidado na fabricação do módulo, incompatibilidades das características de tensão e corrente das células podem causar perdas devido ao efeito de mismatch (descasamento), onde as células de menor produtividade limitam o desempenho do

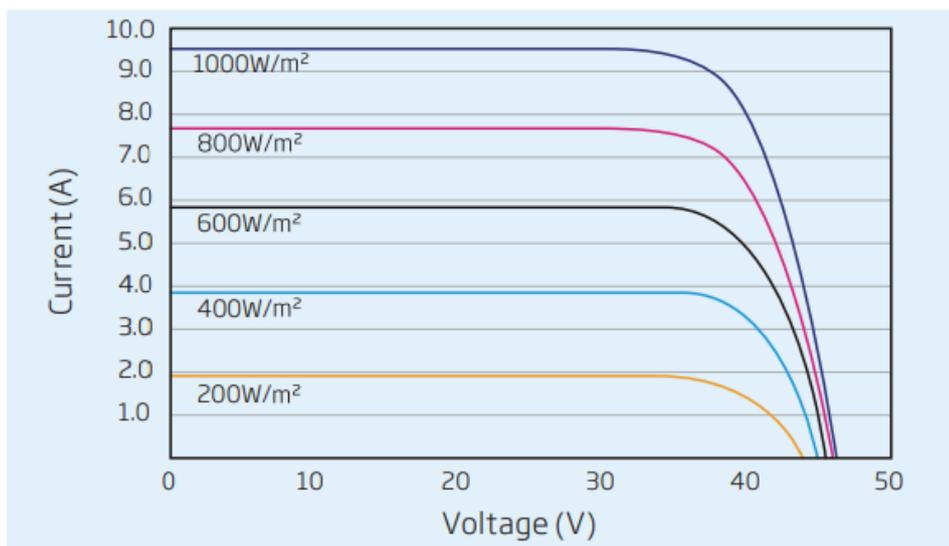
conjunto todo, reduzindo a eficiência global do módulo fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

Ademais, outro tipo de módulo que vem sendo usado em larga escala são os módulos bifaciais, os módulos bifaciais, diferentemente dos módulos convencionais, possuem a parte inferior coberta por material transparente, que permite absorver luz dos dois lados da célula. Dependendo das características da instalação (posicionamento dos painéis), o albedo e a irradiação, é possível atingir ganhos de até 50% na geração de energia, comparado aos módulos convencionais. (TOLMASQUIM, 2016).

### 3.11.1 Fatores que afetam as características elétricas dos módulos

A corrente que é gerada no módulo fotovoltaico depende diretamente da radiação solar que incide sobre as placas. Quando a irradiância for de  $1000 \text{ W/m}^2$ , condição padrão de teste em laboratório, o módulo deverá gerar a máxima corrente especificada no datasheet ( $I_{MPP}$ ), ou corrente do ponto de máxima (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A Figura 14 mostra como a irradiância atua na corrente do módulo fotovoltaico.

Figura 14 - Influência da irradiância na corrente

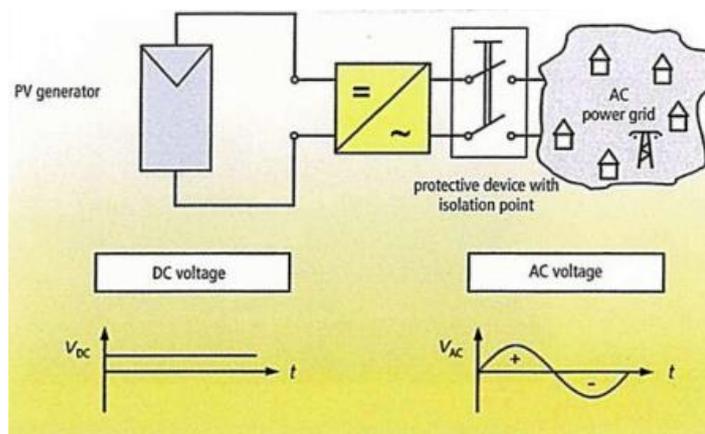


Fonte: Adaptado TRINA SOLAR.

Já a temperatura influencia diretamente na tensão fornecida aos terminais dos módulos. Entretanto, ela atua de modo inverso, ou seja, quando houver baixas temperaturas, a tensão gerada nos módulos é maior, e vice-versa (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A Figura 15 mostra como a temperatura influencia na tensão do módulo fotovoltaico.



Figura 16 - Atuação dos inversores SFCRs.



Fonte: BLUESOL (2016)

Em geral, inversores para conexão de potência individual de até 5 kW têm saída monofásica, e, geralmente, são utilizados em sistemas residenciais. Para potência mais elevada, os inversores têm saída trifásica, visando se adaptar melhor à rede externa da concessionária (PINHO; GALDINO, 2014).

Em geral, os inversores possuem um mecanismo de controle para extrair o máximo de potência possível dos painéis fotovoltaico, esse controle é chamado de seguidor de ponto de potência máxima (SPPM) (PINHO; GALDINO, 2014).

Além de tudo, superaquecimento nos componentes dos inversores podem ocorrer quando o calor não é dissipado de forma efetiva. Para evitar que esse superaquecimento danifique seus elementos sensíveis, o inversor reduz sua potência de operação. Esse mecanismo é conhecido como “redução de potência por temperatura” ou *derating* de temperatura. Esse *derating* por temperatura é uma forma controlada de reduzir a potência de saída do inversor. Essa potência é reduzida em passos, e em casos extremos, o inversor pode até se desligar completamente para se proteger. O superaquecimento e o *derating* por temperatura ocorrem por vários motivos, incluindo (Canal Solar, 2019):

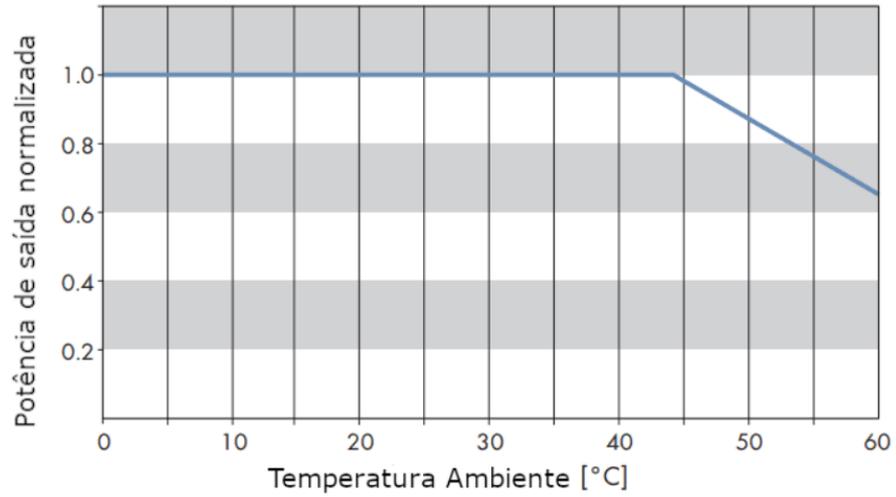
- Impossibilidade do inversor de dissipar o calor devido a condições de instalação desfavoráveis.
- Inversor localizado exposto ao sol ou em ambiente com temperaturas elevadas que fazem com que a dissipação de calor seja inadequada.
- A relação entre a potência do conjunto FV e inversor não estar bem dimensionada.
- O local de instalação do inversor está numa altitude desfavorável. Como resultado, o *derating* por temperatura é mais provável de acontecer uma vez que

o ar é menos denso em altitudes maiores e, portanto, menos capaz de resfriar os componentes.

- Uma tensão de entrada CC muito alta está presente no inversor.

A Figura 17 ilustra como a temperatura ambiente atua na potência de saída do inversor.

Figura 17 - Potência de saída em relação a temperatura ambiente



Fonte: Canal Solar, 2019.

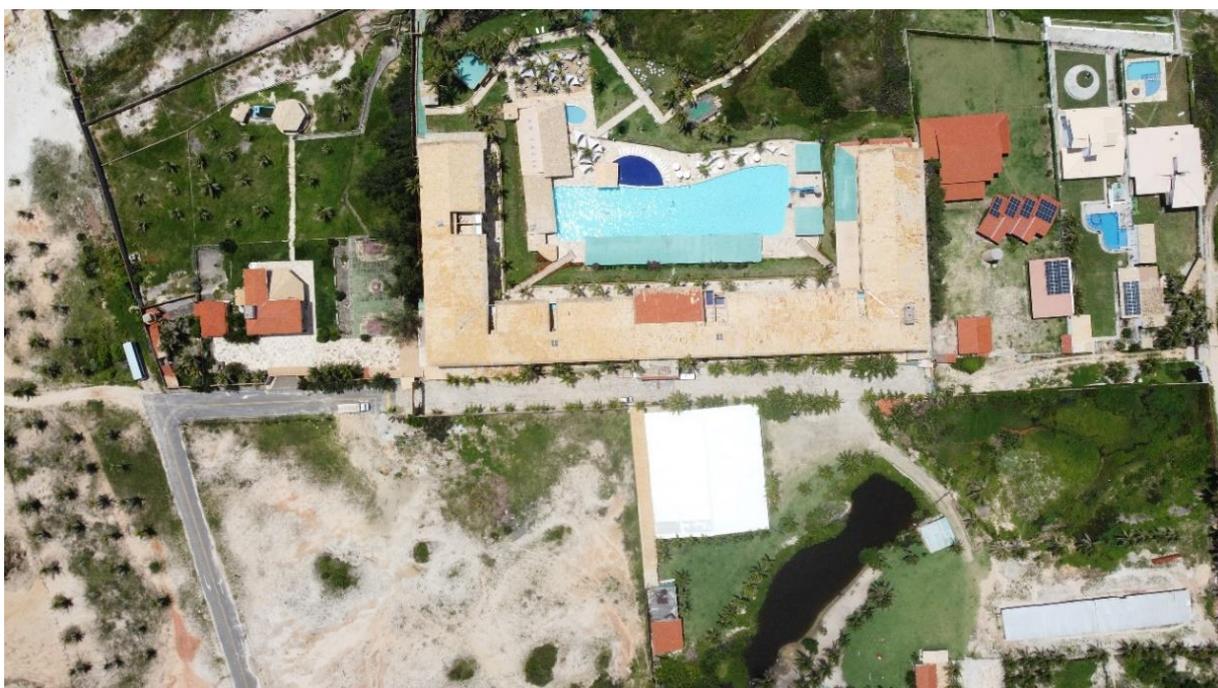
## 4 METODOLOGIA

Para objeto desse estudo será avaliado o SPDA existente na unidade, conforme a ABNT NBR 5419:2015. Caso não esteja de acordo com a norma, será feito um estudo indicando as adequações necessárias para tornar o sistema adequado à norma. Por fim, será levantado uma lista com os materiais necessários para a adequação. Além disso, será avaliada também a necessidade de implantação de um sistema de proteção contra descargas no telhado metálico.

### 4.1 Caso Concreto

A unidade do estudo fica localizada na Praia das Fontes, no município de Beberibe, estado do Ceará; Latitude:  $-4.171493^\circ$ ; Longitude:  $-38.086261^\circ$ . Trata-se de um hotel de veraneio com capacidade máxima para 200 pessoas. A Figura 18 apresenta uma foto aérea da disposição da unidade.

Figura 18 – *Layout da unidade.*



Fonte: O próprio autor.

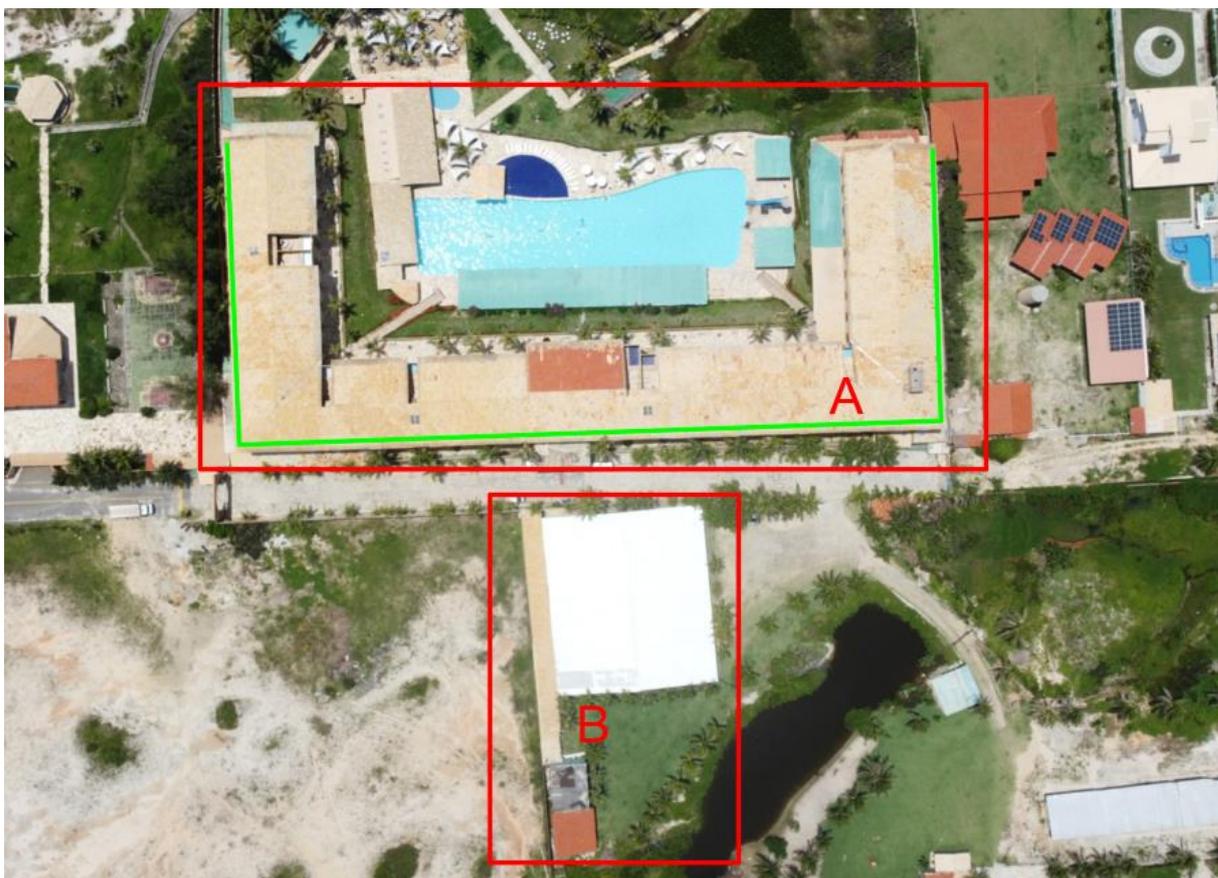
Para o estudo de implantação e adequação de SPDA, deve-se dividir a unidade em dois blocos: A e B. O bloco A é formado pela estrutura onde estão os quartos e a área de lazer, e o bloco B é formado pelo telhado metálico, local onde fica o auditório do hotel, e os quartos laterais, que são quartos para funcionários, assim como mostra a Figura 19.

Em uma visita realizada no local, foi possível constatar que o bloco A já possui uma estrutura de SPDA, conforme é detalhado na Figura 20 e Figura 21. Esse bloco tem o telhado feito de telha cerâmica e estrutura de madeira. O sistema de captação é composto por um cabo de cobre de 35 mm<sup>2</sup> na beira da estrutura que passa sustentado por isoladores roldanas de 20 cm de altura. As roldanas são fixadas diretamente no telhado e o caminho percorrido pelo cabo é conforme a linha verde na Figura 19.

O sistema de descida é composto por diversos pontos de descida nos pontos que existe o subsistema de captação, estão afastados, em média, 15 m entre si. A descida é feita em cabo de cobre de 35 mm<sup>2</sup> e fixado na parede com o uso de isolador de 20 cm de altura. Na chegada ao solo, existe uma proteção mecânica feita com eletroduto rígido de PVC de 1”.

Para o subsistema de aterramento, não foi possível verificar a existência de uma malha ao redor da edificação. Entretanto, existem caixas de inspeção nos pontos de descida do subsistema de captação. Dentro das caixas é possível identificar a existência de hastes de aterramento de cobre de 5/8” x 2,4 m.

Figura 19 – Divisão da unidade para análise do SPDA



Fonte: O próprio autor.

Figura 20 – Detalhamento do sistema de captação do bloco A



Fonte: O próprio autor.

Figura 21 – Sistema de descida do bloco A



Fonte: O próprio autor.

## 4.2 Gerenciamento de risco

O estudo de gerenciamento de risco será realizado para o bloco B com o objetivo de analisar se é ou não necessário a implantação do SPDA. Posteriormente, será avaliado se o SPDA existente no bloco A está em conformidade com a ABNT NBR 5419 (2015). O bloco B é formado por um auditório e quartos. Possui um fluxo de 50 pessoas por dia e dispõe das seguintes dimensões:

- Altura (H): 4 m;
- Comprimento (L): 36 m;
- Largura (W): 31 m;

Para o bloco B, é válido salientar que ele possui uma altura de 4 m em comparação com a altura de 11 m do bloco A e estão afastados 14 m entre si. Na visita realizada, não foi possível identificar nenhum sistema de captação presente.

O estudo de caso sobre a proteção contra descargas atmosféricas é iniciado após análise crítica da norma ABNT NBR 5419 (2015), responsável por regulamentar os SPDA e os cálculos do gerenciamento de risco que conduzirão os parâmetros necessários para um eficiente sistema de proteção.

O cálculo do gerenciamento de risco e a avaliação da necessidade do sistema de SPDA são feitos de acordo com os seguintes parâmetros:

### Riscos

- R<sub>1</sub>: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes).

### Perdas

- L<sub>1</sub>: perda de vida humana.

### Danos

- D<sub>1</sub>: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico.
- D<sub>2</sub>: danos físicos
- D<sub>3</sub>: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Os riscos de perda de serviço ao público (R<sub>2</sub>) e de perda ao patrimônio cultural (R<sub>3</sub>) e as perdas L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> são dispensados, tendo em vista que a estrutura do estudo é uma unidade privada. Além disso, o cálculo para o risco de perda econômica (R<sub>4</sub>) será indicado para trabalhos futuros.

A Tabela 12 apresenta os componentes de riscos que devem ser considerados para cada tipo de perda na estrutura.

Tabela 12 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.

Fonte de Danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica Perto da Estrutura S2	Descarga atmosférica em Uma Linha conectada à Estrutura S3			Descarga atmosférica Perto de Uma Linha conectada à Estrutura S4
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Risco para cada tipo de perda								
R1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*				*		
R4	*b	*	*	*	*b	*	*	*

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

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A Tabela 12 já propõe que para o risco  $R_1$ , os componentes,  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_W$  e  $R_Z$  só devem ser considerados para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou estrutura equivalentes. Assim, somente as componentes  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$  devem ser consideradas.

#### 4.2.1 Risco Tolerável $R_T$

O risco  $R_1$  deve ser comparado com os riscos toleráveis de cada situação para ser determinado se a estrutura tem ou não a necessidade da implantação de um sistema de proteção adicional.

Para o risco de perdas de vida humana ( $L_1$ ), o valor do risco tolerável dado pela norma é  $R_T = 10^{-5}$ .

Segundo a NBR 5419-2:2015:

- Se  $R \leq R_T$ , a proteção contra descargas atmosféricas não é necessária.
- Se  $R > R_T$ , medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir  $R \leq R_T$  para todos os riscos aos quais a estrutura está exposta.

## 4.2.2 Cálculo das componentes de risco para o bloco B

Nessa seção serão feitos os cálculos das componentes de risco do bloco B para a comparação com o risco tolerável  $R_T$  e analisar se é necessário ou não a implantação do sistema de SPDA no mesmo.

### 4.2.2.1 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura (S<sub>1</sub>).

- a. Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico:

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (4.1)$$

- b. Componente relacionado a falha de sistemas internos:

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (4.2)$$

### 4.2.2.2 Componentes de risco devido a descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S<sub>3</sub>).

- a. Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico:

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U \quad (4.3)$$

- b. Componente relacionado a danos físicos:

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (4.4)$$

## 4.2.3 Cálculo das perdas

Aqui, as perdas  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_U$  e  $L_V$  serão calculadas de acordo com as equações 4.5, 4.6 e 4.7.

$$L_A = r_t * L_T * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (4.5)$$

$$L_B = L_V = r_p * r_f * h_z * L_F * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (4.6)$$

$$L_U = r_t * L_T * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (4.7)$$

Onde:

- $L_T$ : é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico ( $D_1$ ) devido a um evento perigoso;
- $L_F$ : é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos ( $D_2$ ) devido a um evento perigoso;

- $r_t$ : é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso;
- $r_p$ : é um fator de redução da perda devido a danos físicos, dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio;
- $r_f$ : é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura;
- $h_z$ : é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente;
- $n_z$ : é o número de pessoas na zona;
- $N_t$ : é o número total de pessoas na estrutura;
- $t_z$ : é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Das Tabelas abaixo serão retirados os valores necessários para os cálculos das perdas da estrutura em estudo.

Tabela 13 - Valores médios típicos de LT, LF e LO

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
	LT		
D1 ferimentos	LT	$10^{-2}$	<b>Todos os tipos</b>
D2 danos físicos	LF	$10^{-1}$	Risco de explosão
		$10^{-1}$	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		$5 \cdot 10^{-2}$	Entretenimento público, igreja, museu
		$2 \cdot 10^{-2}$	Industrial, comercial
		$10^{-2}$	Outros
D3 falhas de sistemas internos	LO	$10^{-1}$	Risco de explosão
		$10^{-2}$	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		$10^{-3}$	Outras partes de hospital

Fonte: NBR 5419-2:2015.

Da Tabela: D1 é todos os tipos e LF é relacionado à hotel

Tabela 14 - Fator de redução  $r_t$  em função do tipo da superfície do solo ou piso.

Tipo de superfície (b)	Resistência de contato k (a)	$r_t$
Agricultura, concreto	$\leq 1$	$10^{-2}$
Marmore, cerâmica	1 - 10	$10^{-3}$
Cascalho, tapete, carpete	10 - 100	$10^{-4}$
Asfalto, linóleo, madeira	$\leq 100$	$10^{-5}$
a - Valores medidos entre um eletrodo de $400 \text{ cm}^2$ comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.		
b - Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável		

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A unidade possui a superfície de concreto.

Tabela 15 - Fator de redução  $r_p$  em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.

Providências	$r_p$
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático (a)	0,2
a - Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.	

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A unidade possui um sistema de combate a incêndio.

Tabela 16 - Fator de redução  $r_f$  em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

Risco	Quantidade de risco	$r_f$
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	$10^{-1}$
	Zonas 2, 22	$10^{-3}$
Incêndio	Alto	$10^{-1}$
	Normal	$10^{-2}$
	Baixo	$10^{-3}$
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Fonte: NBR 5419-2:2015.

O risco de incêndio deve ser adotado.

Tabela 17 - Fator  $h_z$  aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.

Tipo de perigo especial	hz
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A unidade não possui nenhum perigo especial.

Tabela 18 - Resumo dos índices para cálculo das perdas.

LT	$10^{-2}$
LF	$10^{-1}$
$r_t$	$10^{-2}$
$r_p$	0,5
$r_f$	$10^{-2}$
hz	1

Fonte: O próprio autor.

Com os valores obtidos das Tabelas, pode-se efetuar os cálculos das perdas  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_U$  e  $L_V$ .

Deve-se considerar os seguintes valores para o complemento das equações.  $n_t = 30$  pessoas,  $n_z = 30$  pessoas e  $t_z = 8760$  (horas por ano)

$$L_A = r_t * L_T * n_z/n_t * t_z/8760$$

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

$$L_A = 10^{-4}$$

$$L_B = L_V = r_p * r_f * h_z * L_F * n_z/n_t * t_z/8760$$

$$L_B = L_V = 0,5 * 10^{-2} * 1 * 10^{-1} * 1$$

$$L_B = L_V = 5 * 10^{-4}$$

$$L_U = r_t * L_T * n_z/n_t * t_z/8760$$

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

$$L_U = 10^{-4}$$

#### 4.2.4 Cálculo da Probabilidade

O anexo B da ABNT NBR 5419-2:2015 fornece as equações necessárias para o cálculo dos valores das probabilidades  $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_U$  e  $P_V$ :

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (4.8)$$

Onde:

$P_{TA}$ : Depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo.

$P_B$ : Depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas ( $N_P$ ) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado.

Tabela 19 - Valores de probabilidade  $P_{TA}$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.

Medida de proteção adicional	$P_{TA}$
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	$10^{-2}$
Equipotencialização efetiva do solo	$10^{-2}$
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A unidade não possui nenhuma medida de proteção adicional, assim  $P_{TA} = 1$ .

Tabela 20 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Características da estrutura	Classe do SPDA	PB
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A estrutura não possui nenhum sistema de SPDA, portanto  $P_B = 1$ .

Sendo assim,

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

$$P_A = 1 * 1$$

$$P_A = 1$$

Para calcular  $P_U$  e  $P_V$ , deve-se utilizar as seguintes fórmulas:

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (4.9)$$

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (4.10)$$

Onde:

$P_{TU}$ : Depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta;

$P_{LD}$ : É a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada dependendo das características da linha;

$C_{LD}$ : É um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolamento da linha;

$P_{EB}$ : Depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado.

Tabela 21 - Valores da probabilidade  $P_{TU}$  de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.

<b>Medida de proteção</b>	<b>PTU</b>
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica	$10^{-2}$
Restrições físicas	0

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A unidade não possui nenhuma medida de proteção contra descargas atmosféricas em uma linha que adentre a estrutura.

Tabela 22 - Valor da probabilidade  $P_{EB}$  em função do  $N_P$  para o qual os DPS foram projetados.

<b>Nível de Proteção</b>	<b>PEB</b>
Sem DPS	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 - 0,001

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A edificação não possui Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS).

Tabela 23 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência  $R_S$  da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso  $U_W$  do equipamento.

<b>Tipo da Linha</b>	<b>Condições de roteamento, blindagem e interligação</b>	<b>Tensão suportável <math>U_W</math> em KV</b>					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1,5	2,5	4	6	
		1	1	1	1	1	
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5/\text{km} < R_S \leq 20/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1/\text{km} < R_S \leq 5/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
	$R_S \leq 1/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02	

Fonte: NBR 5419-2:2015.

Como a unidade possui as linhas de energia aérea e não blindadas.

Tabela 24 - Valores dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$  dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	$C_{LD}$	$C_{LI}$
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multi-aterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A linha é aérea não blindada e a conexão de entrada indefinida.

Tabela 25 - Resumo dos índices para cálculo das probabilidades.

$P_{TU}$	1
$P_{EB}$	1
$P_{LD}$	1
$C_{LD}$	1

Fonte: O próprio autor.

Calculando o valor de  $P_U$  e  $P_V$ :

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

$$P_U = 1 * 1 * 1 * 1$$

$$P_U = 1$$

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

$$P_V = 1 * 1 * 1$$

$$P_V = 1$$

#### 4.2.5 Cálculo do número anual N de eventos perigosos

Para essa seção, é necessário calcular o número de eventos perigosos  $N_D$ ,  $N_{DI}$ ,  $N_L$  de acordo com as equações:

- **Número de eventos perigosos  $N_D$  para a estrutura.**

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (4.11)$$

Onde:

$N_G$ : É a densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/\text{km}^2 * \text{ano}$ );

$A_D$ : É a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado ( $\text{m}^2$ );

$C_D$ : É o fator de localização da estrutura.

Para obter a densidade de descargas atmosféricas, pode-se consultar o anexo F da ABNT NBR 5419-2:2015, já que ele apresenta um mapa com a densidade atmosférica das cidades brasileira, ou obter essa informação através do site da ELAT/INPE. Assim, pode-se obter a densidade  $N_G = 1,53 \text{ km}^2 / \text{ano}$  para a cidade de Beberibe/CE.

$A_D$  é calculado matematicamente, onde L, W e H são, respectivamente, comprimento, largura e altura da unidade analisada:

$$A_D = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (4.12)$$

$$A_D = 36 * 31 + 2 * (3 * 4) * (36 + 31) + \pi * (3 * 4)^2$$

$$A_D = 2.799,40 \text{ m}^2$$

Tabela 26 - Fator de localização da estrutura  $C_D$ .

Localização relativa	$C_D$
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: NBR 5419-2:2015.

Tendo em vista que a unidade se encontra ao lado da estrutura mais elevada dos quartos,  $C_D = 0,25$ .

Calculando o fator ND:

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

$$N_D = 1,53 * 2.799,40 * 0,25 * 10^{-6}$$

$$N_D = 1,07 * 10^{-3}$$

- **Número de eventos perigosos  $N_{DJ}$  para uma estrutura adjacente.**

Já que a estrutura em estudo possui a edificação que abriga os quartos ao seu lado, a ABNT NBR 5419 exige o cálculo do número de eventos  $N_{DJ}$  da estrutura adjacente:

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (4.13)$$

Onde:

$A_{DJ}$ : É a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado ( $m^2$ );

$C_{DJ}$ : É o fator de localização da estrutura adjacente;

$C_T$ : É o fator tipo de linha.

A área de exposição da estrutura adjacente é calculada pela fórmula 4.14, de acordo com as seguintes dimensões da estrutura adjacente:

- Altura = 11 m;
- Comprimento = 140 m;
- Largura = 60 m.

$$A_{DJ} = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (4.14)$$

$$A_{DJ} = 140 * 60 + 2 * (3 * 11) * (140 + 60) + \pi * (3 * 11)^2$$

$$A_{DJ} = 21.807,34 \text{ m}^2$$

Logo,

$$N_{DJ} = 1,53 * 21.807,34 * 0,5 * 0,5 * 10^{-6}$$

$$N_{DJ} = 8,34 * 10^{-3}$$

Calculando o número médio anual de eventos perigosos NL devido a descargas atmosféricas na linha:

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (4.15)$$

Onde:

$N_L$ : É o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

$N_G$ : É a densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/\text{km}^2 \cdot \text{ano}$ );

$A_L$ : É a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado ( $\text{m}^2$ );

CI - é o fator de instalação da linha;

CE - é o fator ambiental;

Com a área de exposição equivalente para a linha onde LL é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m) aplica-se a fórmula:

É válido destacar que onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido  $LL = 1000 \text{ m}$ .

$$AL = 40 * LL \quad (4.16)$$

$$AL = 40 * 1000$$

$$AL = 40000 \text{ m}$$

Tabela 27 - Fator de instalação da linha CI.

Roteamento	CI
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2)	0,01

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A estrutura em estudo possui roteamento de linha aéreo.

Tabela 28 - Fator tipo de linha CT

Instalação	CT
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,5

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A estrutura em estudo possui transformador em sua linha de energia.

Tabela 29 - Fator ambiental da linha CE.

Ambiente	CE
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20m.	0,01

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A estrutura em estudo está localizada em um ambiente rural.

Tabela 30 - Resumo dos índices para cálculo do número de eventos perigosos.

CI	1
CT	0,5
CE	1

Fonte: O próprio autor.

Calculando  $N_L$ :

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6}$$

$$N_L = 1,53 * 40000 * 1 * 1 * 0,5 * 10^{-6}$$

$$N_L = 3,06 * 10^{-2}$$

Para finalizar os cálculos de gerenciamento de risco, calcula-se  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$ ,  $R_V$  e comparando com o risco tolerável ( $R_T$ ).

$$R_A = N_D * P_A * L_A$$

$$R_A = 1,07 * 10^{-3} * 1 * 10^{-4}$$

$$R_A = 0,0107 * 10^{-5}$$

$$R_B = N_D * P_B * L_B$$

$$R_B = 1,07 * 10^{-3} * 1 * 5 * 10^{-4}$$

$$R_B = 0,0535 * 10^{-5}$$

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

$$R_U = (30,6 * 10^{-3} + 8,34 * 10^{-3}) * 1 * 10^{-4}$$

$$R_U = 0,389 * 10^{-5}$$

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

$$R_V = (30,6 * 10^{-3} + 8,34 * 10^{-3}) * 1 * (5 * 10^{-4})$$

$$R_V = 1,947 * 10^{-5}$$

$$R_A + R_B + R_U + R_V = 2,4002 * 10^{-5} \quad (4.17)$$

Sendo  $2,4002 * 10^{-5} > R_T (10^{-5})$ , o sistema de SPDA é necessário.

Para reduzir os riscos a um valor tolerável, deve-se alterar o valor da probabilidade  $P_{EB}$  incluindo dispositivos de Proteção Contra Surto (DPS) classe II, com isso os cálculos  $R_U$  e  $R_V$  sofrerão alterações como a seguir:

$$P_{EB} = 0,02 \text{ (DPS classe II).}$$

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

$$P_U = 1 * 0,02 * 1 * 1$$

$$P_U = 0,02$$

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

$$P_V = 0,02 * 1 * 1$$

$$P_V = 0,02$$

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

$$R_U = (30,6 * 10^{-3} + 8,34 * 10^{-3}) * 0,02 * 10^{-4}$$

$$R_U = 0,007788 * 10^{-5}$$

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

$$R_V = (30,6 * 10^{-3} + 8,34 * 10^{-3}) * 0,02 * (5 * 10^{-4})$$

$$R_V = 0,03894 * 10^{-5}$$

assim,

$$R_A + R_B + R_U + R_V = 0,181 * 10^{-5} \quad (4.18)$$

Com a implantação do Dispositivo de Proteção Contra Surtos classe II, pode-se reduzir o risco total a um valor aceitável pela norma,  $0,181 * 10^{-5} < RT (10^{-5})$

### 4.3 Implantação do sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico a ser implantado na unidade é um sistema *on-grid*, ou seja, conectado à rede externa da concessionária, composto por 880 módulos fotovoltaico da fabricante *Canadian Solar* e modelo CS7N-650MB-AG com potência nominal de 650 Wp, totalizando 572,0 kWp. Serão utilizados 8 inversores da fabricante Huawei Tecnologia de modelo SUN2000-60KTL-M0 e potência nominal de 60 kW. A Tabela 31 apresenta um resumo da usina fotovoltaica. Os módulos estão divididos em 500 módulos no bloco A e 320 módulos no bloco B. É importante lembrar que existem 60 módulos na estrutura próxima a piscina com altura de 1,7 m. As Figuras 22 e 23 apresentam as paginações dos módulos a serem alocados no bloco A e B, respectivamente. Os retângulos azuis são os painéis fotovoltaico. As Tabelas 32 e 33 apresentam as principais características dos módulos e inversores, respectivamente.

Tabela 31 - Resumo da usina 1

QUADRO RESUMO UFV	
Número de módulos	880
Potência nominal dos módulos (Wp)	650
Potência total instalada (kWp)	572,0
Potência nominal dos inversores (kW)	60
Quantidade de inversores	8
Potência total dos inversores (kW)	480

Fonte: O próprio autor.

Tabela 32 - *Datasheet* módulo fotovoltaico

Características Elétricas (STC)	
Potência Máxima	650 W
Tensão de Máxima Potência ( $V_{MPP}$ )	37,90 V
Corrente de Máxima Potência ( $I_{MPP}$ )	17,16 A
Tensão de Circuito Aberto ( $V_{OC}$ )	45,00 V
Corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ )	18,39 A
Eficiência do módulo	20,90 %
Características Elétricas (NOCT)	
Potência Máxima	487 W
Tensão de Máxima Potência ( $V_{MPP}$ )	35,50 V
Corrente de Máxima Potência ( $I_{MPP}$ )	13,74 A
Tensão de Circuito Aberto ( $V_{OC}$ )	42,50 V

Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	14,83 A
<b>Características Mecânicas</b>	
Tipo de célula	Monocristalino
Número de células	110 células
Dimensão do módulo	2384x1096x35 mm
Peso	32,6 kg

Fonte: *Canadian Solar*.

Tabela 33 – Datasheet inversor SUN2000-60KTL-M0

<b>ENTRADA</b>	
Máxima tensão de entrada	1.100 V
Máxima corrente de entrada por MPPT	22 A
Máxima corrente de curto-circuito por MPPT	30 A
Tensão de start	200 V
Faixa de operação de tensão do MPPT	200 V ~ 1.000 V
Tensão de entrada nominal	720 V @480 V, 600 V @380V
Número de entrada	12
Número de MPPT	6
<b>SAÍDA</b>	
Potência nominal de saída	60.000 W
Potência máxima de saída	66.000 VA
Tensão CA nominal	480 V / 400V / 380 V
Frequência de operação	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída nominal	91,2 A
Corrente máxima de saída	100 A
<b>GERAL</b>	
Dimensões (W x H x D)	1.075 x 555 x 300 mm
Peso	74 kg

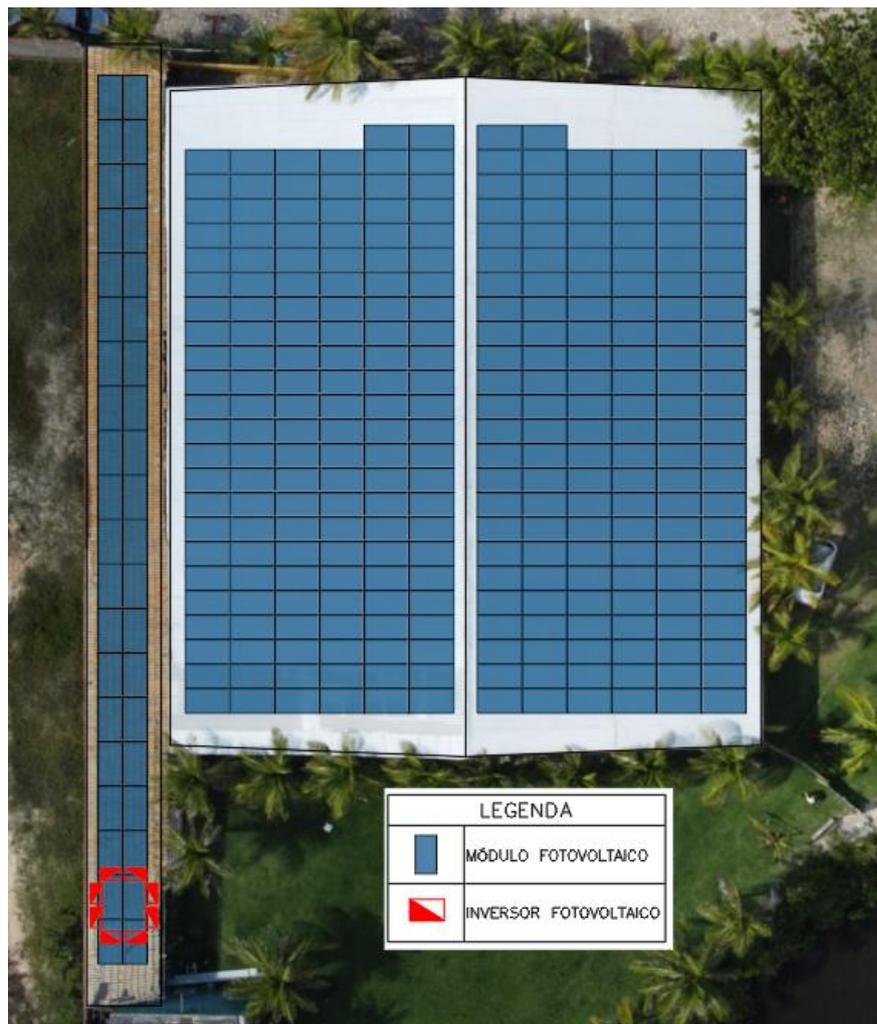
Fonte: HUAWEI

Figura 22 – Paginação bloco A



Fonte: O próprio autor.

Figura 23 – Paginação bloco B



Fonte: O próprio autor.

É válido destacar que as *strings* atuam com tensões de 900 Vcc (45 V x 20 painéis) e as estruturas de fixação e moldura dos módulos devem estar equipotencializadas com o SPDA visando evitar possíveis centelhamentos e induções de tensão entre as estruturas do sistema fotovoltaico e a unidade. Ademais, a região dos inversores dos dois blocos é representada pelos retângulos vermelhos. Esses ficarão alocados em um depósito de materiais com boa ventilação que será esvaziado.

O sistema fotovoltaico deve contar com proteção para o lado CA e lado CC. Para o lado CC, cada inversor é protegido com um DPS CC Classe I por entrada MPPT. O uso de fusível é dispensado, já que a entrada MPPT só possui duas entradas para strings. Assim, a corrente reversa máxima que passa por uma string é igual a corrente de curto-circuito da outra string, reduzindo os possíveis danos que essa corrente reversa poderia causar. Para o lado CA, os inversores são protegidos com o uso de disjuntores termomagnético e DPS CA Classe I.

#### 4.4 Adequação do SPDA existente após a implantação da usina fotovoltaica.

##### 4.4.1 Análise do SPDA existente no bloco A

- **Subsistema de captação**

A ABNT NBR 5419 (2015) dispõe que para telhados horizontais plano, o método das malhas é considerado um bom método para a proteção da estrutura. Para tanto devem ser cumprido os seguintes requisitos:

- Os Condutores de captação devem ser instalados:
  - Na periferia da cobertura da estrutura;
  - Nas saliências da cobertura da estrutura;
  - Nas cumeeiras dos telhados, se o declive deste exceder 1/10 (um de desnível por dez de comprimento);
- As dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados na Tabela 34;

Tabela 34 - 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 dos condutores da malha m	Ângulo de proteção a
I	20	5 x 5	ver figura abaixo
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A estrutura de captação existente não atende aos requisitos mínimos da ABNT NBR 5419 (2015), ou seja, a estrutura não está protegida contra a ação direta de descargas atmosféricas. Logo, as adequações devem ser feitas visando atender os requisitos mínimos exigidos pela norma.

Além disso, é importante destacar que a estrutura existente deve ser elevada, tendo em vista que ela se encontra muito baixa em relação ao telhado, ficando praticamente na mesma altura dos módulos.

- **Subsistema de descida**

A ABNT NBR 5419 (2015) propõe que para reduzir a probabilidade de danos devido à corrente das descargas atmosféricas fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arranjados a fim de proverem:

- a) diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- b) o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- c) a equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura deve ser feita de acordo com os requisitos da norma

A Tabela 35 indica os valores típicos de distância para os condutores de descida.

Tabela 35 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA

<b>Classe do SPDA</b>	<b>Distâncias m</b>
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA. É aceitável que o espaçamento dos condutores de descida tenha no máximo 20% além dos valores acima.	

Fonte: NBR 5419-2:2015.

Os condutores de descida não estão dispostos por todo o perímetro da edificação. Assim, torna-se necessário também a adequação do subsistema de descida, realizando as descidas por todo o perímetro da edificação, e respeitando as distâncias indicadas na tabela 35.

- **Subsistema de aterramento**

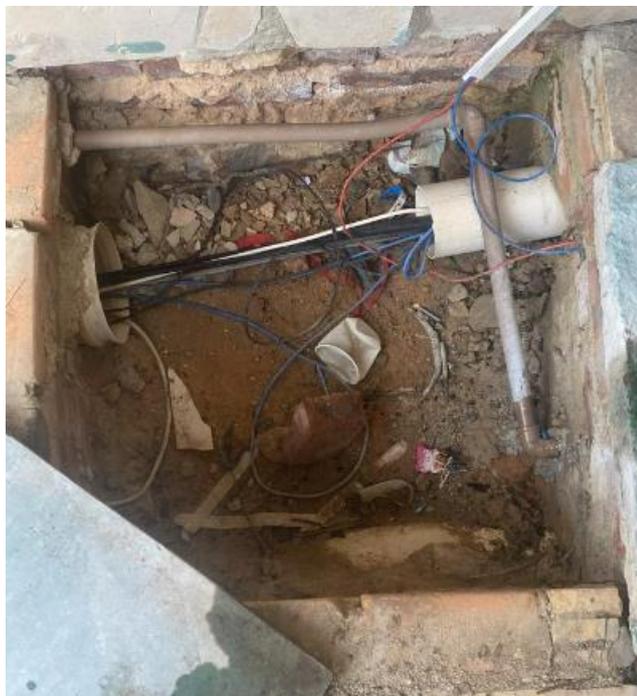
A ABNT NBR 5419 (2015) dispõe que o subsistema de aterramento é o método mais importante para minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa, através da dispersão da corrente da descarga atmosférica para a terra. Para isso, o subsistema de aterramento deve atender os seguintes requisitos:

- a) O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m;
- b) O eletrodo de aterramento em anel deve ficar posicionado à distância aproximada de 1 m ao redor das paredes externas;
- c) Eletrodos de aterramento devem ser instalados de tal maneira a permitir sua inspeção durante a construção.

A figura 24 mostra a disposição das caixas de inspeção existente na unidade. Sendo assim, para o subsistema de aterramento, a unidade pode-se analisar que em existem alguns pontos de inspeção, onde é possível verificar a existência de hastes de aterramento. Entretanto, não é possível verificar a existência de uma malha com cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> ao redor do perímetro da unidade, como recomendo a ABNT 5419 (2015). Assim, para adequar o

subsistema de aterramento à norma é necessário fazer uma malha afastada 1 m do perímetro do prédio com 50 cm de profundidade.

Figura 24 – Subsistema de aterramento existente.



Fonte: O próprio autor.

#### 4.4.2 Adequação do SPDA

Para a proteção dos módulos fotovoltaicos que ficarão alocados na cobertura do prédio, o principal método de proteção seria deixá-los dentro da zona de proteção das esferas rolantes. Entretanto, é importante destacar que não será possível implantar somente o método da esfera rolante, pois a grande quantidade de captadores que deveriam ser instalados para cumprir esse método causam efeitos negativos na estética do hotel e seriam responsáveis por causar sombras nos painéis fotovoltaicos, gerando perda de geração. Assim, será realizada uma composição com alguns captadores instalados em pontos estratégicos e condutores de cobre nu fazendo o fechamento da malha. É válido lembrar que a estrutura que já existe será reaproveitada na implantação do novo SPDA. Tendo em vista limitações do arranjo fotovoltaico que já está sendo instalado, a classe de SPDA que deve ser escolhida é a classe IV, ou seja, conforme a Tabela 30, o subsistema de captação deve ser formado por malhas de, no máximo, 20x20 m. Além disso, como possui declive maior que 1/10, deve passar o condutor de captação pela cumeeira do telhado.

A estrutura de captação que existe no bloco A será aproveitada e interligada a nova estrutura. Assim, devem ser feitas malhas de 20x20 m em torno do telhado, nas periferias e na cumeeira, conforme indicado na ABNT NBR 5419 (2015).

Além disso, é importante salientar que a ABNT NBR 5419 (2015) indica que elementos metálicos externos à estrutura a ser protegida podem ser afetados com a instalação do SPDA. Portanto, ligações equipotenciais com as partes metálicas externas devem ser consideradas. Essa equipotencialização visa reduzir o risco de centelhamento perigoso entre as estruturas devido à descarga direta. Assim, deve ser considerada a equipotencialização das estruturas de fixação dos módulos e moldura dos módulos com o subsistema de captação. Logo, o sistema fotovoltaico torna-se parte integrante desse.

O anexo A apresenta o projeto de como deverá ficar o novo subsistema de captação, sendo a linha verde o subsistema já existente, a linha vermelha os condutores de captação que devem ser instalados e a linha azul são os condutores para equipotencialização das estruturas metálicas dos módulos. É válido salientar que o telhado possui uma estrutura “sobressalente”, uma caixa d’água que também deve apresentar uma malha equipotencializada com a malha do restante do telhado.

#### **4.4.3 Modo de instalação**

A implantação do subsistema de captação é feita de modo que o cabo de 35 mm<sup>2</sup> é usado para fazer a malha ao redor do telhado, o cabo de 16 mm<sup>2</sup> é usado para fazer a equipotencialização entre a estrutura dos módulos e o subsistema de captação, os conectores de compressão são usados para fazer a interligação entre os cabos e o suporte é usado para guiar os cabos no telhado. Deve ser destacado que a equipotencialização entre módulos e malha deve ser feita apenas para o conjunto de módulos, a equipotencialização módulo a módulo já está prevista no projeto fotovoltaico.

Os suporte-guia devem ser instalados a cada 1 m para a passagem dos cabos da malha. Além disso, para a equipotencialização entre os módulos e a malha deve ser usado o furo de aterramento pré-existente na moldura dos módulos, a fixação é feita com terminal olhal de compressão estanhado para cabo de 16mm<sup>2</sup> com furo M5, parafuso sextavado inox M5, porca inox M5 e arruela lisa inox M5. O conector de compressão faz a conexão entre os cabos de 16 e 35 mm<sup>2</sup>. É importante ressaltar a instalação de 4 DPS Classe II para o quadro do bloco B, 1 para cada fase e 1 para o neutro que vem do quadro geral.

Como destacado anteriormente, deve ser feita uma malha com cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> ao redor do edifício com distância de 1 m do prédio e 50 cm de profundidade. As caixas de inspeções e as hastes de aterramento existente devem ser aproveitadas para formar a malha.

#### 4.4.4 Lista de materiais

Logo, tendo como objetivo a adequação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, os materiais listados na Tabela 36 devem ser adquiridos e implantados conforme descrito nesse estudo.

Tabela 36 - Quantitativo de materiais

ITEM	QUANT	UNID	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Cabo de cobre nu 35 mm <sup>2</sup>	900	m	28,00	25.200,00
Cabo de cobre nu 16 mm <sup>2</sup>	20	m	9,16	183,20
Suporte guia para SPDA h=200mm	900	unid	6,32	5.688,00
Conector de compressão de cobre (tipo C) de cabo 35 mm <sup>2</sup> P/ 35 mm <sup>2</sup>	50	unid	36,27	1.813,50
Conector de compressão de cobre (tipo C) de cabo 35 mm <sup>2</sup> P/ 16 mm <sup>2</sup>	15	unid	36,27	544,05
Terminal olhal de compressão estanhado para cabo de 16mm <sup>2</sup> furo M5	15	unid	1,15	17,25
Parafuso sextavado inox M5	15	unid	0,63	9,45
Porca inox M5	15	unid	0,22	3,30
Arruela lisa inox M5	15	unid	0,13	1,95
DPS Classe II 275V 45kA	4	unid	60,85	243,40
Cabo de cobre nu 50 mm <sup>2</sup>	500	m	30,25	15.125,00
Captor tipo franklin de uma descida em aço inox rosca 3/4" - H=350MM	15	unid	98,00	1.470,00
Mastro simples em aço galvanizado para para-raio 2" x 3 m com rosca 3/4" p/ captor franklin	15	unid	227,00	3.405,00

Fonte: O próprio autor.

Assim o custo total da adequação fica em R\$ 53.704,10.

## 5 CONCLUSÃO

É importante ressaltar que esse trabalho segue todas as normativas indicadas na ABNT NBR 5419 (2015) e tem o objetivo atenuar o efeito das descargas atmosféricas reduzindo potenciais riscos a pessoas, animais e equipamentos. Além disso, é importante salientar que qualquer mudança na estrutura da unidade deve considerar a existência do SPDA.

Como se trata de uma unidade antiga, não foi possível ter acesso ao primeiro projeto de SPDA. Assim, foi necessária uma visita ao local para elucidar o estado do sistema. O levantamento do que existe foi todo feito *in loco*. A maior dificuldade foi a inspeção da estrutura de captação, sendo necessário utilizar um drone para fazer esse levantamento.

Como o *boom* de energia fotovoltaica predial, comercial e residencial é muito recente, ainda não existe normativa específica para esses casos, o que acaba dificultando a análise e projeto para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Além disso, em muitos casos, os sistemas são instalados em edificações antigas que não possuem o primeiro projeto de SPDA realizado ou possuem uma metodologia defasada, isso acaba tornando o projeto mais oneroso ainda. Além de tudo isso, em algumas edificações, não é possível realizar a melhor metodologia de proteção, em detrimento da estética da edificação.

Diante do exposto, é importante salientar que as medidas indicadas nesse estudo devem ser realizadas, visando proteger a integridade de pessoas e equipamentos. Para o bloco B, o cálculo de gerenciamento de risco apontou a não necessidade de um SPDA. Entretanto, fica como sugestão para trabalhos futuros a comparação financeira entre a implantação do SPDA com os possíveis danos que podem ser causados em caso de uma descarga direta na unidade.

Para a adequação do SPDA do bloco A, a maior dificuldade esteve na escolha do método a ser utilizado, a intenção inicial seria alocar os módulos fotovoltaicos dentro de uma zona de proteção coberta por para-raios tipo franklin espalhadas por todo o telhado. Entretanto, esse método causaria um grande impacto visual na unidade. Assim, é indicado uma composição do método das malhas com o método das esferas rolantes, deixando as estruturas dentro da zona de proteção e causando o menor impacto possível.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, D. L. Geração Solar: Conceitos básicos. Rio Grande do Norte: IFRN, 2016.

Disponível em:

[https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energiasolarfv/apostila\\_geracao\\_solar\\_fv\\_0.9.1](https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energiasolarfv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1). Acesso em: 20 de junho de 2022.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. REN 482 – Resolução Normativa 6482.

2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 18 de set. 2022.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. REN 687 – Resolução Normativa 687. 2015.

Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 19 de set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10899: Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia. Rio de Janeiro, 2020. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1: proteção contra descargas atmosféricas parte 1: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015. 67 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-2: proteção contra descargas atmosféricas parte 2: gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015. 104 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-3: proteção contra descargas atmosféricas parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-4: proteção contra descargas atmosféricas parte 4: sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015. 87 p.

BETINI, Roberto Cesar; CASTAGNA, Annemarlen Gehrke; TIEPOLO, Gerson M. Emprego Verde e o Desenvolvimento Sustentável. In: VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Curitiba. 2012.

BLUESOL, ENERGIA SOLAR. Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares. 2016. Disponível em: <http://programaintegradoronline.com.br/wpcontent/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-SistemasSolares-novo.pdf>. Acesso em: 18 de set. 2022.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. Instalações Elétricas Prediais: conforme a norma NBR 5410:2004. 21. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2012.

Como benjamin Franklin desenvolveu o para raio. Dicas Free, 2020. Disponível em: <https://www.dicasfree.com/como-benjamin-franklin-desenvolveu-o-para-raio/>. Acesso em: 16 de out. 2022

COSTA, Luiza. Brasil registra aumento de 29% no numero de raios em relação à 2021. Super Abril, 2022. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/brasil-registra-aumento-de-29-no-numero-de-raios-em-relacao-a-2021/>. Acesso em: 16 de out. 2022

CRECESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: Referência de índices de irradiação no Sul de Santa Catarina. Página inicial. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 20 de jun. de 2022.

Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico: Entenda Qual É Geração de Energia Elétrica. BLUE SOL, 2015. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/>. Acesso em: 20 de set. 2022.

Energia solar fotovoltaica off-grid. Eco Aquecedores, 2020. Disponível em: <https://www.ecoaquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>. Acesso em: 3 de out. 2022

Energia Solar: Qual a diferença entre sistemas On Grid e Off Grid. Sebrae respostas, 2020. Disponível em: <<https://respostas.sebrae.com.br/energia-ssebraolar-qual-a-diferenca-entre-sistemas-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso em: 3 de out. 2022

Evolução dos preços de energia solar. Luz Solar, 2016. Disponível em: <<https://luzsolar.com.br/evolucao-precos-energia-solar>>. Acesso em: 06 de jul. 2022.

ISAACSON, Walter. Benjamin Franklin: uma vida americana, tradução Pedro Maia Soares. 1ª ed. — São Paulo, Companhia das Letras, 2015.

LIMA JUNIOR, Elias. A energia fotovoltaica no agronegócio: gestão de custos e riscos, diversificação de receita e externalidades. 2019. Tese de Doutorado.

MAMEDE FILHO, João. Instalações elétricas industriais. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MAMEDE, João F. Instalações Elétricas Industriais. Rio de Janeiro: Editora LTC, 8ª ed., 2010.

MME – Ministério de Minas e Energia. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Nota Técnica EPE. Rio de Janeiro – RJ. 2012. Disponível em: [http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar\\_COGEN/NT\\_EnergiaSolar\\_2012.pdf](http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf). Acesso em: 21 de JUNHO de 2022.

NAKAMURA, Juliana. Como proteger sistemas fotovoltaicos contra descargas atmosféricas. AEC WEB, 2021. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-protoger-sistemas-fotovoltaicos-contradescargas-atmosfericas/21361>>. Acesso em: 08 de nov. 2022

NASCIMENTO, C. A. de. Princípio de funcionamento de célula fotovoltaica. Monografia (Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

O que é DPS. Schneider Electric, 2022. Disponível em:

<<https://www.se.com/br/pt/work/local-content/dps-dispositivo-protecao-contrasurtos/>>

Acesso em: 21 de out. 2022

O que são descargas atmosféricas. Inpe, 2020. Disponível em:

<<http://www.inpe.br/webELAT/rindat/menu/desc.atm/>>. Acesso em: 16 de out. 2022

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Disponível em:

[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf).

Acesso em: 20 de set. 2022.

SANTOS, Caio. Óbitos por raio no Brasil. Clima tempo, 2021. Disponível em: <

<https://www.climatempo.com.br/noticia/2021/02/08/obitos-por-raios-no-brasil-7912#:~:text=Segundo%20o%20infogr%C3%A1fico%20produzido%20pelo,mortes%20ocorreram%20durante%20o%20ver%C3%A3o>>. Acesso em: 16 de out. 2022

SANTOS, Sergio Roberto. Proteção contra descargas atmosféricas em usinas fotovoltaicas.

Canal Solar, 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/protecao-contradescargas-atmosfericas-em-usinas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 08 de nov. 2022.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.

EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 25 de out. 2022.

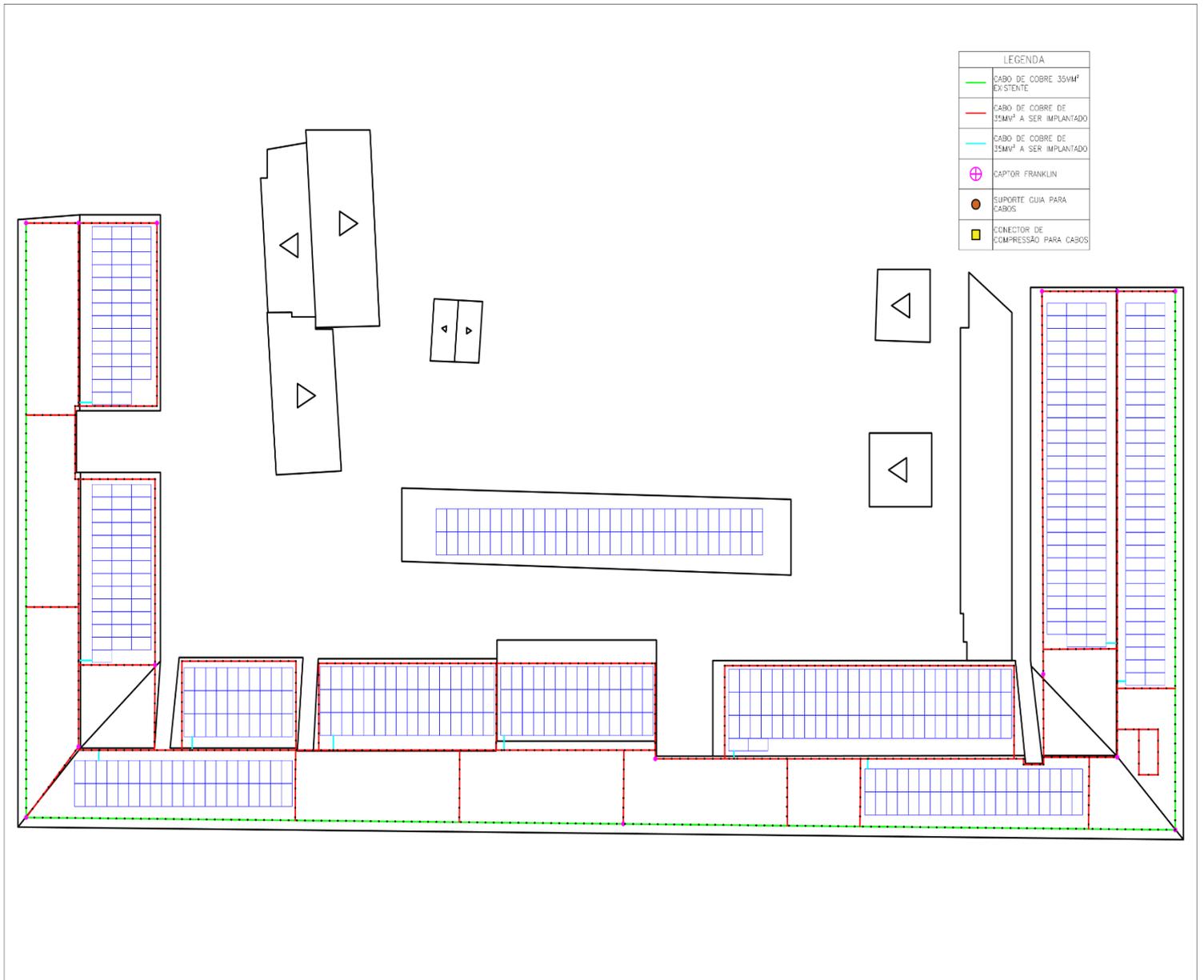
VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1ª ed.

São Paulo: Érica, 2012

VINTURINI, Mateus. Redução de potência do inversor por temperatura. Portal Solar, 2019.

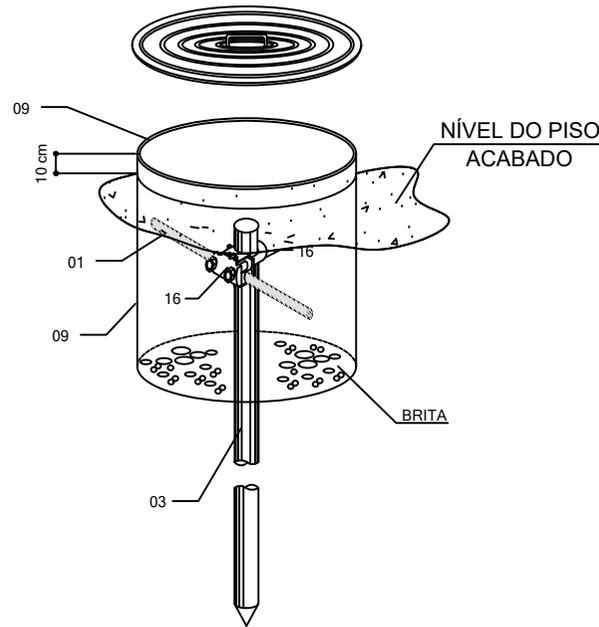
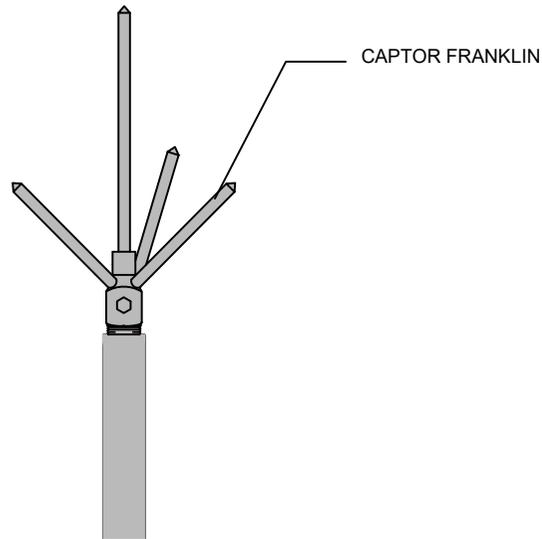
Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/reducao-de-potencia-por-temperatura/#:~:text=Quanto%20maior%20a%20pot%C3%Aancia%20recebida,a%20sua%20pot%C3%Aancia%20de%20opera%C3%A7%C3%A3o>>.

Acesso em: 3 de out. 2022

**ANEXO A – PROJETO CONSTRUTIVO DO NOVO SPDA**

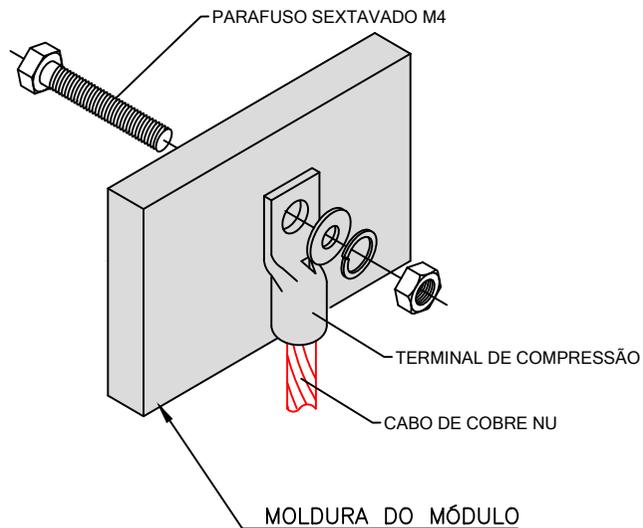
## DETALHE 1 - CAPTOR NO TELHADO

ESCALA: S/E



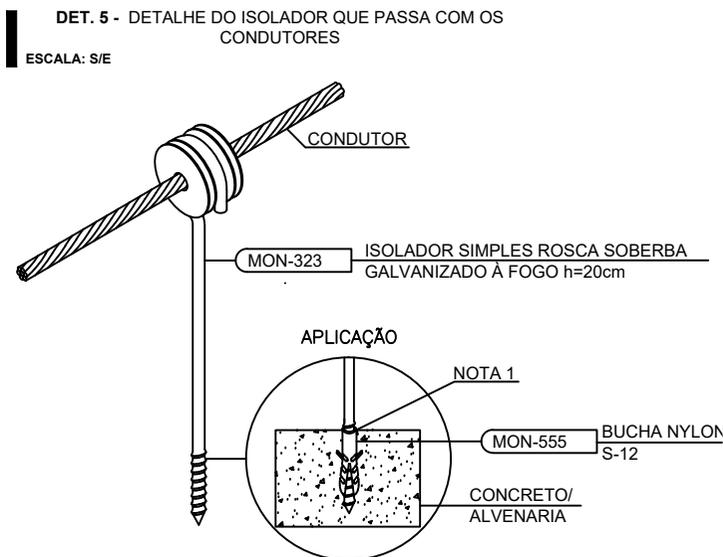
## DET. 2 - HASTE EM 3/4" CAIXA DE INSPEÇÃO TIPO SOLO

ESCALA: S/E



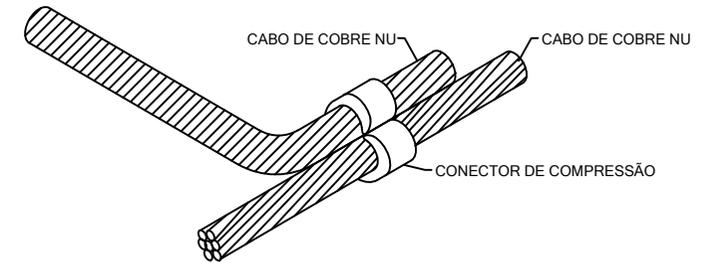
## DET. 4 - TERMINAL DE COMPRESSÃO NA MOLDURA DO MÓDULO

ESCALA: S/E



## DET. 5 - DETALHE DO ISOLADOR QUE PASSA COM OS CONDUTORES

ESCALA: S/E



## DET. 3 - DE CONEXÃO ENTRE CABOS NO TELHADO

ESCALA: S/E

## DET. 6 - DETALHE DA DESCIDA DOS CONDUTORES

ESCALA: S/E

