

Revista

# ABEE-MG

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS DEPARTAMENTO DE MINAS GERAIS



ABEE-MG  
Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas  
Departamento de Minas Gerais

ANO 1 | Nº 1

## Descarga Atmosférica

ARTIGO DO ENGENHEIRO RONALDO KASCHER MOREIRA  
APRESENTA UMA VISÃO GERAL DOS PRINCÍPIOS APLICÁVEIS  
AOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**ENTREVISTA** O engenheiro civil Lúcio Fernando Borges, presidente do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais (CREA-MG) fala das principais ações desenvolvidas e dos projetos da entidade.



**ABEE-MG**

Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas  
Departamento de Minas Gerais

Publicação da Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas - Departamento de Minas Gerais (ABEE-MG).

Av. Álvares Cabral, 1.600 - 2º Andar - CEP 30170-001 | Belo Horizonte-MG | Tel: (31) 3299 8718  
<https://abee-mg.com.br/>

ANO I • Nº 1 • OUTUBRO 2021

**Diretoria ABEE-MG**  
(gestão 2021-2023)

**Presidente**

Eng. Hélio Nonato de Oliveira

**Vice-presidente**

Engª Cláudia Deslandes Figueiredo

**1º Secretário**

Eng. Fernando Luis de Almeida

**2º Secretário**

Eng. Fábio Oliveira Souto

**1º Tesoureiro**

Eng. Miguel Angelo dos Santos Sá

**2º Tesoureiro**

Eng. Eduardo Sabarense Prado

**Diretor de Relações Institucionais**

Eng. Alfredo Marques Diniz

**Diretor de Eventos Técnicos**

Eng. Claudio do Carmo Barsante

**Conselho Deliberativo (Titulares)**

Eng. Gilmar Pereira Narciso  
Eng. Fabio Luis de Oliveira e Silva  
Eng. José Flávio Gomes  
Eng. Welhilton Adriano de Castro Silva  
Eng. Luiz Carlos Sperandio Nogueira  
Eng. Marcelo Marques Santana

**Conselho Deliberativo (Suplentes)**

Eng. André Luiz Freire  
Eng. Alípio Monteiro Barbosa  
Eng. João Jackson Batista Braga

**Conselho Fiscal (Titulares)**

Eng. Igor Braga Martins  
Eng. Lucio Francisco Junior  
Eng. Luiz Reis Lana

**Conselho Fiscal (Suplentes)**

Eng. Mário Veras Junior  
Eng. Paulo Roberto de Paiva Novo  
Eng. Nicolau Neder Pinheiro Damasceno

**PRODUÇÃO**



**Diretoria**

Hilton Moreno | Marcos Orsolon

**Redação**

**Diretor de Redação:**

Marcos Orsolon

**Editor:** Paulo Martins

**Jornalista Responsável:**

Marcos Orsolon

(MTB nº 27.231)

**Produção Visual e Gráfica**

Estúdio AM

# 03 EDITORIAL



**04**

## ENTREVISTA

O engenheiro civil Lúcio Fernando Borges, presidente do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais (CREA-MG), é o convidado desta entrevista. Lúcio Borges comenta desde os cuidados tomados pela entidade devido à pandemia de Covid-19 até as ações que têm sido desenvolvidas no sentido de promover a valorização profissional dos engenheiros eletricitistas de Minas Gerais.



**07**

## ARTIGO

O engenheiro Ronaldo Kascher Moreira assina este artigo sob o título “Proteção contra descargas atmosféricas de sistemas fotovoltaicos”. O artigo apresenta uma visão geral dos princípios aplicáveis aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas dos sistemas fotovoltaicos. Mestre e doutor em engenharia elétrica pela UFMG, Ronaldo é diretor da Kascher Engenharia e Comércio.

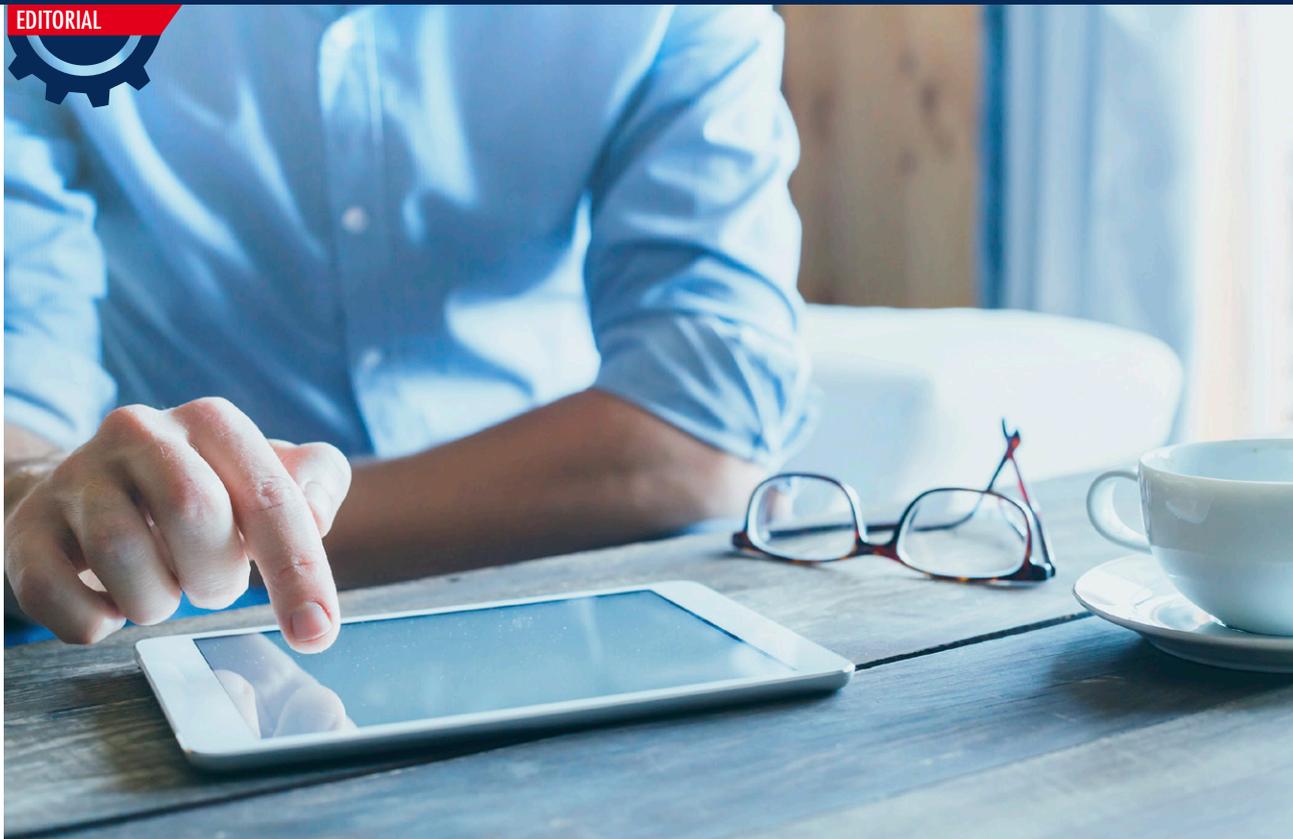


Foto: Shutterstock

# UM NOVO VEÍCULO DE COMUNICAÇÃO

A Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas - Departamento de Minas Gerais (ABEE-MG) tem como missão “atuar na defesa e valorização dos profissionais da área da engenharia elétrica de todas as suas modalidades, promovendo intercâmbio com as demais entidades, inclusive com o sistema CONFEA/CREA, e com as empresas do setor, visando sempre a segurança e qualidade de vida da sociedade”.

Desde sua criação, em dezembro de 2006, a ABEE-MG vem se destacando por seu trabalho voltado aos interesses dos associados, e que inclui a realização de palestras, seminários e cursos.

O lançamento desta revista é mais uma iniciativa que visa contribuir para o crescimento profissional dos engenheiros, de maneira prática e dinâmica. A edição será publicada mensalmente

e está aberta a sua participação, leitor, que pode sugerir temas para serem abordados.

Nesta primeira edição da Revista da ABEE-MG trazemos uma importante entrevista com o engenheiro civil Lúcio Fernando Borges, presidente do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais (CREA-MG).

Publicamos também um artigo de autoria do engenheiro Ronaldo Kascher Moreira, sob o título “Proteção contra descargas atmosféricas de sistemas fotovoltaicos”.

Esperamos que você aprecie a leitura e sugerimos que acompanhe as edições mensalmente e interaja conosco, contribuindo assim para que possamos melhorar a qualidade da publicação.

Até a próxima edição da Revista da ABEE-MG!



# Responsabilidade e transparência

O ENGENHEIRO CIVIL LÚCIO FERNANDO BORGES, PRESIDENTE DO CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS (CREA-MG), É O CONVIDADO DESTA ENTREVISTA, NA QUAL ELE FALA DAS PRINCIPAIS AÇÕES DESENVOLVIDAS E DOS PROJETOS FUTUROS DA ENTIDADE.



Foto: Divulgação

**LÚCIO FERNANDO BORGES**

ENTREVISTA A PAULO MARTINS

**REVISTA ABEE-MG** - Como entidade ativa e relevante na sociedade, como o CREA-MG tem acompanhado esse período de pandemia? Quais os principais cuidados adotados no dia a dia?

**Lúcio Fernando Borges** - No que diz respeito à dinâmica de atendimento aos profissionais e de cuidados com seus funcionários, inspetores e conselheiros, o CREA-MG adotou e continua adotando todos os protocolos sanitários necessários. Distribuição de máscaras e álcool gel, distanciamento rigoroso, medição de temperatura no ingresso às unidades de atendimento foram alguns deles. Funcionários com comorbidades e acima dos 60 anos trabalharam em regime home office até tomar a segunda dose da vacina. O incremento de reuniões virtuais foi outra medida implantada, particularmente no período mais crítico da pandemia.

**REVISTA ABEE-MG** - O trabalho de fiscalização, por exemplo, foi prejudicado de alguma forma? Por quê?

**Borges** - O trabalho de fiscalização, como as demais atividades do Conselho, não foi interrompido em nenhum momento. Seguimos todos os decretos municipais e estadual, e num primeiro momento houve diminuição das atividades de campo, sobretudo blitzes. Mas as ações já foram retomadas, sempre seguindo os devidos cuidados sanitários.



**REVISTA ABEE-MG - Somente no segundo trimestre deste ano foram emitidas quase 160 mil Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) por profissionais do CREA-MG. Esse número chega a surpreender ou está dentro do previsto?**

**Borges** - Esse é um número significativo, que representa um aumento de 25,6% em relação ao mesmo período do ano passado, quando foram registradas 118.750 ARTs. Isso é uma mostra de que o nosso trabalho de fiscalização está surtindo efeito e cada vez mais as atividades privativas da engenharia, da agronomia e das geociências estão sendo exercidas por profissionais habilitados. Lembro que, das multas oriundas da fiscalização, mais de 75% são para pessoas físicas e empresas irregulares. O profissional mesmo está, cada vez mais, consciente de manter a regularidade de suas atividades.

**REVISTA ABEE-MG - O senhor está em sua segunda gestão à frente do CREA-MG. Que pontos o senhor destacaria de sua atuação até o momento? Como tem sido sua linha de trabalho?**

**Borges** - O CREA-MG é uma autarquia federal que verifica e fiscaliza o exercício dos profissionais e atividades das profissões regulamentadas da engenharia, da agronomia e das geociências. E é esse o norte do meu trabalho, como não poderia ser diferente. E é essa diretriz que conduz a relação que tenho com entidades profissionais, instituições de ensino, conselheiros, inspetores e demais setores vinculados ao Sistema Confea/Creas e Mútua. Paralelamente a isso, minha gestão atua dentro de princípios de responsabilidade fiscal e transparência, além de apoiar, de acordo com a legislação, ações desenvolvidas pelas entidades profissionais, instituições de ensino e grupos de trabalhos coordenados pelos conselheiros.

**REVISTA ABEE-MG - Que ações têm sido desenvolvidas no sentido de promover a valorização profissional dos engenheiros eletricitistas de Minas Gerais?**

**Borges** - Além do total incentivo às entidades representativas dos engenheiros eletricitistas, ABEE-MG dentre elas, recentemente o CREA-MG, em conjunto com os demais conselhos regionais, sob coordenação

do Confea, derrubou a tentativa da dispensa de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de instalações elétricas até 140 kVA, que colocava em risco a sociedade, aprovada pela Câmara dos Deputados no bojo da MP 1040/21. Esse resultado favorável à sociedade e aos profissionais somente foi possível porque o Sistema Confea/Crea atuou firmemente desde o final de março, quando a MP foi enviada ao Congresso Nacional. Vencemos mais essa batalha em defesa das nossas profissões e garantimos a segurança da sociedade. Participamos de diversas reuniões com parlamentares, aqui em Minas e em Brasília, para mobilizar os deputados e senadores e barrar esse artigo. Outra conquista, talvez a mais representativa de todas, foi a retirada de tramitação, pelo Governo Federal, da Proposta de Emenda Constitucional 108, de 2019, que pretendia alterar a natureza jurídica dos conselhos profissionais e desobrigar o registro do profissional, ameaçando desregular as atividades profissionais atualmente abrangidas por 32 conselhos federais.



LÚCIO FERNANDO BORGES

Foto: Divulgação



Queremos estar cada vez mais próximos dos profissionais e da sociedade, fortalecendo o papel institucional do CREA-MG e sua importância para o conjunto das profissões e da sociedade.

incentivando o trabalho executado no âmbito desse coletivo. A última ação, aliás, ocorreu no dia 30 de setembro de 2021, quando a Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas (ABEE-MG) trouxe ao CREA-MG o vice-governador do Estado, o também engenheiro civil e economista Paulo Brant, para discutir empregabilidade na engenharia elétrica, cadeia produtiva do carro elétrico e energias renováveis, pautas que vimos discutindo com especialistas, profissionais e parlamentares. Nesta mesma linha de valorização profissional, destaco o Edital de Chamamento Público 001/2021, onde o CREA-MG aprovou 33 projetos desenvolvidos por 33 entidades de classe registradas no Conselho. Ao todo está previsto o repasse de R\$ 2.629.937,51, que já estão sendo utilizados para realização de seminários, ciclo de palestras, trabalhos de valorização profissional, publicação de revistas, dentre outras ações que contemplem assuntos relativos às profissões abrangidas pelo Sistema Confea/Crea.

**REVISTA ABEE-MG - Como o senhor pretende conduzir o restante do seu mandato na presidência do CREA-MG, que vai até 2023?**

**Borges** - Os resultados do nosso trabalho demonstram que estamos no caminho certo. De qualquer forma, não abrimos mão de avançar a partir da constante prática do diálogo com todas as áreas e representações da engenharia, da agronomia e das geociências.

**REVISTA ABEE-MG - Quais as principais ações e projetos que estão previstos para esse período, até 2023?**

**Borges** - Destaco o constante aperfeiçoamento do nosso recém-lançado sistema on-line, o qual já colocou o CREA-MG num patamar próximo do ideal de atendimento aos profissionais. Queremos estar cada vez mais próximos dos profissionais e da sociedade, fortalecendo o papel institucional do CREA-MG, destacando sua razão de existir e importância para o conjunto das profissões e da sociedade. ●

**REVISTA ABEE-MG - Qual a preocupação do CREA-MG com a capacitação e a especialização dos engenheiros eletricistas?**

**Borges** - A maior representação no CREA-MG em relação aos engenheiros eletricistas é a Câmara Especializada de Engenharia Elétrica (CEEE), órgão deliberativo que analisa, julga e decide, em primeira instância, assuntos ligados ao âmbito da modalidade da engenharia elétrica. A Câmara é um espaço para que os profissionais e empresas se informem, tirem dúvidas e resolvam pendências no exercício de sua profissão. Como homem de diálogo, estou sempre ouvindo e



**LÚCIO FERNANDO BORGES**

Foto: Divulgação



# Proteção contra Descargas atmosféricas de Sistemas Fotovoltaicos

## 1. Introdução

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) se multiplicam e as normas e recomendações técnicas visando a proteção contra descargas atmosféricas destes sistemas são muito recentes. As motivações para se proteger os sistemas fotovoltaicos são duas: diminuir os riscos aos usuários da energia (Risco R1- NBR 5419- Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas) e diminuir os riscos de perda econômica (Risco R4- NBR 5419) decorrentes dos custos de manutenção dos painéis atingidos por raios e da perda de geração total ou parcial da energia gerada. Este artigo apresenta uma visão geral dos princípios aplicáveis aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas dos SFV.

## 2. Orientação inicial

A “NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto” refere-se a normas internacionais (IEC TR 63227, IEC 61643-32 dentre outras) e nacionais (NBR 5419) para orientar as soluções de proteção contra descargas. São abordados os SFV com painéis no topo das estruturas e as usinas com painéis no solo.



Figura 1 - SFV com painéis no topo das estruturas e usinas no solo.





A primeira orientação é garantir baixa probabilidade de ocorrência de descargas diretas nos painéis. Para tal, utiliza-se o “Modelo Eletrogeométrico” (NBR 5419) para locar a instalação dos painéis em volumes onde a probabilidade de conexão de raios diretos seja pequena (ZPR 0B – NBR 5419) conforme Figura 2.

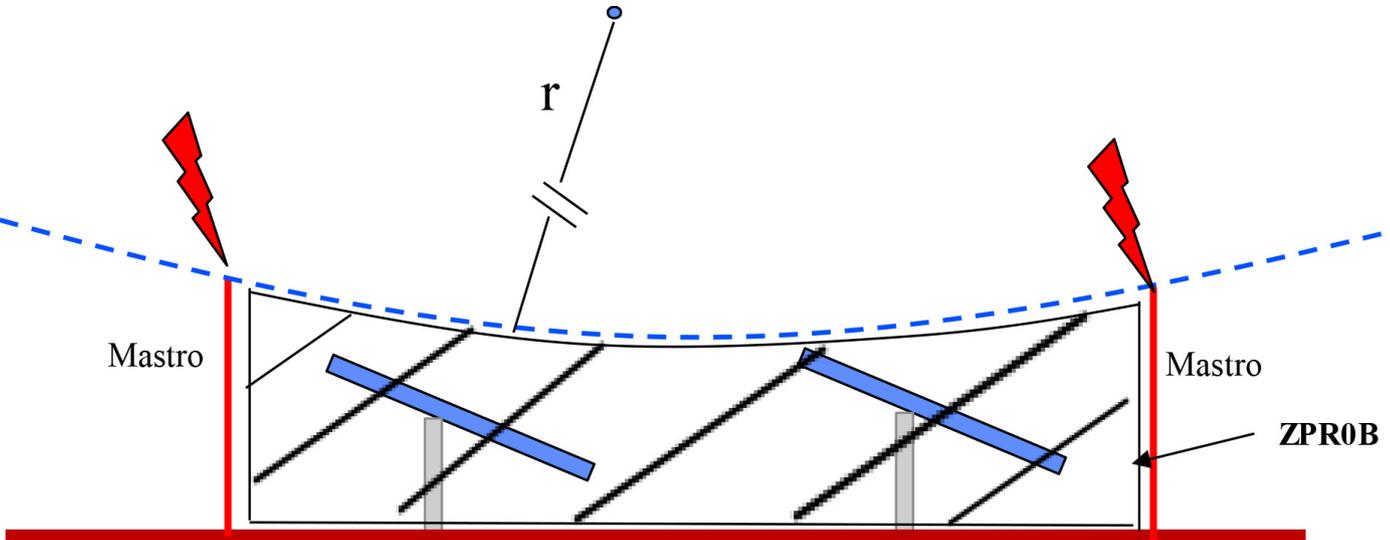


Figura 2 – SFV com painéis locados na ZPR 0B, conforme “Modelo Eletrogeométrico”

### 3. O conceito das “distâncias de separação”

Manter a distância de separação é assegurar que o nível de isolamento elétrico provido pelo espaço de ar mantido na instalação entre o SPDA e os painéis seja superior às tensões impulsivas que possam se desenvolver entre estas instalações quando da ocorrência de uma descarga atmosférica. Estas tensões são desenvolvidas pela passagem das correntes impulsivas da descarga nas indutâncias próprias dos condutores que compõem o SPDA. Como exemplo, a Figura 3 ilustra o desenvolvimento da tensão entre um captor vertical e um painel. Este evento pode também ocorrer entre cabos captores horizontais e as instalações FV.

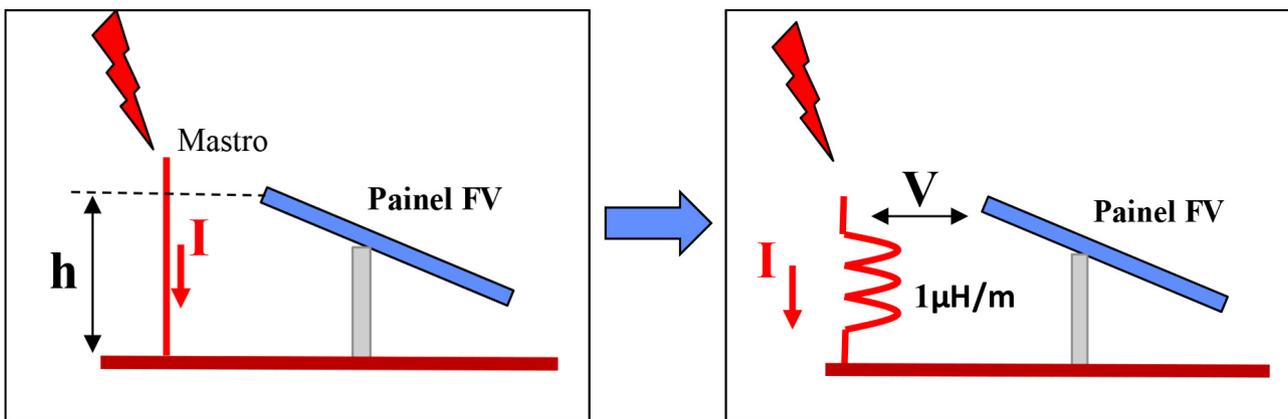


Figura 3 – Desenvolvimento de tensões impulsivas devido às indutâncias dos condutores do SPDA.

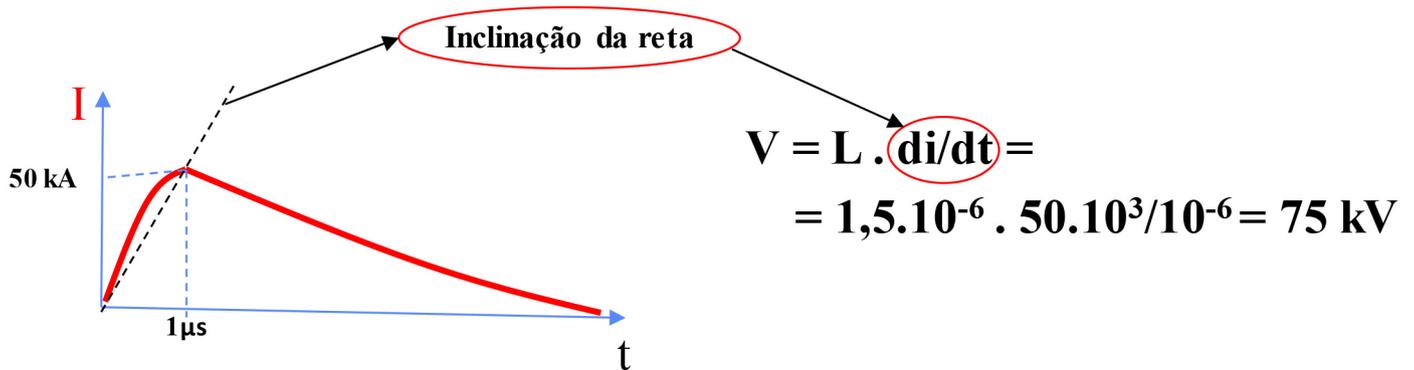
Um condutor cilíndrico (condutor de cobre, de alumínio ou um tubo de aço utilizado como captor) tem uma indutância própria da ordem de 1 μH /m.



A tensão “V” desenvolvida no indutor quando conduz uma corrente variante no tempo é:

$$V = L \cdot di/dt$$

Supondo a corrente de pico da descarga igual a 50 kA, e uma altura do painel (h) de 1,5 m, temos uma tensão desenvolvida de 75 kV conforme abaixo. Se a rigidez dielétrica provida pelo ar considerando a distância utilizada na instalação não for suficiente, poderá haver a formação de um arco elétrico entre o mastro e o painel, o que deve ser evitado devido ao risco de incêndio, além da conexão, pelo arco, de parcela das corrente da descarga na instalação fotovoltaica.



As normas técnicas NBR 16690, IEC 63227 e IEC 61643-32, além da NBR 5419, apresentam metodologia para se assegurar as distâncias de separação necessárias em um SFV atingido por descarga direta.

## 4. Instalação típica em prédio dotado de SPDA, com painéis na ZPR 0B e com distâncias de separação respeitadas.

A Figura 4 apresenta arranjo simplificado de SFV em prédio com SPDA, mantendo-se as distâncias de separação. O SPDA desta figura está apresentado de forma esquemática e representa um SPDA conforme NBR 5419.

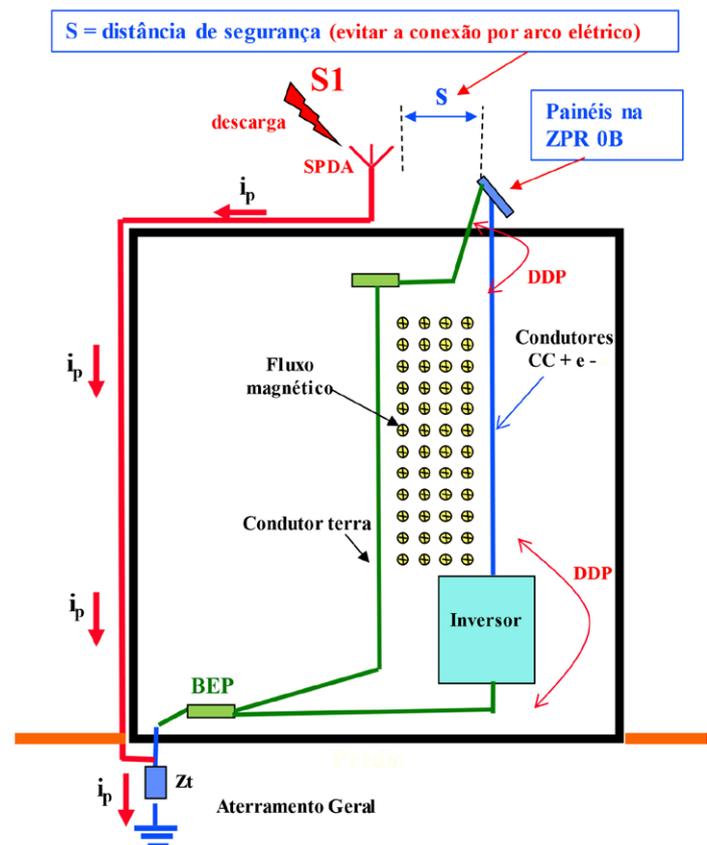


Figura 4 – Instalação típica em prédio dotado de SPDA, com painéis na ZPR 0B e com distâncias de separação respeitadas.



Nesta situação, apesar dos painéis estarem na ZPR 0B, a derivada no tempo do fluxo magnético concatenado nos laços da instalação poderá induzir surtos de altas tensões. Estes surtos aparecerão onde o laço se encontra “aberto”, ou seja, nos painéis fotovoltaicos e no inversor. Poderiam também correr em laços formados por cabos de monitoramento e controle do SFV.

O roteamento de condutores da instalação visando a diminuição das áreas do laço (Figura 5 A) ou o uso de infraestrutura blindada (Figura 5 B) são medidas eficazes e devem ser avaliadas pelos projetistas. Na opção pelo roteamento adequado, todos os condutores (CC, supervisão etc.) que transitarem na instalação devem ser instalados seguindo rigorosamente o mesmo percurso. O objetivo é diminuir o fluxo magnético concatenado produzido pela corrente elétrica da descarga. Na opção pela infraestrutura blindada, os condutores que fazem parte do laço de indução devem ser acondicionados na infraestrutura metálica, com continuidade elétrica longitudinal garantida e conectada em suas extremidades às massas dos equipamentos.

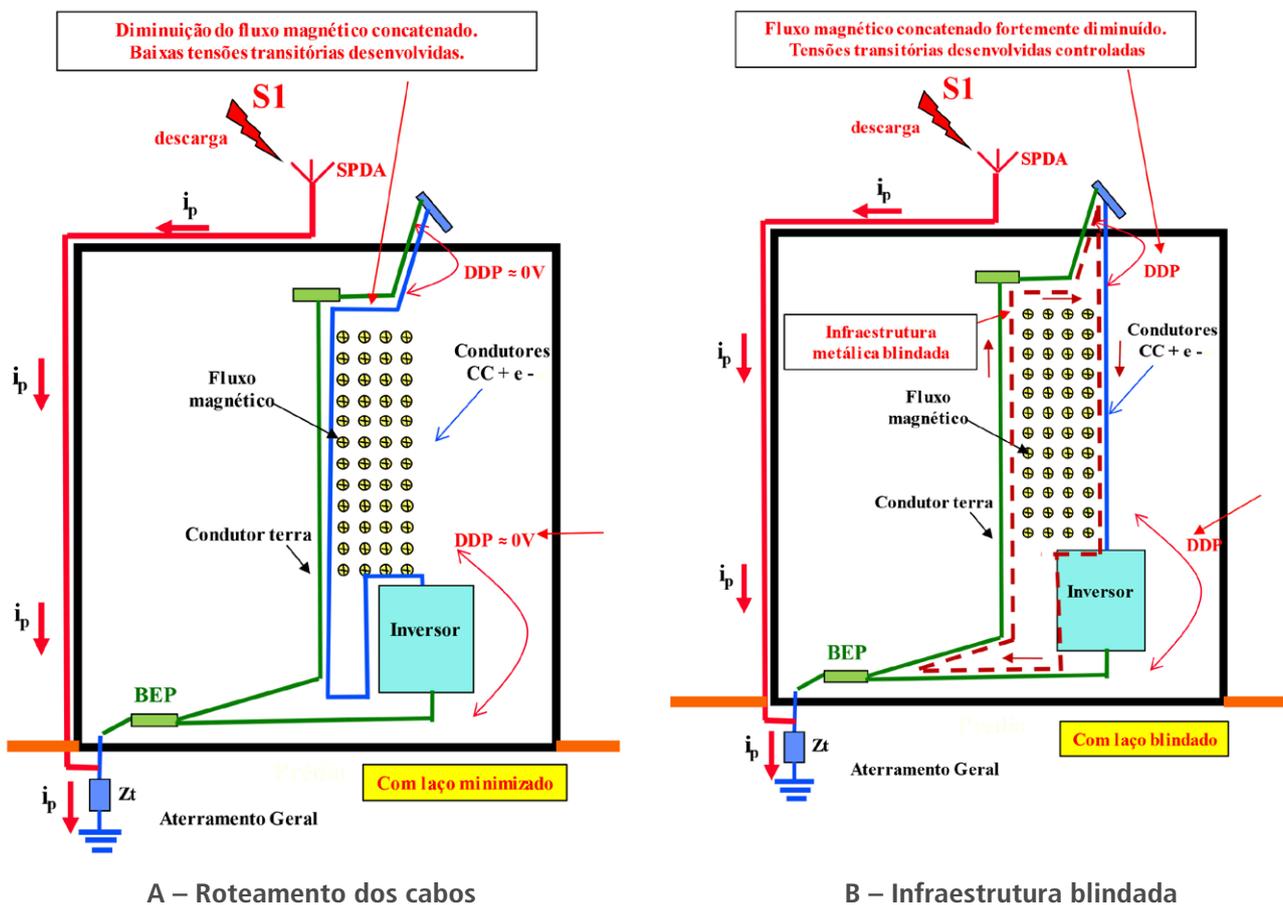


Figura 5 – Redução das tensões de surto pelo roteamento adequado dos condutores e utilizando infraestrutura blindada

O uso de infraestrutura blindada é particularmente interessante em instalações no topo de prédios com tenham muita interferência física com outras instalações.

Estas infraestruturas blindadas, podem ser desde um simples condutor isolado 1 kV seção 4 mm<sup>2</sup> instalado acompanhando rigorosamente o percurso do laço a ser blindado preso aos condutores ativos a



até um eletroduto de aço com continuidade elétrica longitudinal garantida, o que fornecerá maior fator de blindagem. Algumas opções estão apresentadas na Figura 6. Nota-se que os desempenhos e custos de cada solução são bastantes distintos, devendo o projetista adotar a solução com melhor relação custo-benefício para cada projeto.

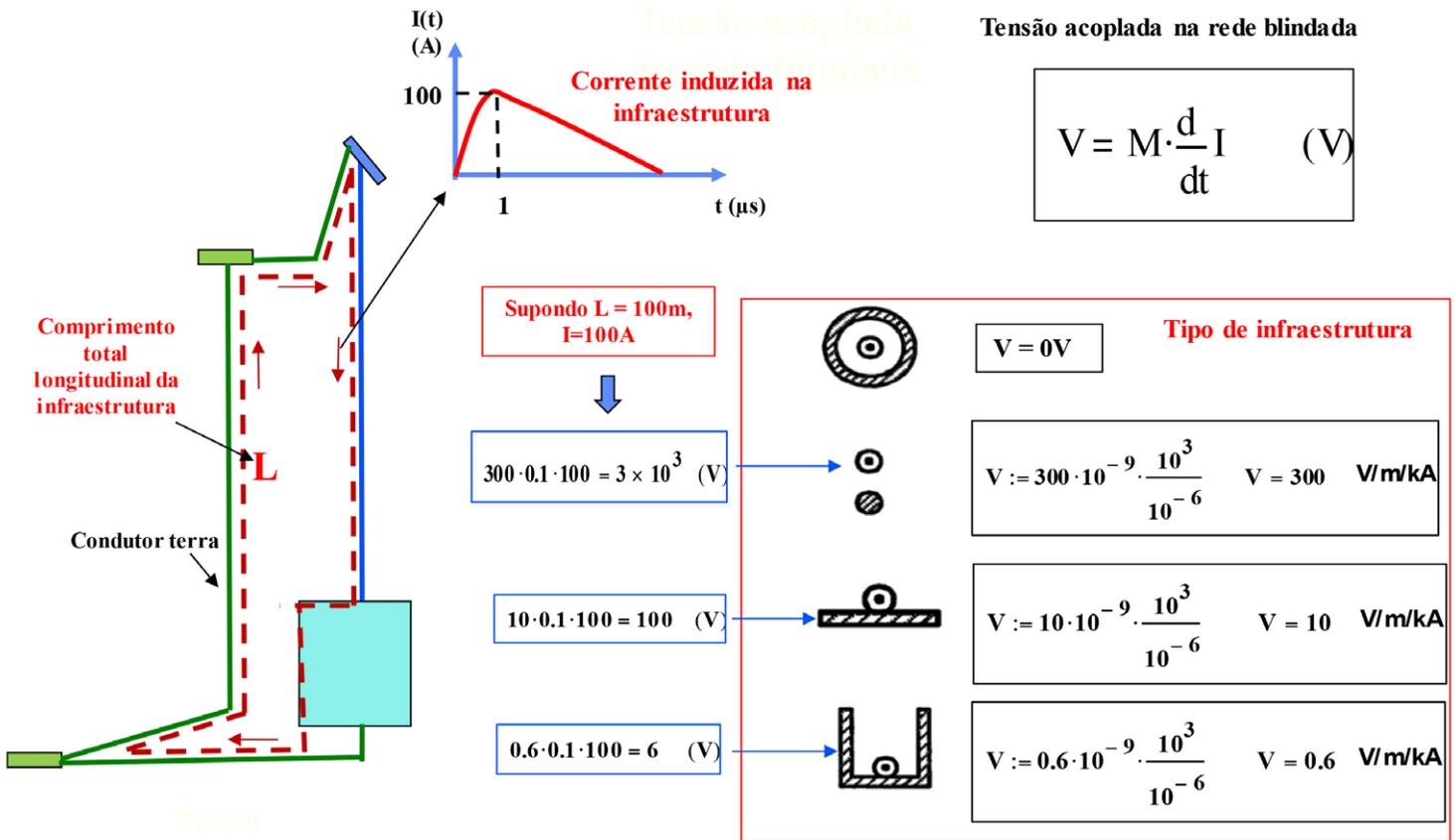


Figura 6 – Desempenho de diferentes soluções para blindagem dos cabos de SFV.

Por exemplo, supondo uma extensão de laço de 100 m e uma corrente induzida na infraestrutura de 100 A, o uso como blindagem do condutor 4 mm<sup>2</sup> acompanhando o trajeto do laço propiciaria o acoplamento de surto de 3 kV, o que é suportado pela maioria dos equipamentos de SFV (conforme Tabela 1 da IEC 61643-32, SFV com tensão em aberto de 1 kV, devem suportar até 6 kV de tensão de surto).

Estes princípios podem ser aplicados também para a proteção contra surtos induzidos por descargas atmosféricas próximas à instalação fotovoltaica (Fonte S2 – NBR 5419).

## 5. Os DPS – Dispositivos protetores de surto

As aplicações dos DPS corretos e nas posições adequadas é fundamental para se assegurar o bom desempenho dos SFV frente às descargas atmosféricas.

Observa-se que nas linhas CC é necessária aplicação de DPS especialmente projetados para esta função tendo em vista o baixo nível da corrente de curto-circuito do sistema de geração, tornado necessário o uso de tecnologia específica para a correta desconexão do DPS quando em falha. A inobservância deste preceito pode provocar incêndio na instalação.



Os transitórios induzidos ou conduzidos provocados pelas descargas têm normalmente frente de onda da ordem de  $\mu s$  e, portanto, os fenômenos de reflexão de onda e de queda de tensão de origem indutiva interferem muito nos desempenho do sistema de proteção.

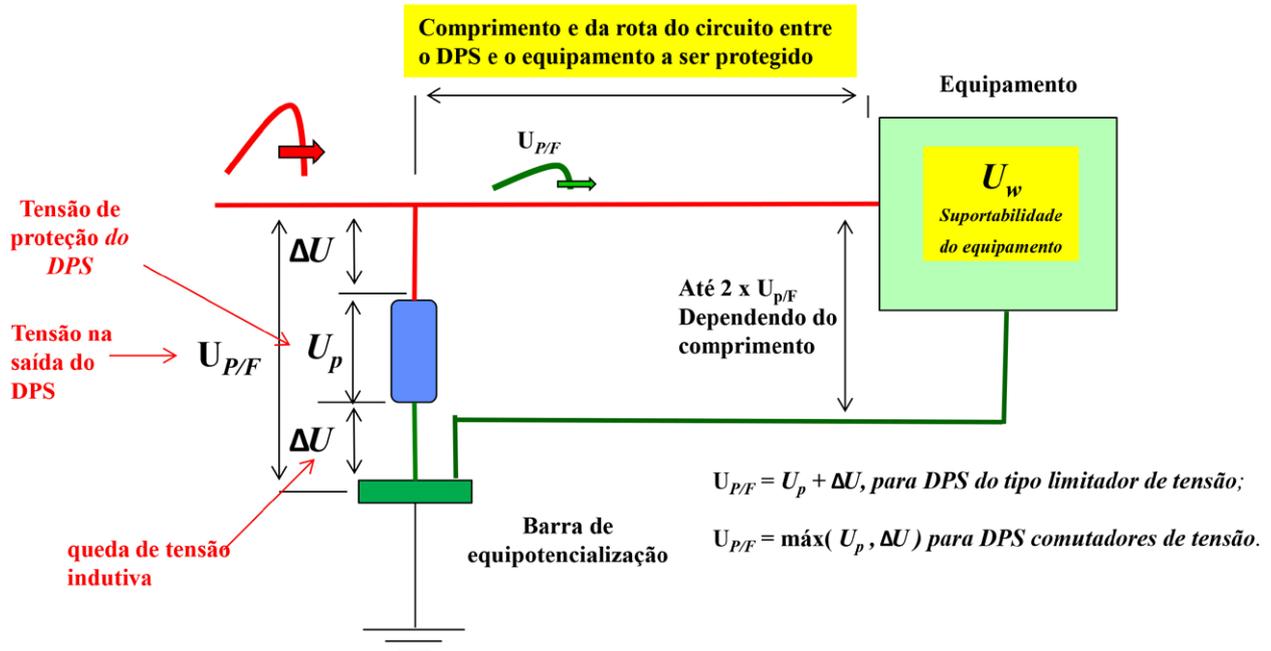


Figura 7 – Tensões de surto desenvolvidas em uma instalação com DPS.

A tensão de proteção  $U_p$  do DPS (tensão que o DPS desenvolve quando operando na corrente de surto nominal) não é necessariamente a tensão de surto que se desenvolve no equipamento a ser protegido. Observa-se que esta tensão não deve ultrapassar à tensão  $U_w$  que é a tensão máxima de surto suportável pelo equipamento a ser protegido, ou seja, pelos painéis e inversores. Conforme Figura 7 (acima) a tensão de surto que pode chegar ao equipamento protegido pode atingir até duas vezes a tensão  $U_{p/F}$  que é a soma das tensões  $U_p$  e  $\Delta U$  que é a tensão desenvolvida na indutância do condutor que liga o DPS à barra de terra do quadro onde se encontra instalado.

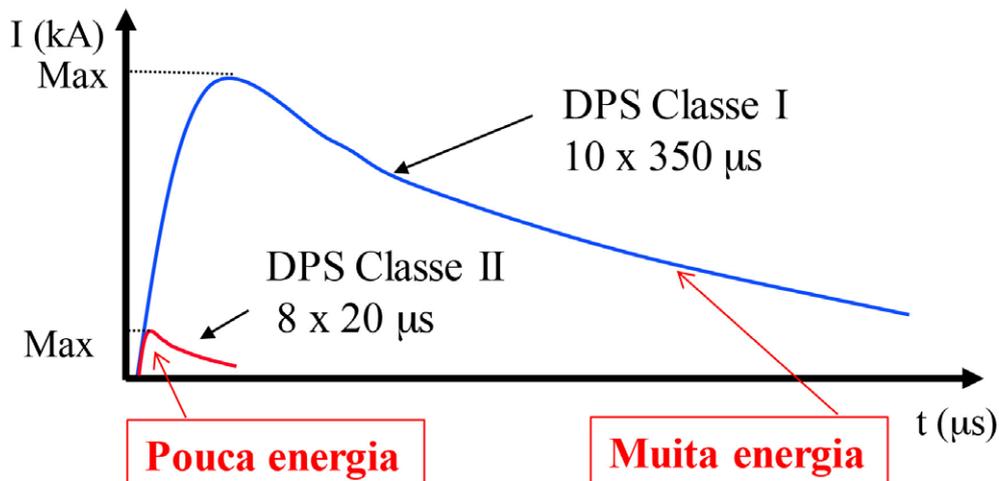
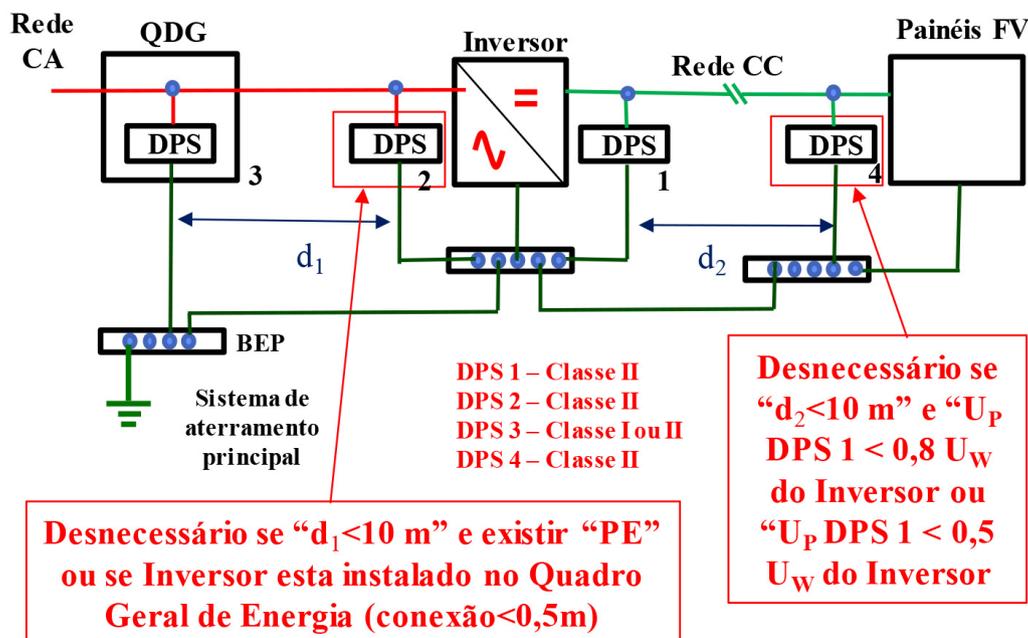


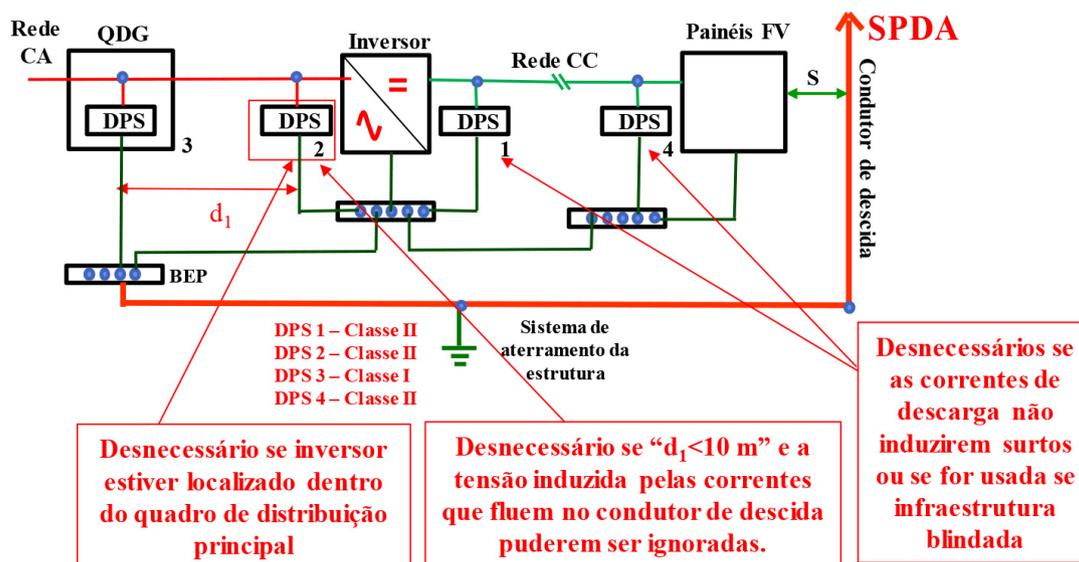
Figura 8 – Correntes de surto de ensaio de DPS Classe I e Classe II.



Quando às Classes, os DPS podem ser Classe I, Classe II ou Classe III. Particularmente em SFV são utilizados os de Classe I e de Classe II. A diferença entre estas Classes é que o DPS Classe I suporta conduzir, quando em operação, correntes parciais da descarga atmosférica, enquanto o DPS Classe II suporta apenas correntes induzidas pelas descargas. As correntes induzidas transferem menos energia que as correntes parciais de raios. Os SFV protegidos contra descargas diretas (painéis na ZPR 0B) e com distâncias de separação asseguradas, podem utilizar DPS Classe II.



A - Estrutura sem SPDA



B – Estrutura com SPDA. Distâncias de separação estabelecidas

Figura 9 – Posições dos DPS em instalações de SFV em estruturas sem SPDA (A) e com SPDA com distâncias de separação estabelecidas (B).



Nas instalações sem SPDA (Figura 9 A), no arranjo mais simples seriam instalados DPS Classe II apenas na entrada CC do inversor, além dos DPS do QDG da estrutura, desde que os requisitos especificados na Figura 9 A sejam atendidos. Quando a instalação tem SPDA e as distâncias de separação são asseguradas, no arranjo mais simples e atendendo aos requisitos na Figura 9 B, seriam instalados apenas DPS Classe I no QDG da instalação. Observa-se que a avaliação sobre onde colocar os DPS depende fortemente do arranjo da instalação e de suas particularidades tais como a infraestrutura utilizada para acondicionamento dos condutores.

Onde o SFV é implantado em estruturas dotadas de SPDA com distâncias de separação não atendidas, são necessárias equalizações de potencial entre os painéis e o SPDA da estrutura. Com isto os DPS passa a ser Classe I pois parte da corrente da descarga passará pelas conexões de equalização passando assim pelos DPS. O uso de infraestrutura blindada e com capacidade de condução de parcela da corrente da descarga atmosférica pode ser utilizada na rede CC podendo eliminar, dependendo da impedância de transferência da infraestrutura, os DPS da entrada CC do inversor e a saída CC dos painéis.

Os DPS para a rede CA do SFV são dimensionados com relação à corrente limp seguindo as recomendações da NBR 5419, conforme NP (Nível de Proteção) do projeto de SPDA e a quantidade de serviços metálicos que vindos da ZPR 0 adentram a ZPR 1.

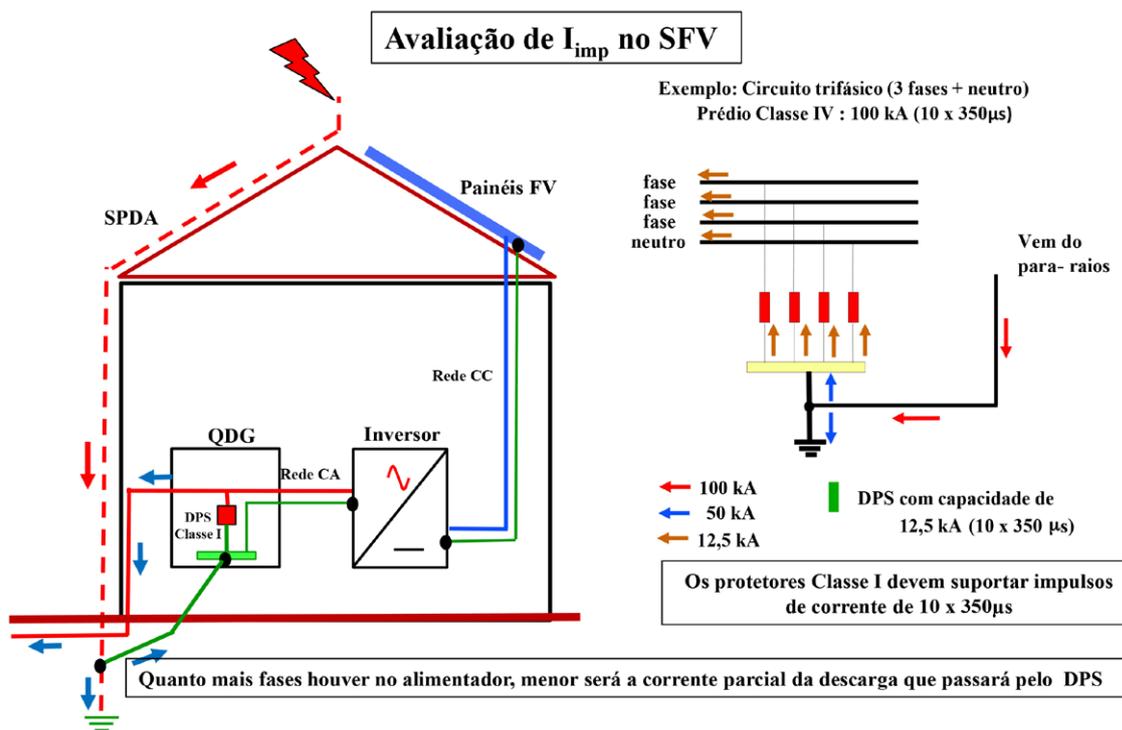


Figura 10 – Dimensionamento das correntes de impulso limp dos DPS Classe I no QDG

Os DPS Classe II do lado CC da instalação (painéis e inversores) devem suportar uma  $I_n$  de no mínimo 5 kA e os de Classe I, aplicáveis nas rede CC quando a distância de separação não for atendida, devem ter capacidade de limp conforme avaliação da distribuição das correntes conforme Anexo A da IEC 61643-32, que apresenta uma metodologia de avaliação simplificada.

Na ocorrência de uma descarga direta no SPDA a corrente parcial que flui através dos DPS depende de muitos fatores tais como: NP do projeto, quantidade de condutores de descida, resistividade do solo,



da distância entre o nível do telhado e a localização do inversor ou da barra de ligação equipotencial localizada no nível do solo além da impedância do DPS atuado.

A dependência com a quantidade de condutores de descida fica esclarecida na Figura 11, mostrando que o aumento de oportunidades para o escoamento da descarga provida pela multiplicidade de descidas diminui as solicitações de surto dos DPS pelo efeito da divisão de correntes.

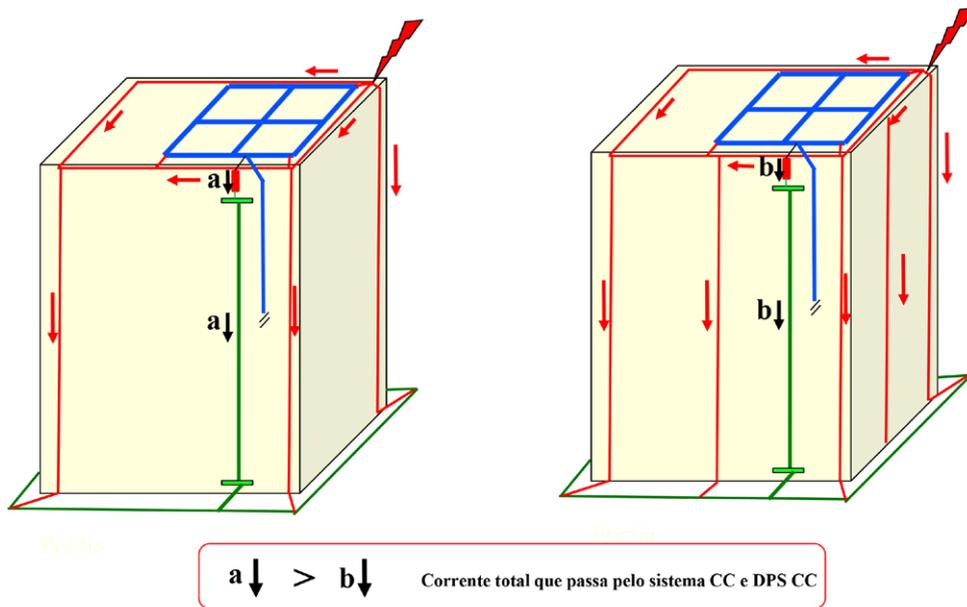


Figura 11 – Influência da quantidade de condutores de descida nas correntes conduzidas pelos DPS CC.

O ideal para a avaliação das correntes é a realização de avaliação mais apurada com utilização de software de simulação de transitórios, considerando o circuito equivalente apresentado na Figura 10. O uso do procedimento conforme Anexo A da IEC 61643-32 fornece resultado válido, mas conservador.

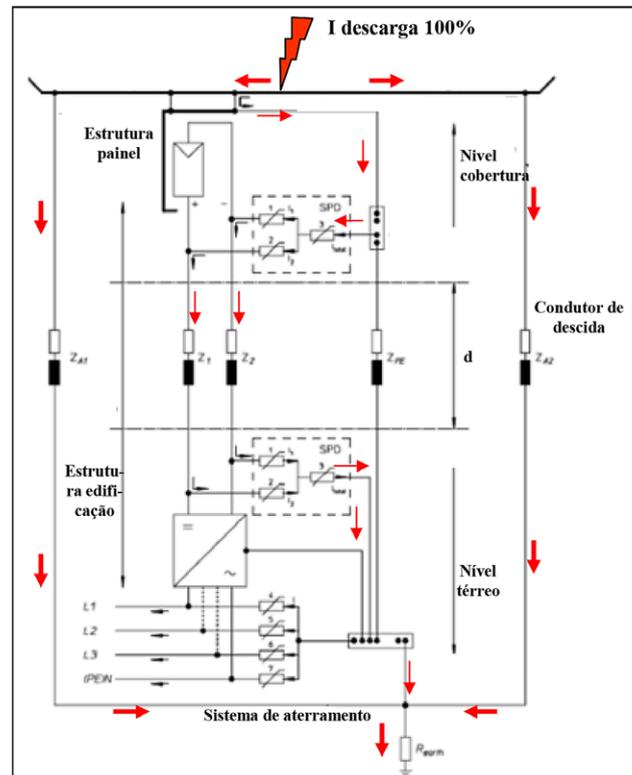


Figura12 – Diagrama equivalente para avaliação da distribuição de corrente direta de descarga atmosférica, conforme IEC 61643-32

Fonte: IEC 61643-32

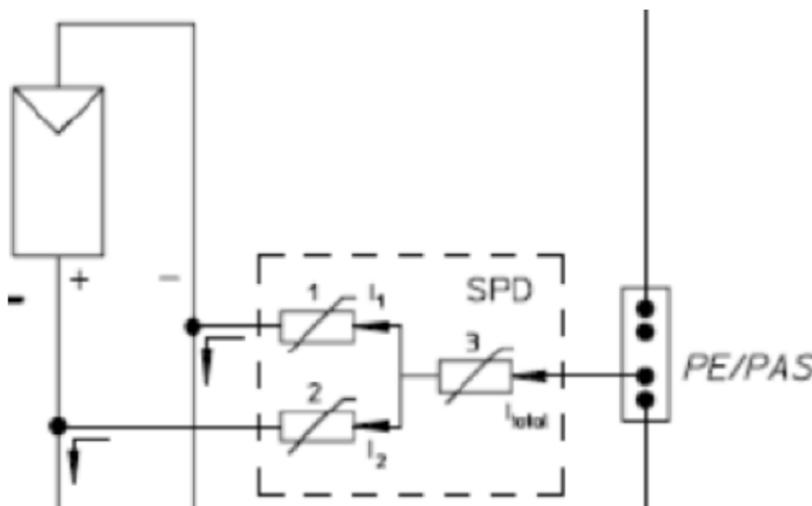


A Tabela A.1 retirada da IEC 61643-32 apresenta as capacidades de corrente  $I_n$  (8/20  $\mu$ s) e  $I_{imp}$  (10/350  $\mu$ s) para DPS CC tipo limitador de tensão (varistor) em SFV em prédio com menos de quatro e quatro ou mais condutores de descida no SPDA.

**Table A.1 – Values of  $I_{imp}$  ( $I_{10/350}$ ) and  $I_n$  ( $I_{8/20}$ ) for voltage limiting SPDs on the d.c. side of a PV installation mounted on the roof of a building with an external LPS if the separation distance is not maintained.**

LPL Maximum current corresponding to LPL (10/350)		Number of external down conductors			
		< 4		$\geq 4$	
		Test class I values for voltage limiting SPDs based on a selection of $I_{8/20}$ (8/20 $\mu$ s) and $I_{10/350}$ (10/350 $\mu$ s).			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20} / I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{Total}$ $I_{8/20} / I_{10/350}$	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20} / I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{Total}$ $I_{8/20} / I_{10/350}$
I or unknown	200 kA	17 / 10	34 / 20	10 / 5	20 / 10
II	150 kA	12,5 / 7,5	25 / 15	7,5 / 3,75	15 / 7,5
III or IV	100 kA	8,5 / 5	17 / 10	5 / 2,5	10 / 5

A-Tabela A.1



B- Arranjo dos DPS (configuração "Y")

Figura13 – Tabela A.1 da IEC 61643-32 com especificação de correntes de surto  $I_{imp}$  e  $I_n$  dos DPS utilizados nas redes CC. Fonte: IEC 61643-32

Observa-se que em estruturas com SPDA NP IV dotado de 4 ou mais condutores de descida os DPS na configuração "Y" as capacidades  $I_{imp}$  seriam 5 kA (DPS 3) e 2,5 kA (DPS 1 e 2) e  $I_n$  10 kA (DPS 3) e 5 kA (DPS 1 e 2)



## 6. As usinas fotovoltaicas no solo

As usinas fotovoltaicas no solo devem possuir um sistema de aterramento em malha com tramas da ordem de 20 m, conforme Figura 14.

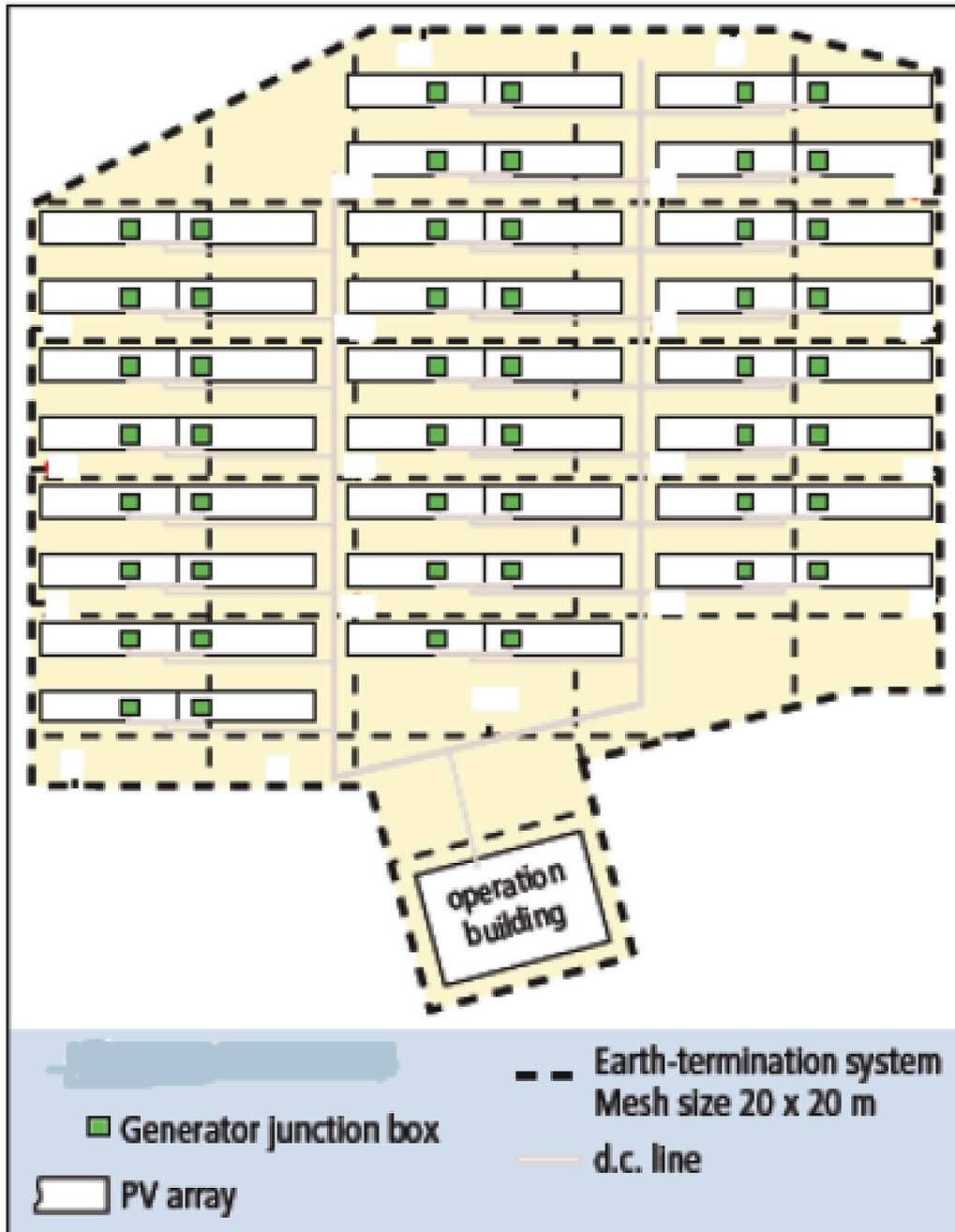


Figura 14 - Arranjo do aterramento típico e de captadores instalados na estrutura de suporte dos painéis FV . Fonte: IEC 63227 - Anexo D

Os painéis devem ser locados em ZPR 0B, onde a probabilidade de incidência de descarga atmosférica direta seja remota. Os mastros captadores podem ser instalados com apoio no solo (melhor opção sob o



ponto de vista da proteção devido à distribuição mais efetiva da corrente do raio) ou fixados na estrutura metálica dos painéis, conforme Figura 15.

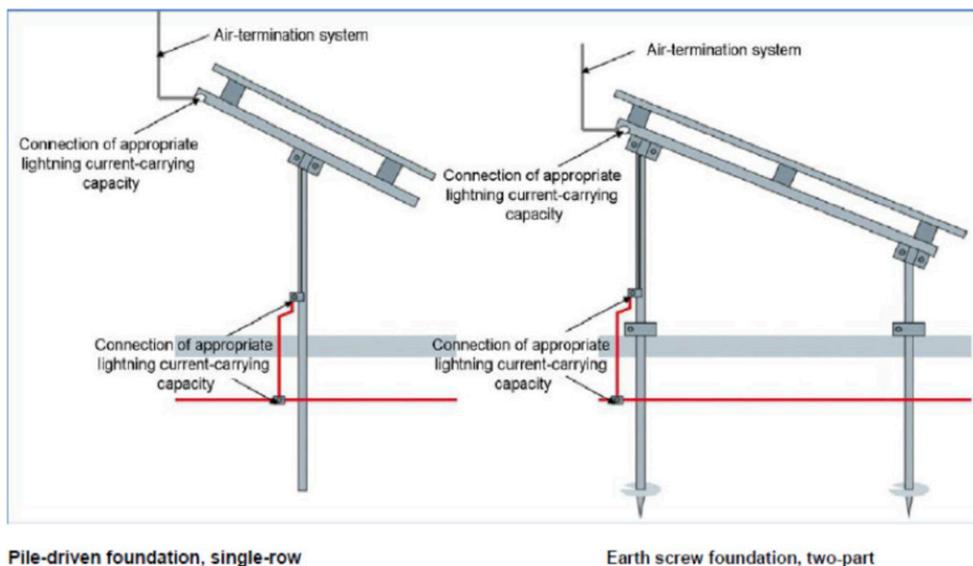


Figura 15 – Captadores de descarga fixados na estrutura dos painéis . Fonte: IEC 63227 - Anexo D

Devem ser instalados DPS Classe I na rede CC pois parcela da corrente da descarga passará por estes dispositivos quando em operação. Recomenda-se orientar o projeto de proteção conforme NP IV (SPDA Classe IV), que prevê uma corrente de pico da descarga de 100 kA (10 x 350 µs).

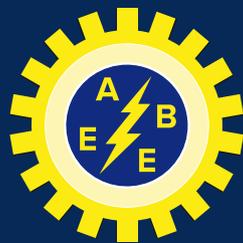
Sob o ponto de vista de proteção humana (Risco R1 – NBR 5419 Parte 2) uma descarga direta nos painéis de uma usina fotovoltaica no solo que ocupa uma grande área, apresenta uma ameaça menor se comparada com o mesmo evento em uma instalação fotovoltaica no topo de uma estrutura devido às oportunidades de equalização natural por perda de isolamento do sistema. Entretanto, a descarga direta pode ocasionar o aumento do risco de perda econômica (Risco R4 – NBR 5419) tendo em vista que este evento pode tirar totalmente a usina de operação ou, reduzir a sua capacidade de geração, acarretando ainda nos custos de manutenção e substituição de parte dos painéis.

Os procedimentos de proteção do lado CA da usina, incluindo a especificação dos DPS adequados, seguem basicamente os critérios contidos na NBR 5419 Parte 4.

Os cálculos dos riscos podem ser feitos utilizando os parâmetros da NBR 5410 Parte 2, com as devidas ponderações necessárias. ●

### **RONALDO KASCHER MOREIRA**

DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA PELA UFMG (2004); MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA PELA UFMG (1997); ENGENHEIRO ELETRÔNICO E DE TELECOMUNICAÇÃO PELA PUC MINAS (1980); DIRETOR E RESPONSÁVEL TÉCNICO DA KASCHER ENGENHARIA E COMÉRCIO LTDA (DESDE 1982); PROFESSOR DOS DEPARTAMENTOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA, ENGENHARIA ELETRÔNICA E ENGENHARIA AERONÁUTICA DA PUC MINAS DAS DISCIPLINAS "ATERRAMENTOS ELÉTRICOS", "ANTENAS", MICROONDAS, EMC APLICADA E SISTEMAS ELÉTRICOS DE AERONAVES (DESDE 1998); COORDENADOR DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IEC – PUC MINAS (DE 2008 A 2014); MEMBRO DA COMISSÃO DA ABNT CE-03:64.10 – REVISÃO DA NBR 5419/2015. RESPONSÁVEL TÉCNICO POR VÁRIOS PROJETOS NA ÁREA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS -SPDA, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E PROTEÇÃO CONTRA TRANSITÓRIOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE TELECOMUNICAÇÃO E ELETRÔNICAS.



**ABEE-MG**

Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas  
Departamento de Minas Gerais

Av. Álvares Cabral, 1.600 - 2º Andar - CEP 30170-001 | Belo Horizonte-MG | Tel: (31) 3299 8718  
<https://abee-mg.com.br/>