

AS NORMAS TÉCNICAS NA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sergio Roberto Santos¹, Cleiton Busse², Felipe Viotto²

¹*Embrastec Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda., sergio@lambdaconsultoria.com.br*

²*Embrastec Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda.*

RESUMO

As normas técnicas fornecem requisitos mínimos de desempenho e segurança para bens e serviços, protegendo aqueles que irão consumi-los. Devido à constante evolução tecnológica dos Sistemas Fotovoltaicos (SFV) e à inerência das suas complexidades, diversas normas técnicas tratam da sua eficiência e da proteção de seus usuários. Este artigo apresenta uma análise das normas técnicas relacionadas à Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA) de SFV e quais são as suas consequências na viabilidade econômica destes sistemas. O objetivo deste artigo é possibilitar aos agentes do setor fotovoltaico brasileiro uma adequada compreensão da importância da PDA para os SFV e porque ela deve ser implementada através das normas técnicas brasileiras, ou estrangeiras admissíveis no país. Através destas normas é possível garantir padrões mínimos de qualidade aos SFV, possibilitando que eles tenham segurança, eficiência e confiabilidade.

Proteção contra Descargas Atmosféricas, Sistemas Fotovoltaicos, Normas Técnicas.

1. INTRODUÇÃO

A PDA é normatizada no Brasil pelas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ABNT NBR 5419:2015 (ABNT, 2015) e ABNT NBR 16785:2019 (ABNT, 2019b). Enquanto a primeira trata da proteção de estruturas e edificações, incluindo o que elas contenham, pessoas e instalações, a segunda aborda os sistemas de alerta de tempestades, destinados a alertar as pessoas sobre a iminência de uma descarga atmosférica no local onde se encontrem, para que seja possível elas se abrigarem em tempo hábil.

Como a maioria das normas técnicas da ABNT na área elétrica, estas duas normas são baseadas respectivamente nas normas da International Electrotechnical Commission, organização da qual o Brasil faz parte, IEC 62305 (IEC, 2020) e IEC 62793 (IEC, 2020b). A sintonia entre as normas ABNT e IEC garante uma maior harmonia entre as práticas de PDA no Brasil e aquelas utilizadas em outros países do mundo.

Além dos aspectos normativos em si, o estudo das normas técnicas permite acompanhar a evolução tecnológica de um setor, já que as normas técnicas são documentos datados, revisados periodicamente, acompanhando as alterações institucionais, econômicas e

tecnológicas das sociedades aos quais elas se inserem. Tal fato pode ser observado através da norma ABNT NBR 5419, que evolui de um documento único de 42 páginas na sua edição anterior, de 2005, para uma norma dividida em 4 partes, com 309 páginas no total, na sua edição atual, de 2015, aprofundando temas como o Gerenciamento de Risco (GR) e a proteção contra surtos das instalações elétricas de energia e sinal.

Em relação à PDA para SFV, tema relativamente novo, inicialmente os profissionais da área adotaram as prescrições das normas de abrangência ampla, já existentes, ABNT NBR 5419, ABNT NBR 5410 (ABNT, 2008) e ABNT NBR IEC 61643-11 (ABNT, 2022), partindo-se a seguir para a elaboração de normas para SFV de caráter geral, ABNT NBR 161690:2019 (ABNT, 2019), até a produção de normas específicas para a PDA de SFV, como as normas IEC TR 63227:2020 (IEC, 2020b), ABNT NBR 61643-31:2022 (ABNT, 2022b) e ABNT NBR IEC 61643-32:2022 (ABNT, 2022c).

2. AS NORMAS TÉCNICAS SOBRE A PDA EM SFV

Existem várias normas técnicas no Brasil aplicáveis à PDA de SFV. Como em qualquer serviço de engenharia ou produto, as normas técnicas se interrelacionam, sendo necessário conhecer, mesmo que não profundamente, aquelas que são relativas à determinado tema. Especificamente, para a PDA de SFV as normas relacionadas a seguir devem ser aplicadas para reduzir a sua vulnerabilidade às descargas atmosféricas.

2.1 Norma técnica ABNT NBR 5419:2015

A norma ABNT NBR 5419 é a principal norma sobre a PDA no Brasil. Por ser uma norma de instalação, atualmente ela é uma adaptação à realidade nacional da norma IEC 62305, tendo ambas a mesma estrutura. Segundo sua versão atual, publicada em 2015 e corrigida em 2018, a PDA é composta pelo Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas e pelas Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), ambos detalhados a seguir.

SPDA:

- 1) Subsistema de captação. Destinado a interceptar uma descarga atmosférica.
- 2) Subsistema de descida. Para conduzir a corrente da descarga atmosférica para o solo.

- 3) Subsistema de aterramento. Objetivando dissipar as correntes da descarga atmosférica no solo, sem causar tensões de passo ou toque com valores elevados.
- 4) Distância de segurança. Para evitar centelhamentos perigosos.
- 5) Equipotencialização. Para limitar a tensão entre dois pontos, fornecendo um caminho seguro para que a corrente seja conduzida entre eles.

MPS:

- 1) Aterramento e equipotencialização. Para criar uma referência de potencial única para a instalação, limitando os valores das sobretensões na estrutura protegida.
- 2) Roteamento de cabos e blindagens. Para evitar tensões e correntes induzidas nos condutores da estrutura.
- 3) Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS). Para limitar as sobretensões transitórias em valores suportáveis pela instalação, e desviar as correntes de surto.
- 4) Interfaces isolantes. Para impedir a circulação de correntes de surto através dos condutores da estrutura.

Embora todos estes itens se apliquem aos SFV, a norma ABNT NBR 5419:2015 é necessária mas insuficiente para evitar falhas em SFV devido às descargas atmosféricas, porque aspectos importantes para este objetivo não constam desta norma, como por exemplo a relação entre o impacto direto das descargas atmosféricas nos painéis e as correntes impulsivas conduzidas pela instalação, além do sombreamento dos módulos fotovoltaicos provocado pelo posicionamento dos captadores.

Dois pontos importantes, que demonstram a especificidade da PDA para SFV são : Apesar da existência de painéis fotovoltaicos não aumentar a incidência de descargas atmosféricas diretas em uma edificação, eles devem ser considerados no projeto do subsistema de captação da edificação onde o SFV será instalado, para que eles também fiquem dentro do volume de proteção do SPDA, no ambiente conhecido como Zona de Proteção contra Raios (ZPR) 0_B. Já em relação às Usinas Fotovoltaicas (UFV), o primeiro aspecto a observar é o baixo risco de perdas de vidas humanas por um incêndio provocado por uma descarga atmosférica na área dos painéis, já que inexistem barreiras, portas e

paredes, impedindo que as pessoas abandonem estes locais e se abriguem. Neste caso, a perda de valor econômico, conhecido como risco 4 (R4) e não a perda de vida humana, risco 1 (R1), é o critério mais relevante para orientar o projeto da PDA.

2.2 Norma técnica ABNT NBR 16785:2019

O objetivo da norma técnica ABNT NBR 16785 é estabelecer critérios mínimos para sistemas de alertas de tempestades, destinados a sinalizar, antecipadamente, a ocorrência de descargas atmosféricas em determinado local. Como os SPDA não protegem pessoas em áreas abertas, onde estão os painéis fotovoltaicos, esta norma permite aos trabalhadores nas UFV se abrigarem em locais pré-determinados, avaliados como seguros. Por isso, a proteção das vidas humanas nas UFV, ao contrário de edificações, principalmente contra as tensões de passo e toque, depende mais da aplicação desta norma do que da norma ABNT NBR 5419. Devido às suas características, a norma ABNT NBR 16785 deve ser aplicada inclusive durante toda a fase de construção de uma UFV.

2.3 Norma técnica ABNT NBR 16690:2019

A norma técnica ABNT NBR 16690 apresenta os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo os relacionados à proteção contra descargas atmosféricas e surtos de tensão. Essencialmente esta norma remete a PDA de SFV à norma ABNT NBR 5419 e em alguns aspectos da proteção contra sobretensões transitórias à norma ABNT NBR 5410, apresentando aspectos adicionais que devem ser observados. Através desta norma se estabelece a relação entre as normas temáticas de caráter geral, ABNT 5419 e ABNT 5410, e o projeto específico de um SFV.

2.4 Norma técnica IEC TR 63227:2020

Esta norma trata especificamente da PDA de SFV, descrevendo os requisitos e medidas necessárias para a segurança, funcionalidade e disponibilidade desses sistemas. Ela é fundamental para a PDA de SFV porque trata da relação entre o posicionamento dos captadores e as características dos DPS que devem ser instalados para a proteção contra surtos de tensão e corrente nas instalações elétricas do sistema, orientando sobre o seu tipo, ou classe, tanto para as linhas de corrente contínua quanto para as de corrente alternada. Como ainda não foi publicada uma norma nacional equivalente a esta norma IEC, ela deve ser utilizada nos projetos de SFV no Brasil.

2.5 Normas técnicas ABNT IEC 61643-31 e ABNT IEC 61643-32

As normas da série 61643 são normas de produto, definindo características construtivas e ensaios nos DPS. As suas partes 31 e 32 tratam dos DPS instalados no lado de corrente contínua das instalações fotovoltaicas, sendo a parte 31 destinada aos seus requisitos e métodos de ensaio e a parte 32 aos princípios de seleção e aplicação. Devido às solicitações específicas que estes dispositivos enfrentam em relação à interrupção da corrente contínua em regime permanente gerada por uma SFV, não é admissível instalar DPS que não atendam aos requisitos destas normas.

3. Aplicação das normas técnicas aos SFV

3.1. Estudos iniciais

Os primeiros estudos sobre os efeitos das descargas atmosféricas em UFV foram realizados por Martzloff (1989) que visitou dois SFV atingidos por descargas atmosféricas, um na ilha de Vulcano no norte da Sicília, outro na ilha de Cítnos no mar Egeu. Nestes estudos foram analisados os danos ocorridos, mas as informações coletadas não permitiram concluir que todas as falhas se deveram às descargas atmosféricas. Através do relacionamento e análise de todos estes danos foram sugeridos procedimentos para futuras averiguações, tornando este estudo referência para investigações posteriores, que formaram a base para as normas de PDA para SFV.

Posteriormente, Kokkinos, Christofides e Charalambous (2012) estudaram a PDA de uma UFV localizada na Grécia, com 180 inversores solares de 11 kW, 800Vcc e 7300 painéis solares de 270Wp, ocupando uma área de 115000m². Este trabalho realizou ensaios em laboratório para estabelecer os requisitos básicos para a PDA desta usina, estabelecendo parâmetros para projetos de PDA de UFV. Com base neste estudo, em 2014 estes autores apresentaram uma metodologia para o projeto do SPDA externo, incluindo o sistema de aterramento, para UFV de grandes dimensões, relacionando o desempenho de SPDA isolados e não isolados, além de contribuir para a especificação dos DPS (CHARALAMBOUS; KOKKINOS; CHRISTOFIDES, 2014).

Na construção de normas técnicas para a PDA de SFV, Fallah et al. (2013) apresentaram os principais critérios para a PDA de edificações que possuíssem SFV em seus tetos, analisando vários projetos já realizados na Malásia. Entre os critérios apresentados estavam o posicionamento dos captadores para a proteção dos painéis contra o impacto direto

das descargas atmosféricas e a especificação de medidas para reduzir o campo magnético e as correntes de surto. Segundo este artigo, em edificações com SFV em seus telhados não seria suficiente apenas a colocação de captadores, sendo também necessário proteger a instalação contra as correntes de surto, posicionando adequadamente os componentes do SFV e blindando os seus condutores. O artigo também relaciona à vulnerabilidade dos SFV às descargas atmosféricas em função do nível isoceráunico local e à altura da edificação onde eles se encontram.

No estudo da PDA de SFV e a sua sistematização através de normas técnicas, Christodoulo et al. (2015) estudaram o projeto da PDA para SFV, enfatizando as principais medidas de proteção contra os impactos diretos das descargas atmosféricas e os efeitos dos surtos de tensão e corrente, incluindo o GR, as ZPR, os SPDA externo e interno, o posicionamento dos DPS e o sistema de aterramento. Este estudo levou em consideração as normas técnicas existentes, trabalhos acadêmicos e práticas conhecidas de PDA.

Uma visão geral sobre a PDA de SFV foi apresentada por Ahmad et al. (2018), que descreveram os princípios básicos da geração fotovoltaica e a física das descargas atmosférica, incluindo a PDA para os SFV. O artigo apresentou os principais componentes dos SFV, conhecimentos básicos sobre as descargas atmosféricas e indicações para leitura. Através de uma abordagem vertical, o trabalho qualifica tecnicamente o leitor, fornecendo os conhecimentos necessários para que ele se aprofunde neste tema.

Através destes estudos é possível perceber o processo de aquisição de conhecimento que será a base para as normas sobre a PDA de SFV, que são baseadas em estudos preliminares, seguidos da publicação de guias e instruções, chegando até as normas técnicas, em um processo que se realimenta, acompanhando a evolução tecnologia da geração fotovoltaica e da proteção contra descargas atmosféricas.

3.2. A utilização de normas técnicas no Brasil

No Brasil as normas técnicas publicadas pela ABNT devem ser utilizadas no fornecimento de todos os produtos e serviços, segundo o código de defesa do consumidor e as normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego, conhecidas como NR (KONESCKI; ALVES; SANTOS, 2018). Caso não existam normas técnicas da ABNT sobre determinado tema, será admissível a utilização de normas técnicas internacionais, na área elétrica preferencialmente as publicadas pela IEC ou na ausência destas normas do Mercosul. Neste aspecto é importante informar que normas técnicas de um determinado país não são

normas técnicas internacionais, mas sim estrangeiras, devendo ser a sua utilização evitada ao máximo.

3.3. A aplicação das normas técnicas sobre a PDA

A vulnerabilidade das UFV às descargas atmosféricas se deve a diferentes fatores, que em conjunto justificam estatísticas indicando que aproximadamente entre 10% e 42% de todos os danos sofridos por SFV são causados por descargas atmosféricas, sendo este número de 26% na Alemanha, por exemplo (KOEHLBERG, 2013). Mas como a ausência da PDA não impede o funcionamento de um SFV, o seu projeto não se torna uma prioridade para os responsáveis pela sua instalação, o que pode impedir uma proteção eficiente, pois será impossível aproveitar aspectos da infraestrutura como elementos da PDA (SANTOS, 2022b).

O projeto da PDA de um SFV, seja ele no topo de uma edificação ou em uma UFV, deve se iniciar através do gerenciamento de risco (ABNT, 2018), que avaliará quais os riscos existentes e a respectivas medidas para que eles sejam limitados a valores toleráveis, seguindo critérios quantitativos, pré-definidos na norma. Seja a perda de vida humana, a interrupção do fornecimento de energia ou perdas econômicas, a necessidade, ou não, da PDA e a sua complexidade, Nível de Proteção (Np) caso ela seja necessária, devem preceder e elaboração do projeto propriamente dito.

Por serem instalados em locais abertos e pela área ocupada, é necessário proteger os módulos fotovoltaicos contra o impacto direto das descargas atmosféricas, utilizando captosres para colocá-los dentro da ZPR 0_B (HETITA et al., 2022). A especificação destes captosres deve considerar simultaneamente o sombreamento que eles provocam nos módulos e o efeito da condução das correntes impulsivas através das suas molduras metálicas. Enquanto o sombreamento pode ser evitado pelo posicionamento dos captosres, o segundo problema não existirá quando o SPDA estiver isolado e afastado ao menos 0,5 metros da estrutura metálica do SFV (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION, 2020).

Enquanto normalmente se protegem os módulos dos SFV no alto de edificações com captosres, em UFV muitas vezes tal prática não é utilizada, devido à quantidade de captosres necessários e aos problemas de sombreamento já mencionados. Embora na maioria dos UFV o valor de R1 seja tolerável sem a utilização de captosres, o impacto direto de uma descarga atmosférica em um módulo fotovoltaico pode danificá-lo de forma imediata e permanentemente, ou causar danos estruturais, como trincas e delaminações, que

potencializem outras formas de degradação, evoluindo para a sua destruição (JIANG, 2014; SANTOS; PIANTINI; SHIGIHARA, 2023).

O aterramento e a equipotencialização de SFV como parte da PDA deve levar em consideração o comportamento das correntes impulsivas, o que torna a impedância do eletrodo de aterramento, dos condutores de aterramento e dos condutores de equipotencialização o parâmetro a ser considerado (ABNT, 2015). O sistema de aterramento deverá ser projetado para atender às necessidades de dissipação no solo tanto das correntes de curto-circuito quanto das correntes impulsivas. Como uma UFV deve ter um sistema de aterramento unificado, será necessário que o seu projeto atenda simultaneamente diferentes normas técnicas. Para a PDA de uma UFV o aterramento será responsável pela limitação das tensões de passo e toque, além de evitar centelhamentos perigosos. Segundo todas as normas técnicas sobre a PDA, o valor da resistência de aterramento tem pouquíssima influência na proteção das instalações eletroeletrônicas contra surtos de tensão, sendo a utilização de outras MPS mais eficaz para esse objetivo. Neste ponto vale exemplificar uma interpretação equivocada da normas técnicas, com a suposta recomendação de que o valor da resistência de aterramento de uma instalação deva ser menor do que 10Ω , sendo melhor o aterramento quanto menor for este valor. Embora o valor de 10Ω constasse na edição de 2005 da norma ABNT NBR 5419 apenas como uma referência, nunca como uma recomendação, este valor foi retirado da edição de 2015 da mesma norma, porque na prática ele acabou sendo utilizado indiscriminadamente.

Devido a sua vulnerabilidade às descargas atmosféricas, é fundamental que a infraestrutura dos SFV seja utilizada como MPS, minimizando os acoplamentos magnéticos através do trajeto e posicionamento dos condutores de energia e sinal, utilizando blindagens e reduzindo a área dos laços condutores. O aproveitamento da infraestrutura como MPS só será possível caso as normas técnicas de PDA para SFV sejam utilizadas na fase de projeto, já que mudanças de layout após o comissionamento dos SFV são de difícil execução.

As MPS limitam os valores das sobretensões induzidas em SFV, desviando as correntes de surto de determinados componentes da instalação, especialmente aqueles com menor suportabilidade. Como SFV operam com correntes contínuas e alternadas, devem ser utilizados DPS com características específicas para cada tipo de corrente, principalmente em relação à desconexão desses dispositivos ao final da sua vida útil, como está escrito na nota 2 da seção 5.4.2 da norma técnica ABNT NBR 16690:2019 (ABNT, 2019).

Especificamente em relação à proteção dos inversores solares contra sobretensões transitórias ou correntes de surto, cabe ao projetista da PDA do SFV indicar a classe e posicionamento do DPS, porque neste caso ele deve ser especificado pelos critérios do projetista, seguindo as normas técnicas, e não pelos do fabricante do inversor.

Como as normas técnicas acompanham a evolução da tecnologia, cabe ao projetista da PDA de SFV estar atualizado tecnicamente, para empregar medidas que ainda não normatizadas, mas reconhecidamente eficazes como, por exemplo, não permitir a utilização de módulos sem moldura, porque eles não blindam os circuitos internos dos módulos fotovoltaicos (COETZER; WIID; RIX, 2019).

4. CONCLUSÕES

A PDA é fundamental para o desempenho e segurança dos SFV, e por isso ela é normatizada através de um conjunto de normas técnicas, cada qual específica sobre um aspecto deste tema, mas interrelacionadas e harmoniosas entre si, que devem ser seguidas na sua integralidade. Apesar da aplicação destas normas resultar muitas vezes no aumento dos custos de capital e em dificuldades técnicas, aplicá-las é a melhor forma de reduzir custos operacionais, com manutenções, interrupções intempestivas e acidentes com pessoas. Cabe aos projetistas do SFV assegurar que seu projeto se baseie nas normas técnicas, para que ele tenha não só a qualidade esperada, mas também a segurança jurídica, necessária à qualquer prestação de serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, N. I. et al. **Lightning protection on photovoltaic systems: A review on current and recommended practices**. Renewable and Sustainable Energy Reviews v. 82, p. 1. P. 1611–1619, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR 5410 Versão Corrigida:2008. Instalações elétricas de baixa tensão**. 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR 5419:2015. Proteção contra Descargas Atmosféricas**. 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR 5419-2:2015 Versão Corrigida 2018. Proteção contra Descargas Atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco**. 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR 16690:2019. Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projetos.** 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR 16785:2019. Proteção contra Descargas Atmosféricas – Sistemas de alerta de tempestades elétricas.** 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR IEC 61643-11:2021 Versão Corrigida: 2022. Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 11: Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 11: Dispositivos de proteção contra surtos conectados aos sistemas de baixa tensão - Requisitos e métodos de ensaio.** 2022.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR IEC 61643-31:2022. Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 31: DPS para utilização específica em corrente contínua — Requisitos e métodos de ensaio para os dispositivos de proteção contra surtos para instalações fotovoltaicas.** 2022.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR IEC 61643-32:2022. Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 32: DPS conectado no lado corrente contínua das instalações fotovoltaicas - Princípios de seleção e aplicação.** 2022.

CHARALAMBOS, C. A.; KOKKINOS, N. D.; CHRISTOFIDES, N. **External Lightning Protection and Grounding in Large-Scale Photovoltaic Applications.** IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. Volume 65. N. 2, 2014.

CHRISTODOULO, C.A. et al. **Lightning protection of PV systems.** Energy Systems. 2015.

International Electrotechnical Commission. **IEC 62305:2020. Protection Against lightning – All Parts.** 2020.

COETZER K. M.; WIID P. G.; RIX A. J. **Investigating lightning induced currents in photovoltaic modules.** International symposium on electromagnetic compatibility. Proceedings. Barcelona. 2019

International Electrotechnical Commission. **IEC TR 63227:2020. Lightning and surge voltage protection for photovoltaic (PV) power supply systems.** 2020.

FALLAH, N. et al. **Lightning Protection Techniques for Roof-Top PV Systems.** 2013 IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO 2013), Langkawi, Malásia, Junho de 2013.

International Electrotechnical Commission. **IEC 62793:2020. Thunderstorm warning systems – Protection against lightning.** 2020.

JIANG, T. **Electrical properties degradation of photovoltaic modules.** Department of electrical and computer engineering, Mississippi State University. May 2014.

KOHLBERG, R. **Entwicklung bei schadensfällen aus sicht der versicherung**. Manheimer Versicherung AG. Freiburg. January 2013.

KOKKINOS, N.; CHRISTOFIDES, N.; CHARALAMBOUS, C. **Lightning Protection Practice for Large-Extended Photovoltaic Installations**. International Conference on Lightning Protection, 2012. Proceedings. 31th . ICLP. Viena. 2012.

KONESCKI, A. F.; ALVES, N. V. B.; SANTOS, S.R. **Os perigos causados pela utilização de sistemas não convencionais de proteção contra descargas atmosféricas**. 2018. Disponível em: < <https://tel.com.br/ese/>>. Acesso em 8 de outubro de 2023.

MARTZLOFF, F. D. **Lightning and Surge Protection of Photovoltaic Installations**. National Institute of Standards. U.S Department of Commerce. Junho de 1989. Disponível em: < <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir89-4113.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

SANTOS, S. R. **A proteção contra descargas atmosféricas de usinas fotovoltaicas**. Revista Fotovolt Ano 8, nº50, agosto de 2022. P42-49. 2022.

SANTOS, S. R. **O efeito das descargas atmosféricas indiretas em módulos fotovoltaicos**. II Seminário Interdisciplinar de Energia. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. Novembro de 2022.

SANTO, S.R.; PIANTINI, A.; SHIGIHARA, M. **An Investigation into the Effects of Lightning-induced Transients on the Degradation of PV Modules Performance**. International Colloquium on Lightning and Power Systems International Symposium on Lightning Protection, CIGRE ICLPS-SIPDA. Proceedings. Suzhou 2023.