REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

APLICAÇÃO DE DPS E SPDA EM ÁREAS RURAIS: ANÁLISE TÉCNICA E NORMATIVA DA PROTEÇÃO CONTRA SURTOS E DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

APPLICATION OF SURGE PROTECTIVE DEVICES AND LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS IN RURAL AREAS: TECHNICAL AND REGULATORY ANALYSIS OF SURGE AND LIGHTNING PROTECTION

Engenharias • 20/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794951884

Bruna Silva Alcântara[1]

Aurea Messias de Jesus[2]

Daniela Freitas Borges[3]

Agaone Donizete Silva[4]

Emerson Carlos Guimarães[5]

Olavo Antônio de Oliveira Reis[6]

Alan Kardec Candido dos Reis[7]

RESUMO

O uso crescente de bombas, ordenhadeiras, refrigeração, automação e geração fotovoltaica nas propriedades rurais reforça a necessidade de proteção coordenada contra surtos e descargas atmosféricas. Este estudo analisou a aplicação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) em três propriedades da zona rural de Ituiutaba/MG, identificadas como A, B e C. Trata-se de pesquisa aplicada, qualitativa, com delineamento de estudo de casos múltiplos, baseada em observação técnica não invasiva, checklist padronizado, documentos disponíveis e fotografias autorizadas. Nas três unidades foram identificados entrada de energia aérea, alimentadores extensos e DPS nos quadros principais, mas não nos quadros secundários examinados. Não foi identificado SPDA externo dedicado, embora sua necessidade dependa de análise de risco. Em A e B, os indicadores de estado dos DPS não registraram condição normal; em B, um quadro secundário apresentou condições físicas que justificam avaliação prioritária, e houve relato de falhas recorrentes em equipamentos após tempestades, sem comprovação de nexo causal. As Propriedades A e C possuíam sistemas fotovoltaicos cuja coordenação entre os lados de corrente contínua e alternada não foi inteiramente verificável. Nenhuma propriedade disponibilizou projeto elétrico, diagrama unifilar ou registros de manutenção. Conclui-se que a presença de DPS no quadro principal não basta para afirmar a adequação de toda a instalação, e que os resultados expressam evidências observáveis, sem constituir laudo ou certificação.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas; Dispositivos de proteção contra surtos; Instalações elétricas rurais.

ABSTRACT

The growing use of pumps, milking machines, refrigeration, automation and photovoltaic generation on rural properties reinforces the need for coordinated surge and lightning protection. This study examined the application of Lightning Protection Systems (LPS) and Surge Protective Devices (SPDs) at three properties in the rural area of Ituiutaba, Minas Gerais, Brazil, designated A, B and C. It is an applied, qualitative multiple-case study based on non-invasive technical observation, a standardized checklist, available documents and authorized photographs. All three sites had overhead power supply, long feeders and SPDs in the main boards, but none were identified in the secondary boards examined. No dedicated external LPS was identified, although its necessity depends on risk assessment. At Properties A and B, the SPD status indicators did not show normal condition; at B, a secondary board showed physical conditions requiring priority assessment, and recurrent equipment failures after storms were reported without established causation. Properties A and C had photovoltaic systems whose DC/AC protection coordination could not be fully verified. None of the properties provided an electrical design, single-line diagram or maintenance records. The presence of SPDs in the main board is not sufficient to establish adequate protection of the entire installation, and the results express observable evidence only, not a technical report or certification.

Keywords: Lightning; Surge protective devices; Rural electrical installations.

1. INTRODUÇÃO

A eletrificação das atividades agropecuárias deixou de se limitar à alimentação de cargas convencionais. Em propriedades de pequeno

e médio porte, sistemas de bombeamento, ordenha, refrigeração, irrigação, acionamentos eletrônicos, inversores, controladores e soluções de monitoramento passaram a coexistir com instalações ampliadas em etapas sucessivas. A agricultura digital acrescentou sensores, redes de comunicação e dispositivos conectados, aumentando a quantidade de componentes eletrônicos sensíveis no ambiente produtivo (Prakash et al., 2023; Soussi; Zero; Sacile, 2024).

Esse cenário amplia as consequências de perturbações elétricas: surtos podem atingir inversores, controladores, fontes eletrônicas e interfaces de comunicação, com interrupção de processos produtivos. As descargas atmosféricas podem originar surtos por incidência direta, indução eletromagnética, elevação do potencial de terra e propagação em linhas de energia e de sinal (ABNT, 2026a, 2026d; Noga; Topa; Stefański, 2024). O monitoramento nacional realizado pelo INPE documenta a ocorrência do fenômeno, sem que a existência da rede de monitoramento, isoladamente, permita inferir incidência local ou magnitude de risco (INPE, 2024).

A proteção depende de medidas coordenadas, e não apenas da presença isolada de captores ou DPS. A série ABNT NBR 5419:2026 é adotada como referência técnica para os mecanismos de danos, a avaliação de riscos e a proteção estrutural e interna (ABNT, 2026a, 2026b, 2026c, 2026d), sem ser empregada para imputar, retroativamente, descumprimento normativo às instalações preexistentes. A análise também se apoia na ABNT NBR 5410, na ABNT NBR 16690 e nas normas da série ABNT NBR IEC 61643 aplicáveis aos DPS (ABNT, 2008, 2019, 2021, 2022a, 2022b). Estudos de transitórios em instalações fotovoltaicas indicam que as sobretensões dependem da geometria da instalação, dos caminhos de corrente, do aterramento, da equipotencialização e da localização

dos DPS (Hetita et al., 2022; Sun et al., 2023; Mosamane; Gomes, 2024; Kermani; Shariatinasab, 2025), mecanismos pertinentes também às propriedades rurais de baixa tensão, onde redes aéreas, galpões, estruturas metálicas, motores, automação e geração distribuída podem coexistir.

A relevância técnica do tema decorre da diferença entre instalar um DPS e articular um conjunto de medidas de proteção. A comparação de três propriedades rurais permite examinar, com critérios comuns, situações frequentemente ocultadas por uma avaliação restrita ao quadro principal: alimentadores extensos, heterogeneidade dos quadros, equipamentos afastados e lacunas de documentação. O interesse prático envolve a segurança e a continuidade da produção, pois falhas em bombas, ordenhadeiras ou refrigeração podem interromper atividades e provocar perdas econômicas. Além da proteção dos equipamentos, diferenças de potencial em estruturas metálicas, cercas, currais e pontos de contato com pessoas ou animais justificam atenção ao aterramento, à equipotencialização e às tensões de toque e de passo (ABNT, 2026c).

Foram formuladas três hipóteses. A primeira estabeleceu que as propriedades apresentariam configurações diferentes de proteção observável e lacunas associadas não só à ausência de dispositivos, mas também à articulação incompleta entre DPS, quadros, aterramento e equipotencialização. A segunda estabeleceu que as unidades com maior integração observável de dispositivos, condutores de proteção e barramentos apresentariam menor frequência de vulnerabilidades identificadas pelo checklist. A terceira estabeleceu que as propriedades com geração fotovoltaica e automação apresentariam maior número de interfaces técnicas cuja proteção exigiria comprovação adicional, especialmente entre os

circuitos de corrente contínua e alternada (Hetita et al., 2022; Mosamane; Gomes, 2024; Parhamfar; Naderi; Sadeghkhani, 2025).

A questão central da pesquisa foi: em que medida as medidas observáveis de SPDA, DPS, aterramento e equipotencialização em três propriedades rurais apresentam coerência técnica com os critérios normativos aplicáveis, considerando os limites da inspeção visual? Assim, o objetivo deste estudo é analisar a aplicação de SPDA e de DPS em três propriedades da zona rural do município de Ituiutaba/MG, examinando a adequação técnica observável e sua integração com aterramento, equipotencialização, distribuição de cargas e documentação. O propósito não é certificar as instalações ou quantificar redução de danos, mas examinar evidências acessíveis, identificar vulnerabilidades e apontar os aspectos que dependem de projeto, cálculo, inspeção especializada ou medição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E NORMATIVO

2.1. Descargas Atmosféricas, SPDA e Análise de Risco

As descargas atmosféricas envolvem transferência rápida de carga elétrica e podem afetar instalações de baixa tensão por incidência direta, surtos conduzidos, acoplamento eletromagnético e elevação do potencial de terra. A tensão induzida em um circuito depende da geometria dos condutores, da área de laço, da proximidade e da intensidade da descarga e da resposta em frequência da instalação (ABNT, 2026a, 2026d). Noga, Topa e Stefański (2024) mostraram que o campo eletromagnético associado ao evento pode induzir tensões e correntes nos circuitos internos de edificações protegidas, o que reforça a importância de observar o percurso físico dos condutores, e não apenas os componentes de proteção.

Mosamane e Gomes (2024) distinguem tensões induzidas em modo comum e em modo diferencial em sistemas fotovoltaicos, distinção que se relaciona aos modos de proteção dos DPS, por exemplo entre condutores ativos, entre fase e condutor de proteção e entre neutro e condutor de proteção, conforme o esquema elétrico adotado. O comportamento transitório também depende do caminho da corrente de descarga até o solo: a elevação do potencial de terra pode estabelecer diferenças de tensão entre estruturas, condutores de proteção e circuitos eletrônicos, e o conceito de zonas de proteção contra raios orienta a organização das interfaces e o posicionamento de medidas coordenadas de proteção (ABNT, 2026a, 2026d).

O SPDA externo inclui subsistemas de captação, descida e aterramento. Podem existir componentes naturais formados por elementos metálicos da própria edificação, desde que atendam aos requisitos de continuidade, dimensões e conexão; assim, a não visualização de captores dedicados não autoriza afirmar ausência de qualquer função de proteção (ABNT, 2026c). A escolha das medidas de proteção requer análise de risco que considere fontes de dano, tipos de perda, características da estrutura e linhas conectadas (ABNT, 2026b). Estudos sobre plantas fotovoltaicas reforçam a necessidade de projeto individualizado (Kálecz et al., 2022; Omar et al., 2024; Parhamfar; Naderi; Sadeghkhani, 2025). Como este estudo não realizou cálculo de risco, não define necessidade ou classe de SPDA para as propriedades avaliadas.

2.2. DPS: Seleção, Coordenação e Comprimento das Conexões

O DPS limita sobretensões transitórias e desvia correntes de surto por meio de componentes com características não lineares. Sua

seleção considera a tensão máxima de operação contínua (Uc), o nível de proteção de tensão (Up), a corrente nominal de descarga (In), a corrente máxima de descarga (Imax), a corrente de impulso (Iimp), quando aplicável, a compatibilidade com o esquema de aterramento, a suportabilidade dos equipamentos, a proteção de retaguarda e a localização no circuito (ABNT, 2008, 2021). Os DPS tipo 1 são ensaiados com corrente de impulso 10/350 µs, os tipo 2 com corrente de descarga 8/20 µs e os tipo 3 com onda combinada; a classe, isoladamente, não comprova adequação no ponto instalado (ABNT, 2021).

A coordenação de DPS envolve compatibilidade de energia, tensão residual e localização dos dispositivos em diferentes estágios. O comprimento dos condutores de ligação acrescenta queda de tensão indutiva à tensão aplicada ao equipamento, razão pela qual as conexões devem ser tão curtas quanto possível (ABNT, 2008). Ahmad et al. (2021) e Abda et al. (2023) mostraram, em sistemas híbridos, que a posição dos DPS e a extensão dos cabos afetam as tensões residuais, e Wadie (2023) discute a variação de desempenho conforme a posição dos dispositivos. Em circuitos extensos, a proteção instalada apenas no quadro principal não garante limite de tensão adequado junto a inversores, controladores e fontes eletrônicas, o que pode justificar DPS adicionais próximos às cargas, quando indicado por projeto (ABNT, 2026d). Indicadores visuais de estado, quando presentes, auxiliam a reconhecer condições de fim de vida do dispositivo.

2.3. Aterramento, Equipotencialização e Sistemas Fotovoltaicos

O desempenho do aterramento sob correntes impulsivas não se reduz a um único valor de resistência em baixa frequência: a

impedância impulsiva depende da geometria do sistema e das características do solo (Damianaki et al., 2021; ABNT, 2026c). A equipotencialização busca limitar diferenças perigosas de potencial entre massas, elementos metálicos e sistemas de proteção (ABNT, 2008, 2026c). No meio rural, galpões, cercas, currais, bebedouros e tubulações acessíveis a pessoas e animais tornam relevantes as tensões de toque e de passo, analisadas por Costa, Shulzhenko e Rock (2026) em sistemas agrivoltaicos com bovinos.

O sistema fotovoltaico introduz circuitos de corrente contínua, estruturas metálicas, inversores e interfaces de corrente alternada. A ABNT NBR 16690 estabelece requisitos de instalação dos arranjos, e a aplicação de DPS no lado CC é tratada pelas ABNT NBR IEC 61643-31 e 61643-32 (ABNT, 2019, 2022a, 2022b). DPS de corrente contínua não podem ser substituídos por dispositivos de corrente alternada, pois a ausência de passagem natural da corrente por zero exige soluções próprias de extinção do arco. O roteamento próximo dos condutores positivo e negativo reduz a área de laço e o acoplamento de transitórios (Formisano et al., 2021; Mosamane; Gomes, 2024).

2.4. Instalações Rurais, Inspeção e Documentação

Propriedades rurais variam quanto à extensão dos alimentadores, ao tipo de entrada, à disposição das edificações e às soluções de automação. Influências como poeira, umidade, corrosão em ambientes de ordenha e variações de temperatura afetam componentes e conexões (ABNT, 2008). Ampliações sucessivas podem reunir quadros antigos e recentes sem documentação consolidada, o que dificulta verificar os percursos do condutor de proteção (PE), as equipotencializações e a coordenação dos DPS. A ABNT NBR 5419-3 trata da inspeção do SPDA e a ABNT NBR 5410

contém exigências de verificação e manutenção das instalações de baixa tensão (ABNT, 2008, 2026c). Quanto à documentação, a NR-10 vigente no período das visitas prevê diagramas unifilares e prontuário para as empresas abrangidas, e a NR-31 disciplina a segurança no trabalho rural (Brasil, 2004, 2024); a nova redação da NR-10, com vigência a partir de junho de 2027, não foi utilizada para julgar as visitas (Brasil, 2026).

3. METODOLOGIA

A pesquisa caracterizou-se como aplicada, de abordagem qualitativa, com objetivos exploratórios e descritivos, revisão bibliográfica e documental e observação de campo. O delineamento foi de estudo de casos múltiplos, voltado à comparação contextualizada de três instalações, sem pretensão de generalização estatística (Alpi; Evans, 2019). O levantamento bibliográfico foi realizado no Google Acadêmico e na SciELO, priorizando estudos publicados entre 2021 e 2026, e as normas da ABNT e os documentos oficiais foram tratados como fontes normativas.

O estudo foi desenvolvido em três propriedades da zona rural de Ituiutaba/MG, identificadas pelos códigos A, B e C e selecionadas por conveniência, mediante autorização dos responsáveis e condições seguras de acesso. Foi realizada uma visita técnica de cinco horas em cada propriedade, em 8, 10 e 16 de setembro de 2026, respectivamente. As visitas foram observacionais e não invasivas: não houve manobras, retirada de barreiras, alteração de conexões, medições elétricas ou ensaios. A coleta reuniu roteiro de observação, checklist padronizado, ficha individual por propriedade e fotografias técnicas autorizadas. Dados de fabricante, modelo, tensão e correntes nominais foram transcritos apenas de etiquetas legíveis.

A matriz de avaliação (Quadro 1) articulou as dimensões observadas, os indicadores e as normas de referência. Cada achado foi classificado como conformidade observável (evidência que atende a requisito diretamente verificável), não conformidade aparente (incompatibilidade visível suficientemente fundamentada), vulnerabilidade técnica (condição potencialmente desfavorável que depende de análise adicional), item não verificável (falta de acesso, identificação, projeto ou instrumento) ou não aplicável. A ausência de SPDA externo dedicado não foi tratada, isoladamente, como não conformidade, e relatos de queima de equipamentos após tempestades foram registrados como informação contextual, sem atribuição causal.

Quadro 1. Matriz de avaliação técnica das três propriedades.

Dimensão	Indicadores observáveis	Base principal
Exposição e entrada de linhas	Configuração da alimentação; linhas aparentes; estruturas externas; circuitos longos e pontos de entrada	ABNT NBR 5419-1; parte 2 como referência (análise de risco não realizada)
SPDA externo	Existência; captação visível; descidas; conexões; conservação; integração aparente com aterramento	ABNT NBR 5419-3
DPS em baixa tensão	Presença; posição; marcação; tipo/classe; indicador de estado; comprimento aparente das conexões; proteção a montante	ABNT NBR 5410; ABNT NBR IEC 61643-11
Aterramento e equipotencialização	Barramentos; condutores de proteção; interligações aparentes; integração entre subsistemas	ABNT NBR 5410; ABNT NBR 5419-3 e 5419-4

Sistemas internos	Equipamentos sensíveis; automação; linhas de sinal; quadros secundários; circuitos extensos	ABNT NBR 5419-4
Sistema fotovoltaico	DPS CC e CA; marcações; estrutura; aterramento; relação física com SPDA; percurso aparente dos cabos	ABNT NBR 16690; ABNT NBR IEC 61643-31 e 61643-32
Documentação e manutenção	Projeto ou memorial; registros de inspeção; identificação dos quadros e dispositivos; sinais de manutenção	ABNT NBR 5410; ABNT NBR 5419-3; NR-10 e NR-31, quando aplicáveis

Fonte: Autores, 2026.

A pesquisa avaliou apenas condições que puderam ser observadas e documentadas com segurança, e não o desempenho elétrico quantitativo. Não houve ensaio de impulso, medição de resistência de aterramento, continuidade, resistividade do solo, transitórios ou qualidade da energia, nem análise de risco quantitativa. Conexões aparentemente longas, identificação ausente ou pontos sem acesso foram classificados segundo a força do indício, e a ausência de evidência foi registrada separadamente da evidência negativa. O Quadro 2 resume os indicadores observáveis e os limites de interpretação adotados.

Quadro 2. Indicadores observáveis e limites de interpretação.

Indicador	Evidência observável ou documental	Limite da interpretação
DPS	Marcação, posição, indicador de estado e conexões visíveis	Não mede tensão residual, vida útil ou desempenho elétrico

SPDA	Captação, descidas, conexões e conservação visíveis	Não certifica continuidade elétrica nem conformidade integral
Aterramento e equipotencializaç ão	Barramentos, condutores e interligações acessíveis	Não mede resistência, impedância ou resistividade do solo
Histórico de falhas	Documento técnico ou informação voluntária de caráter contextual	Não atribui causalidade do dano à descarga atmosférica
Comparação entre os casos	Checklist comum aplicado às Propriedades A, B e C	Não permite generalização estatística para o município

Fonte: Autores, 2026.

As visitas e os registros fotográficos foram realizados mediante autorização dos responsáveis. Nomes de proprietários, endereços e coordenadas não foram utilizados, e o tratamento de eventuais dados pessoais observou os princípios da Lei nº 13.709/2018, especialmente finalidade, necessidade e segurança (Brasil, 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os três casos são apresentados individualmente e, em seguida, comparados segundo os eixos do referencial e do checklist. Em cada propriedade, os resultados seguem a ordem: alimentação e equipamentos, DPS e quadros, SPDA observável, aterramento e equipotencialização, interfaces fotovoltaicas, quando presentes, e documentação ou falhas relatadas. A Figura 1 mostra a alimentação aérea e a distribuição entre edificações, característica comum às três unidades.

Figura 1. Alimentação aérea e distribuição entre edificações: (a) Propriedade A; (b) Propriedade B; (c) Propriedade C.



Fonte: Acervo dos autores, 2026.

4.1. Propriedade a

A Propriedade A desenvolve pecuária leiteira. O checklist registrou entrada de energia aérea, alimentadores longos, estruturas metálicas próximas à entrada e quadros secundários em outras edificações, arranjo que amplia os caminhos pelos quais sobretensões conduzidas ou induzidas podem alcançar diferentes partes da instalação. No quadro principal (Figura 2a) foi identificado um DPS Eaton xPole SPC-E-280 (Figura 2b), com Uc de 280 V CA, In de 20 kA, Imax de 40 kA, Up inferior a 1,4 kV e classificação Tipo 2. Não foi identificado DPS nos quadros secundários, e permaneceram não verificáveis a proteção a montante do DPS, a extensão efetiva de suas conexões e a existência de proteção próxima aos equipamentos sensíveis.

Figura 2. Propriedade A: (a) quadro elétrico principal aberto; (b) DPS Eaton xPole SPC-E-280 instalado no quadro principal.





Fonte: Acervo dos autores, 2026.

O checklist assinalou “Não” para o indicador de funcionamento em condição normal, e a janela frontal do DPS apresenta tonalidade avermelhada (Figura 2b). O achado foi classificado como vulnerabilidade técnica observável, com prioridade de verificação do estado do dispositivo; a fotografia, isoladamente, não permite diagnosticar o mecanismo de falha nem determinar a necessidade de substituição. A identificação legível dos parâmetros foi considerada conformidade observável apenas quanto ao requisito de marcação. Não foi identificado SPDA externo dedicado, e a necessidade de SPDA permaneceu não verificável sem análise de risco (ABNT, 2026b, 2026c).

A propriedade utiliza bombas, motores, ordenhadeiras e controladores eletrônicos, com relato de falha associada temporalmente a tempestade, sem confirmação técnica da causa. Possui também sistema fotovoltaico (Figura 3): o checklist registrou DPS no lado de corrente contínua, mas o lado de corrente alternada, a coordenação dos DPS, o aterramento e as conexões equipotenciais permaneceram não verificáveis. Não foram disponibilizados projeto elétrico, projeto de SPDA, diagrama unifilar ou registros de manutenção, o que impede verificar a compatibilidade entre Uc, Up, tensão nominal e esquema de aterramento.

Figura 3. Sistema fotovoltaico e inversor da Propriedade A.

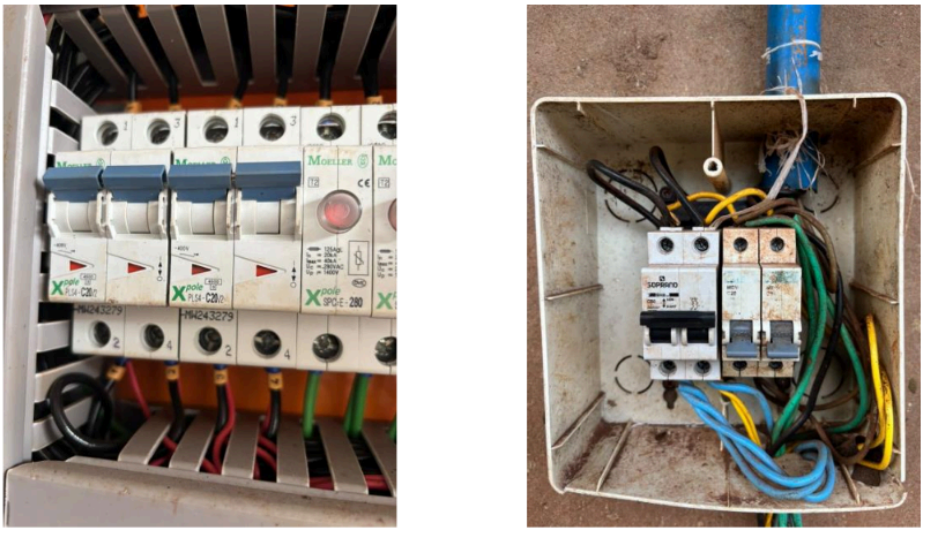


Fonte: Acervo dos autores, 2026.

4.2. Propriedade B

A Propriedade B também desenvolve atividade leiteira, com entrada aérea, alimentadores longos, estruturas metálicas próximas e quadros secundários distribuídos. O quadro principal possui três DPS xPole SPC-E-280, Tipo 2, com Uc de 280 V, In de 20 kA, Imax de 40 kA e Up inferior a 1,4 kV (Figura 4a), com marcações legíveis e cabos de ligação aparentemente curtos e organizados. O quadro foi classificado como fechado e conservado, sem sinais aparentes de aquecimento, oxidação ou improvisações, embora os circuitos não estivessem identificados e os barramentos de neutro e proteção não fossem claramente identificáveis. Também aqui o checklist assinalou “Não” para o indicador de condição normal, e a janela de um dos DPS apresenta coloração avermelhada, o que configura vulnerabilidade técnica de verificação prioritária, sem permitir concluir pela perda efetiva da função protetiva.

Figura 4. Propriedade B: (a) DPS xPole SPC-E-280 no quadro principal; (b) quadro secundário com cabeamento e emendas aparentes.



(a) (b)

Fonte: Acervo dos autores, 2026.

Os pontos secundários mostraram condições distintas das do quadro principal. Na Figura 4b observam-se condutores e emendas aparentes, inclusive conexões com fita isolante, sem fechamento frontal de proteção no momento do registro. Esse conjunto foi classificado como não conformidade aparente quanto à proteção física e à organização do quadro, restrita ao ponto fotografado e sujeita à confirmação por profissional habilitado. A não identificação de DPS nos quadros secundários representa vulnerabilidade técnica a avaliar conforme a distribuição dos circuitos e a localização das cargas.

Não foi identificado SPDA, nem foram visualizados barramento de terra no quadro principal, barramento de equipotencialização ou hastes de aterramento, embora existam condutores de proteção; a falta de visualização de partes enterradas não equivale a afirmar a inexistência do aterramento. A propriedade utiliza bombas, motores e ordenhadeiras, sem automação ou sistema fotovoltaico, e houve relato de que bombas e ordenhadeiras queimam com frequência após tempestades. Essa informação caracteriza o histórico local de falhas, mas é insuficiente para atribuir causa sem inspeção dos

equipamentos avariados. Não foi disponibilizada documentação técnica da instalação.

4.3. Propriedade C

A Propriedade C apresentou o conjunto mais diversificado de cargas: entrada aérea, alimentadores longos, estruturas metálicas, quadros secundários, ordenha, bombas, motores, controladores eletrônicos, inversores de frequência, automação e geração fotovoltaica. No quadro identificado em campo como principal, próximo à sede, havia um quadro de comando com inversores de frequência (Figura 5a) e três módulos de proteção contra surtos tipo 2, identificados como DPS1, DPS2 e DPS3 (Figura 5b). A marcação VAL-MS-EE-T2-385-P corresponde a módulo da Phoenix Contact com Uc de 385 V CA, In de 20 kA, Imax de 40 kA e Up de até 1,8 kV, conforme o fabricante (Phoenix Contact, [s. d.]). Também foram registrados barramento de terra e condutores de proteção em parte da instalação. As fotografias confirmam a presença e a identificação dos módulos, mas não demonstram a coordenação das proteções nem seu estado de funcionamento.

Figura 5. Propriedade C: (a) quadro de comando com inversores de frequência e dispositivos de proteção; (b) DPS tipo 2 no quadro principal.



(a) (b)

Fonte: Acervo dos autores, 2026.

A Propriedade C apresenta heterogeneidade interna: ao lado de quadros recentes, organizados e identificados, há quadros secundários antigos, com sinais de envelhecimento, sujeira e identificação manual de circuitos (Figura 6a), nos quais não foram identificados DPS. Essa coexistência é relevante porque a eficácia da proteção depende do conjunto formado por quadros, alimentadores, aterramento, equipotencialização e cargas. Não se identificou SPDA externo dedicado. O sistema fotovoltaico possui módulos em estrutura metálica no solo e inversores Growatt (Figura 6b), mas os registros não bastaram para verificar a seleção dos DPS dos lados CC e CA, o aterramento das estruturas e a equipotencialização com o restante da instalação. Sem projeto e diagrama unifilar, não foi possível reconstruir integralmente a hierarquia dos alimentadores.

Figura 6. Propriedade C: (a) quadro secundário antigo; (b) sistema fotovoltaico com módulos e inversores Growatt.



(a) (b)

Fonte: Acervo dos autores, 2026.

4.4. Síntese Comparativa e Discussão

Nas três propriedades foram observadas entradas aéreas, alimentadores extensos e quadros distribuídos, com DPS nos quadros principais e ausência de DPS nos quadros secundários examinados (Quadro 3). Não foi identificado SPDA externo dedicado, cuja necessidade depende de avaliação de risco específica. A resposta “Não” para barramento de terra em A e B reproduz o registro visual do ponto inspecionado e não demonstra a inexistência de aterramento em trechos ocultos.

Quadro 3. Síntese comparativa dos principais achados de campo.

Critério	Propriedade A	Propriedade B	Propriedade C
Entrada de energia aérea	Sim	Sim	Sim
Alimentadores extensos	Sim	Sim	Sim
Quadros secundários	Sim	Sim	Sim
DPS no quadro principal	Sim	Sim	Sim
DPS nos quadros secundários examinados	Não identificado	Não identificado	Não identificado

SPDA externo dedicado identificado	Não	Não	Não
Barramento de terra no quadro	Não	Não	Sim
Condutores de proteção identificados	Sim	Sim	Sim
Controladores eletrônicos	Sim	Não	Sim
Inversores de frequência	Não	Não	Sim
Sensores/automação	Não	Não	Sim
Sistema fotovoltaico	Sim	Não	Sim
Projeto elétrico disponível	Não	Não	Não
Registros de manutenção	Não	Não	Não
Relato de queima após tempestades	Sim	Sim	Não

Fonte: Autores, 2026.

A comparação responde à questão central em termos de coerência observável, e não de conformidade integral. Os DPS presentes oferecem evidências pontuais de proteção, mas não demonstram coordenação global com os quadros, cabos, cargas e sistemas de aterramento. A literatura mostra que a geometria, os condutores e a equipotencialização influenciam a resposta transitória (Ahmad et al., 2021; Hetita et al., 2022; Sun et al., 2023), mecanismos que não foram medidos nas propriedades. Nas Propriedades A e B, a convergência entre o checklist e as fotografias impede declarar que os DPS

apresentavam sinalização normal, sem comprovar falha funcional por ensaio.

Os casos apresentaram contrastes. A Propriedade A tem lacunas na identificação de circuitos e interfaces fotovoltaicas não plenamente verificáveis. A Propriedade B combina a não conformidade aparente do quadro secundário com a ausência de DPS nos pontos secundários e relatos recorrentes de falhas, embora não apresente a maior concentração de automação, o que recomenda investigar também subtensão, perda de fase, sobrecarga e condições operacionais. Na Propriedade C coexistem quadros de diferentes épocas, e permanecem não verificáveis a coordenação dos DPS entre os quadros e a proteção fotovoltaica. A indisponibilidade de projetos, diagramas unifilares e registros de manutenção foi comum aos três casos; a aplicabilidade das obrigações documentais das NR-10 e NR-31, porém, depende do enquadramento de cada estabelecimento, não definido pelo estudo (Brasil, 2004, 2024).

Quanto às hipóteses, a primeira, de que as propriedades apresentariam configurações diferentes e lacunas de articulação entre DPS, quadros, aterramento e equipotencialização, foi sustentada qualitativamente. A segunda, de que maior integração observável resultaria em menos vulnerabilidades, não foi confirmada, pois a organização aparente não se traduziu necessariamente em menor número de vulnerabilidades. A terceira, de que a geração fotovoltaica e a automação ampliariam as interfaces que exigem comprovação adicional, recebeu apoio qualitativo nas Propriedades A e C. Nenhuma hipótese autoriza inferência causal, pois não houve medições, grupo de controle ou acompanhamento longitudinal.

As recomendações decorrem dos achados documentados. Para A, identificar os circuitos, verificar prioritariamente a condição do DPS e examinar seus parâmetros e sua coordenação diante das cargas distribuídas e do sistema fotovoltaico. Para B, priorizar a verificação dos DPS e a avaliação de segurança do quadro secundário, regularizando as condições que forem confirmadas, e investigar as falhas de equipamentos sem pressupor relação causal com descargas atmosféricas. Para C, documentar a hierarquia dos quadros e alimentadores em diagrama unifilar, verificar a coordenação dos DPS e examinar o aterramento da estrutura fotovoltaica e as proteções dos circuitos CC e CA. Para todos os casos, recomenda-se atualizar a documentação técnica e avaliar a necessidade de SPDA por análise de risco.

4.5. Limitações do Estudo

A amostra de três casos, selecionada por conveniência, não possui significância estatística para o conjunto das propriedades rurais do município. As datas de construção das instalações não foram documentadas, o que limita afirmações sobre as obrigações normativas vigentes à época de cada projeto; por isso, a série ABNT NBR 5419:2026 foi utilizada como referência técnica, e não como fundamento para imputação retroativa de descumprimento. Os relatos de falhas foram registrados como informações fornecidas durante as visitas: danos semelhantes podem decorrer de subtensão, falta de fase, sobrecarga, defeitos internos ou proteção inadequada, e sua causa depende de investigação elétrica específica. A avaliação da Propriedade B ficou restrita aos pontos visualmente acessíveis, sem comprovação do estado de energização do quadro secundário fotografado, e na Propriedade C não se dispôs de diagrama unifilar para verificar documentalmente toda a

distribuição elétrica. O trabalho não constitui laudo nem certificado de conformidade das instalações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo examinou medidas de proteção contra surtos e descargas atmosféricas em três propriedades da zona rural de Ituiutaba/MG, por meio de visitas observacionais não invasivas. Constatou-se proteção pontual por DPS nos quadros principais, mas a documentação e as evidências disponíveis foram insuficientes para demonstrar coordenação global com aterramento, equipotencialização, quadros secundários e circuitos fotovoltaicos. A ausência de SPDA externo dedicado não foi tomada, isoladamente, como não conformidade, pois sua necessidade depende de análise de risco.

Nas Propriedades A e B, os indicadores dos DPS não registraram condição normal, o que justifica priorizar sua inspeção antes de definir eventual substituição. Em B, somam-se as condições físicas do quadro secundário e os relatos de falhas recorrentes, que devem ser investigados sem pressupor causa atmosférica. Em C, a coexistência de quadros de diferentes épocas e a geração fotovoltaica exigem documentação da distribuição elétrica e verificação da coordenação entre os pontos de proteção.

As principais limitações foram a ausência de medições de aterramento e continuidade, de análise de risco quantitativa, de monitoramento da qualidade da energia e de projetos e registros de manutenção. Os resultados mostram que observar DPS em um quadro não equivale a certificar uma instalação rural e não substituem a avaliação por profissional habilitado. Estudos futuros

podem incluir medições de continuidade e aterramento, cálculo formal de risco, monitoramento da qualidade de energia e ampliação da amostra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDA, Zmnako Mohammed Khurshid; AB KADIR, Mohd Zainal Abidin; HIZAM, Hashim; GOMES, Chandima. Mitigation of lightning-induced transient effects on a hybrid photovoltaic-wind system based on lightning protection standards. **Machines,** Basel, v. 11, n. 7, art. 707, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/machines11070707.

AHMAD, Nor Izzati *et al*. Analysis of lightning-induced voltages effect with SPD placement for sustainable operation in hybrid solar PV-battery energy storage system. **Sustainability,** Basel, v. 13, n. 12, art. 6889, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13126889.

ALPI, Kristine M.; EVANS, John J. Distinguishing case study as a research method from case reports as a publication type. **Journal of the Medical Library Association,** v. 107, n. 1, p. 1-5, 2019. DOI: https://doi.org/10.5195/jmla.2019.615.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690:2019:** instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos: requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410:2004 Versão Corrigida:2008:** instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-1:2026 Versão Corrigida:2026:** proteção contra descargas

atmosféricas: parte 1: princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2026a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-2:2026 Versão Corrigida:2026:** proteção contra descargas atmosféricas: parte 2: análise de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2026b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-3:2026 Versão Corrigida:2026:** proteção contra descargas atmosféricas: parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2026c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-4:2026 Versão Corrigida:2026:** proteção contra descargas atmosféricas: parte 4: sistemas elétricos e eletrônicos internos à estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2026d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61643-11:2021 (Errata 1:2022):** 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. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61643-31:2022:** dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão: parte 31: requisitos e métodos de ensaio para DPS para instalações fotovoltaicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61643-32:2022:** dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão: parte 32: dispositivos conectados ao lado CC de instalações fotovoltaicas: princípios de seleção e aplicação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 21 out. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 10 (NR-10):** segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília, DF: MTE, 2004. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf/view. Acesso em: 21 out. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 31 (NR-31):** segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura. Brasília, DF: MTE, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-31-nr-31. Acesso em: 21 out. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTE nº 737, de 29 de maio de 2026. Aprova a nova redação da Norma Regulamentadora nº 10 (NR-10). **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, 1 jun. 2026.

COSTA, Kamila; SHULZHENKO, Eduard; ROCK, Michael. Lightning protection in agrivoltaic systems: assessment of step and touch voltages tailored to livestock. **Electric Power Systems Research,** v. 255, art. 112839, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2026.112839.

DAMIANAKI, Katerina D. *et al*. Lightning protection of photovoltaic systems: computation of the developed potentials. **Applied Sciences,** Basel, v. 11, n. 1, art. 337, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/app11010337.

FORMISANO, Alessandro; HERNÁNDEZ, Juan C.; PETRARCA, Carlo; SÁNCHEZ-SUTIL, Francisco. Modeling of PV module and DC/DC converter assembly for the analysis of induced transient response due to nearby lightning strike. **Electronics,** Basel, v. 10, n. 2, art. 120, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics10020120.

HETITA, Ibrahim *et al*. Modeling and protection of photovoltaic systems during lightning strikes: a review. **Renewable Energy,** Amsterdam, v. 184, p. 134-148, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.083.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento do território:** raios. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/principais-produtos-e-servicos-do-inpe/monitoramento-do-territorio-raios. Acesso em: 5 set. 2026.

KÁLECZ, György; TÓTH, Zoltán; KISS, István; NÉMETH, Bálint. Theory behind the zone concept for external lightning protection of photovoltaic power plants. **Electric Power Systems Research,** Amsterdam, v. 209, art. 108025, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108025.

KERMANI, Behzad; SHARIATINASAB, Reza. Protection of photovoltaic systems against direct lightning strokes. **IEEE Transactions on Power Delivery,** Piscataway, v. 40, n. 1, p. 301-313, 2025. DOI: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2024.3494053.

MOSAMANE, Simisi; GOMES, Chandima. Simulations and experimental validation of lightning-induced voltages on a PV system in both common mode and differential mode. **Electric Power Systems Research,** Amsterdam, v. 229, art. 110202, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110202.

NOGA, Artur; TOPA, Tomasz; STEFAŃSKI, Tomasz P. Efficient analysis of noise induced in low-voltage installations placed inside buildings with lightning protection systems. **Electronics,** Basel, v. 13, n. 22, art. 4472, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics13224472.

OMAR, Ahmed I.; ABD-ALLAH, M. A.; SHOKRY, Ahmed; SAID, Abdelrahman. Lightning risk assessment, control and protection scheme design for a rooftop photovoltaic system in the New Capital of Egypt. **International Journal of Robotics and Control Systems,** v. 4, n. 4, p. 1903-1933, 2024. DOI: https://doi.org/10.31763/ijrcs.v4i4.1525.

PARHAMFAR, Mohammad; NADERI, Reza; SADEGHKHANI, Iman. Risk assessment, lightning protection, and earthing system design for photovoltaic power plants: a case study of utility-scale solar farm in Iran. **Solar Energy Advances,** v. 5, art. 100098, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seja.2025.100098.

PHOENIX CONTACT. **VAL-MS-EE-T2-385-P:** módulo de reposição de proteção contra surtos tipo 2. [S. l.]: Phoenix Contact, [s. d.]. Disponível em: https://www.phoenixcontact.com/pt-

br/produtos/plugue-para-protecao-contra-surtos-tipo-2-val-ms-ee-t2-385-p-2910569. Acesso em: 2 nov. 2026.

PRAKASH, Chander; SINGH, Lakhwinder Pal; GUPTA, Ajay; LOHAN, Shiv Kumar. Advancements in smart farming: a comprehensive review of IoT, wireless communication, sensors, and hardware for agricultural automation. **Sensors and Actuators A: Physical,** Amsterdam, v. 362, art. 114605, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114605.

SOUSSI, Abdellatif; ZERO, Enrico; SACILE, Roberto. Smart sensors and smart data for precision agriculture: a review. **Sensors,** Basel, v. 24, n. 8, art. 2647, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/s24082647.

SUN, Qiuqin *et al.* Influence of photovoltaic support on lightning transient under direct lightning strike. **Electric Power Systems Research,** Amsterdam, v. 214, art. 108841, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108841.

WADIE, Fady. Evaluative analysis for standardized protection criteria against single and multiple lightning strikes in hybrid PV-wind energy systems. **Electric Power Systems Research,** Amsterdam, v. 218, art. 109227, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109227.

---

[1] Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[3] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[4] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[5] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[6] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[7] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail