

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

Preservação e modernização: desafios do projeto elétrico em edificações de povos originários brasileiros

João Pedro Arruda Miranda, Jefferson Leone e Silva, Guilherme Alexandre Soares da Silva, Dorcas Florentino de Araujo, Valeria Shirley Orth de Jesus, Danilo Ferreira de Souza

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15776>

Submetido em: 2026-04-14

Postado em: 2026-05-04 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

Preservação e modernização: desafios do projeto elétrico em edificações de povos originários brasileiros

Preservation and modernization: challenges of the electrical design in Brazilian indigenous peoples' buildings

¹João Pedro Arruda Miranda, ²Jefferson Leone e Silva, ³Guilherme Alexandre Soares da Silva, ⁴Dorcas Florentino de Araújo, ⁵Valeria Shirley Orth de Jesus, ⁶Danilo Ferreira de Souza

¹Estudante de Engenharia Elétrica UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso (joao.miranda1@sou.ufmt.br); ²Mestre em Engenharia Elétrica UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (jefferson.silva@ufmt.br); ³Graduado em Engenharia Elétrica UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso (guilherme.silva3@ufmt.br); ⁴Doutora em Urbanismo UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro (dorcas.araujo@ufmt.br); ⁵Mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso (valeria.jesus@ufmt.br); ⁶Doutor em Sistemas de Energia USP - Universidade de São Paulo (danilo.souza@ufmt.br)

ORCID

João Pedro Arruda Miranda - <https://orcid.org/0009-0007-8533-7196>

Jefferson Leone e Silva - <https://orcid.org/0009-0005-8524-0939>

Guilherme Alexandre Soares da Silva - <https://orcid.org/0009-0004-5699-7345>

Dorcas Florentino de Araújo - <https://orcid.org/0009-0008-3872-086X>

Valeria Shirley Orth de Jesus - <https://orcid.org/0009-0008-5044-1011>

Danilo Ferreira de Souza - <https://orcid.org/0000-0002-1155-1778>

RESUMO: A eletrificação de edificações de povos originários brasileiros apresenta desafios técnicos distintos daqueles enfrentados em construções convencionais, especialmente quando se trata de estruturas integralmente compostas por materiais combustíveis, como palha, madeira, bambu e cipó. Este trabalho analisa o projeto de instalações elétricas da *Âtã* Bakairi, uma edificação tradicional do povo *Kurâ*-Bakairi planejada para o campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), com o objetivo de demonstrar como decisões técnicas orientadas pelo risco específico da edificação resultam em soluções que vão além do atendimento mínimo à norma. A metodologia combina *i*) revisão bibliográfica, *ii*) análise normativa com base na ABNT NBR 5410:2008 e na NBR 5419:2015, e *iii*) desenvolvimento do projeto com auxílio dos softwares ArchiCAD 27 e AltoQi Builder. A edificação foi enquadrada nos códigos de risco BE2, CA2 e CB2 da NBR 5410, o que orientou a adoção de uma estratégia de proteção multicamadas, composta por disjuntores termomagnéticos, dispositivo de proteção diferencial residual (IDR) de 300 mA, dispositivo de detecção de arco elétrico (AFDD) e dispositivo de proteção contra surtos (DPS), além de condutores LSZH e eletrodutos em PEAD. A análise de risco contra descargas atmosféricas demonstrou que o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de Nível III reduz em aproximadamente 95% os riscos à vida humana e ao patrimônio cultural. O projeto evidencia que a preservação de uma edificação de valor cultural inestimável exige engenharia de risco aplicada, não apenas o cumprimento de tabelas normativas.

Palavras-Chave: Instalações elétricas. Povos originários. Proteção contra incêndio. AFDD. SPDA.

ABSTRACT: The electrification of indigenous Brazilian peoples' buildings presents distinct technical challenges from those faced in conventional construction, especially when dealing with structures entirely composed of combustible materials such as thatch, wood, bamboo, and vine. This work analyzes the electrical installation design of the *Âtã* Bakairi, a traditional building of the *Kurâ*-Bakairi people planned for the campus of the Federal University of Mato Grosso (UFMT), with the aim of demonstrating how technical decisions guided by the building's specific risk profile result in solutions that go beyond minimum compliance with standards. The methodology combines *i*) bibliographic review, *ii*) normative analysis based on ABNT NBR 5410:2008 and NBR 5419:2015, and *iii*) project development with the aid of ArchiCAD 27 and AltoQi Builder software. The building was classified under risk codes BE2, CA2, and CB2 of NBR 5410, which guided the adoption of a multi-layer protection strategy comprising thermomagnetic circuit breakers, a 300 mA residual differential protection device (RCD), an arc fault detection device (AFDD), and a surge protection device (SPD), in addition to LSZH conductors and HDPE conduits. The lightning risk analysis demonstrated that a Level III Lightning Protection System (LPS) reduces risks to human life and cultural heritage by approximately 95%. The project demonstrates that the

preservation of a building of inestimable cultural value requires applied risk engineering, not merely compliance with normative tables.

Keywords: Electrical installations. Indigenous peoples. Fire protection. AFDD. LPS.

1. INTRODUÇÃO

O acesso à energia elétrica desempenha papel fundamental no desenvolvimento social e econômico dos indivíduos, além de interferir, de acordo com modelos teóricos de tradição beckeriana, até mesmo na alocação de tempo de cada sujeito (RACHTER; ROCHA, 2022), contribuindo para a melhoria das condições de vida, comunicação, educação e atividades produtivas.

Quando esse processo de eletrificação alcança comunidades de povos originários, em especial aquelas que habitam edificações construídas com técnicas e materiais naturais transmitidos por gerações, surgem desafios técnicos distintos daqueles enfrentados em construções convencionais.

As edificações tradicionais ancestrais de povos originários brasileiros são concebidas sem infraestrutura elétrica e com uso predominante de materiais de elevada combustibilidade, o que as posiciona em uma categoria de risco que a normalização vigente raramente contempla explicitamente. Porém, com a ampliação do sistema de energia elétrica em áreas rurais, observa-se o uso recorrente de energia nas aldeias indígenas.

A introdução de sistemas elétricos nesses ambientes impõe, portanto, um duplo desafio: garantir o funcionamento seguro da instalação e preservar a integridade física e cultural da edificação. No Brasil, falhas elétricas são responsáveis por uma parcela expressiva dos incêndios registrados anualmente, com consequências que incluem perdas humanas e danos irreversíveis ao patrimônio (MARTINHO et al., 2025). Estudos recentes demonstram o crescimento contínuo desses eventos e a predominância das residências como principal local de ocorrência (SILVA et al., 2025; SOUZA et al., 2023).

Nesse contexto, a ABNT NBR 5410:2008, que incorpora diretrizes da série IEC 60364, estabelece os requisitos mínimos para projeto, execução e manutenção de instalações elétricas de baixa tensão no Brasil, incluindo critérios de classificação para ambientes com risco de incêndio. Contudo, a norma foi concebida primordialmente para construções convencionais, revelando lacunas quando aplicada a edificações com características construtivas singulares.

Este trabalho analisa os desafios técnicos e normativos do projeto de instalações elétricas em edificações de povos originários brasileiros, tomando como estudo de caso, a casa do povo *Kurâ-Bakairi* de Mato Grosso, denominada *Âtâ* (PORTOCARRERO, 2001), a ser construída no campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). O objetivo é demonstrar como decisões de projeto orientadas pelo risco específico da edificação resultam em soluções técnicas diferenciadas, que vão além do atendimento mínimo normativo e incorporam uma proteção multicamadas adequada à elevada carga de incêndio do ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza descritiva e exploratória, desenvolvida a partir do estudo de caso da *Âtâ Bakairi*, edificação tradicional do povo Bakairi, planejada para ser instaurada no campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). A metodologia combina revisão bibliográfica, análise normativa, levantamento de campo e desenvolvimento de projeto elétrico, com suporte de ferramentas computacionais especializadas.

A coleta de dados foi realizada por meio de reuniões, juntamente com o levantamento dimensional da futura edificação a ser construída. Os dados arquitetônicos foram modelados no

software ArchiCAD 27, permitindo a compatibilização do projeto elétrico com a geometria real da edificação, cujas vistas superior e frontal da estrutura são apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 - Planta Baixa da Oca Bakairi desenvolvido no software AutoCAD.

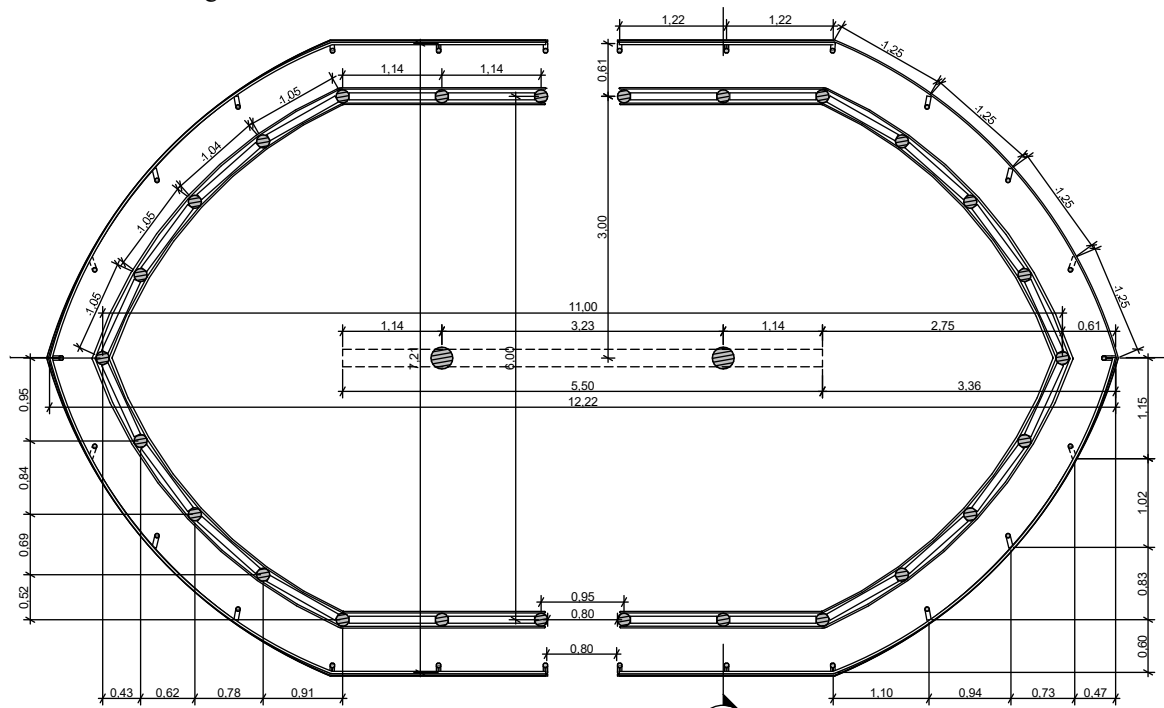
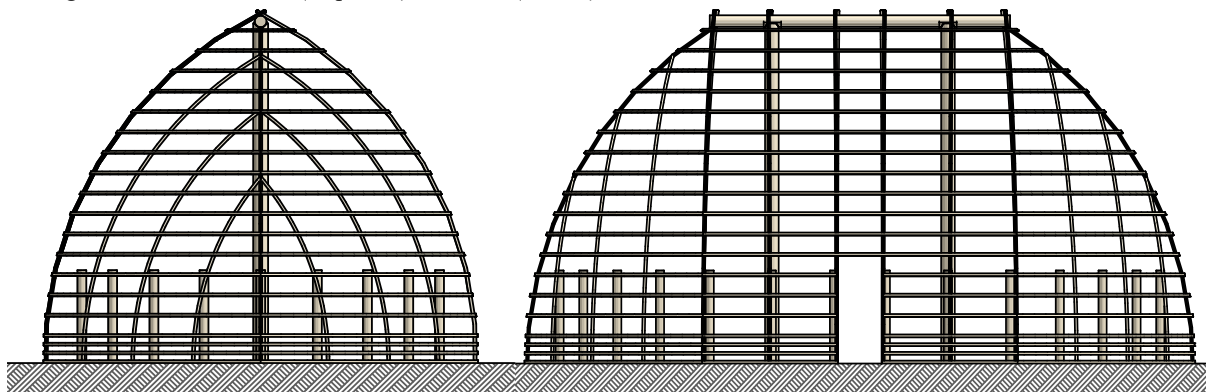


Figura 2 - Visão lateral (esquerda) e frontal (direita) da Oca Bakairi desenvolvido no software ArchiCAD.



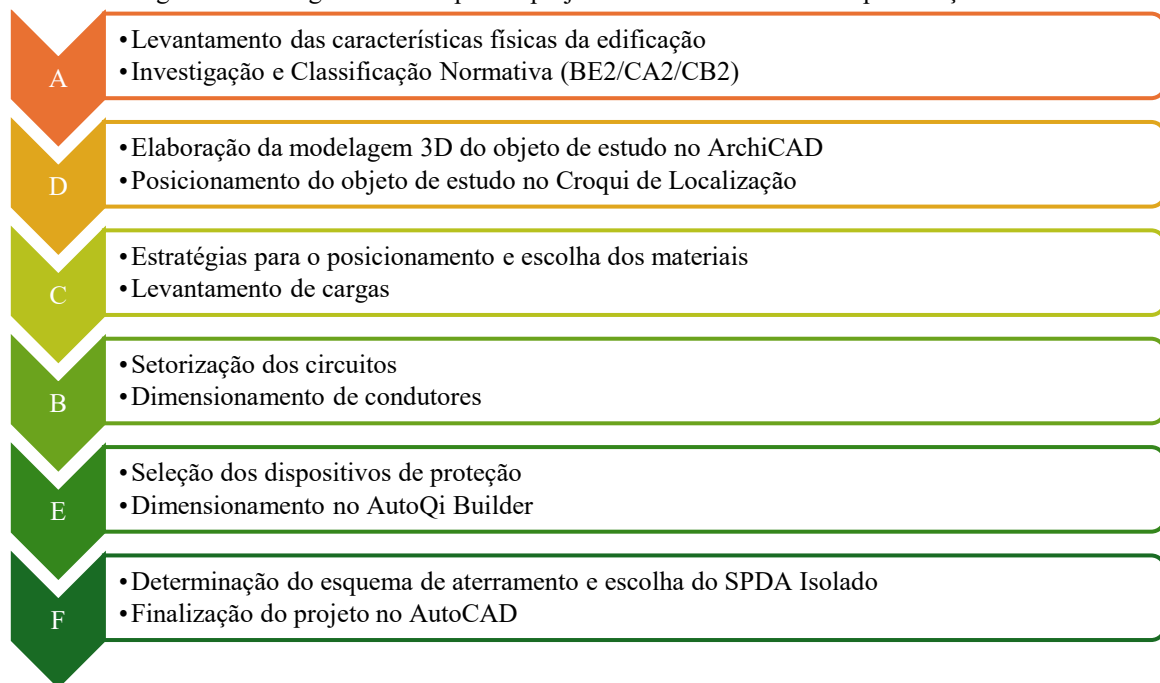
A análise normativa foi conduzida com base na Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5410 de 2008, derivada da Comissão Eletrotécnica Internacional IEC 60364, e na ABNT NBR 5419:2015 (partes 1 a 4), que regulamenta a proteção contra descargas atmosféricas. Devido à sua alta carga de incêndio, a edificação, que é composta de material combustível em sua constituição arquitetônica, resultou no enquadramento em diversos padrões fornecidos pela NBR 5410:2008. Dentre eles, os principais são os códigos BE2 (risco de incêndio), CA2 (materiais combustíveis) e CB2 (sujeito à propagação de incêndio). Através deles, o início da determinação das condições que orientaram todas as decisões subsequentes deste projeto foi possível.

O levantamento de cargas considerou o uso previsto para atividades culturais e acadêmicas, incluindo o sistema de iluminação interna, as tomadas de uso geral para

dispositivos audiovisuais e o circuito dedicado. De acordo com Lemes, Albuquerque e Souza (2025), grande parte dos incêndios em instalações elétricas foi atribuída à elevação do consumo energético, motivada pela incorporação de equipamentos voltados ao conforto e à comodidade dos usuários, como aparelhos de ar-condicionado, ventiladores e fornos de micro-ondas, portanto, o dimensionamento dos condutores, proteções e quadro de distribuição foi realizado no software AltoQi Builder, com critérios de queda de tensão, capacidade de condução, fator de agrupamento e temperatura ambiente definidos em função do método de instalação aparente adotado.

A análise de risco contra descargas atmosféricas foi conduzida conforme a NBR 5419-2:2015, implementada no AltoQi Builder, com base na densidade de descargas atmosféricas ($N_g = 10$ descargas/km²/ano). Foram comparados dois cenários sem e com SPDA de Nível de Proteção III avaliando os componentes de risco R1 (perda de vida humana), R2 (perda de serviço ao público) e R3 (perda de patrimônio cultural) frente aos limites toleráveis estabelecidos pela norma. O fluxo metodológico completo, da análise de risco à especificação final dos dispositivos, está representado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma das etapas do projeto: da análise de risco à especificação final.



2.1 O cenário dos acidentes elétricos no Brasil e o risco em edificações tradicionais

O Brasil registrou, em 2023, 2.089 acidentes de origem elétrica, resultando em 781 mortes, com uma letalidade de 37,4% por ocorrência, índice que evidencia a gravidade intrínseca desse tipo de evento (MARTINHO et al., 2024). Desse total, 963 ocorrências foram incêndios de origem elétrica, com 67 fatalidades registradas. A Abracopel estima, ainda, que os números reais possam ser até três vezes maiores, uma vez que nem todos os incidentes chegam a registro formal.

No âmbito das residências, os principais vetores de acidentes são fios partidos ou sem isolamento adequado, sobrecarga de circuitos e manutenção improvisada, situações que, em edificações convencionais de alvenaria, tendem a resultar em danos localizados. Contudo, em edificações rurais e tradicionais com estrutura de madeira, palha e fibras vegetais, essas mesmas falhas podem provocar a combustão generalizada da edificação em questão em minutos (GENTILE et al., 2017).

Dados do Corpo de Bombeiros de diferentes estados indicam que falhas elétricas respondem por entre 30% e 40% de todos os incêndios estruturais registrados no país anualmente. O Instituto Sprinkler Brasil, que monitora diariamente notícias sobre incêndios estruturais desde 2012, aponta que os números apurados representam menos de 3% das ocorrências reais, reflexo direto da ausência, no Brasil, de um sistema nacional padronizado de coleta e tabulação de dados sobre incêndios (INSTITUTO SPRINKLER BRASIL, 2022).

No contexto das áreas rurais e naturais, a Abracopel registrou, em 2023, 83 ocorrências com 67 fatalidades, uma letalidade por ocorrência ainda maior do que a média nacional (MARTINHO et al., 2024). Esse dado é especialmente relevante para o presente trabalho, pois as comunidades de povos originários e as edificações tradicionais de material vegetal concentram-se exatamente nesse contexto geográfico e tipológico de maior vulnerabilidade.

2.2 Eletrificação de comunidades de Povos Originários: o Programa Luz para Todos e seus desafios técnicos

O processo de eletrificação de comunidades de povos originários no Brasil ganhou escala com o Programa Luz para Todos (LPT), instituído pelo Decreto n. 4.873/2003 foi relançado em 2023 com nova fase de atendimento. Desde a retomada, foram instaladas 7.245 unidades consumidoras em terras originárias até março de 2025, beneficiando cerca de 30 mil pessoas em oito estados, sendo Mato Grosso o estado com o maior número de atendimentos, com 8.800 pessoas contempladas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2025).

O programa LPT reconhece explicitamente que um dos seus principais desafios é atender às comunidades de povos originários sem interferir em sua cultura, tradição e modo de vida. Para isso, foram desenvolvidas cartilhas de orientação, publicadas em português e nas línguas nativas de cada etnia, voltadas ao uso racional e seguro da energia elétrica. Contudo, relatórios de campo revelam que a implementação técnica nem sempre acompanhou essa sensibilidade cultural.

Uma contribuição da Rede Energia e Comunidades sobre a implantação do LPT na Terra Originária do Xingu, em Mato Grosso, aponta falhas que têm relação direta com o tema deste trabalho: em aldeias onde as casas são feitas de palha e madeira, os transformadores instalados apresentam aquecimento que representa risco de incêndio, risco reconhecido e nomeado explicitamente por pesquisadores do Instituto Energia e Meio Ambiente (IEMA) (REDE ENERGIA E COMUNIDADES, 2025). Além disso, a divergência de tensão entre a rede instalada (127 Volts) e os equipamentos utilizados pelos povos originários (220 Volts) indica que o projeto de eletrificação não considerou adequadamente as características de uso e o contexto técnico local.

Esses casos demonstram que a eletrificação de comunidades de povos originários não pode ser tratada como mera extensão de um projeto padrão de distribuição rural. A tipologia construtiva das edificações, com seus materiais, volumes e ausência de compartimentação, deve ser determinante do projeto elétrico, e não uma característica ignorada ou considerada apenas após a implantação. É exatamente essa lacuna que o presente trabalho busca abordar de forma sistemática.

2.3 Segurança elétrica em edificações de patrimônio cultural e estruturas vegetais

O guia da UNESCO sobre gestão de risco de incêndio em patrimônios culturais e naturais classifica, entre os elementos internos de maior risco, as estruturas construtivas de madeira, bambu, palha e gramíneas, exatamente os materiais que compõem a *Âtã Bakairi*, ao lado das instalações elétricas como fonte potencial de ignição (UNESCO, 2020).

No campo das instalações elétricas em estruturas de madeira, Gentile et al. (2017) expõem que a incorporação de critérios de segurança contra incêndio desde a fase de concepção do projeto, e não como conjunto de medidas corretivas, é o fator mais determinante para a

redução do risco. Os autores destacam que falhas elétricas representam riscos significativos, especialmente em construções com uso predominante de materiais naturais, e que a seleção de dispositivos de proteção deve ser orientada pela análise do cenário de falha, não apenas pelo cumprimento de requisitos mínimos normativos.

No que se refere especificamente à detecção de arco elétrico, Hnatiuc et al. (2022) demonstram a eficácia dos Dispositivos de Detecção de Defeito de Arco Elétrico (AFDD) na identificação de padrões de corrente associados a arcos em série e em paralelo, fenômenos que os dispositivos convencionais de proteção são incapazes de detectar. Os autores ressaltam que o arco elétrico é uma das causas de incêndio mais subestimadas em instalações residenciais e prediais, justamente por não acionar os dispositivos termomagnéticos convencionais, o que torna sua adoção particularmente relevante em ambientes de alta carga de incêndio.

A adoção do AFDD ainda é incipiente no Brasil, especialmente fora do segmento industrial. Na Europa, países como a Alemanha e o Reino Unido já incorporaram a exigência ou recomendação de AFDD, devido à presença da IEC para instalações elétricas de baixa tensão, cobrindo requisitos de segurança, proteção contra choques elétricos e incêndios, além de design e seleção de equipamentos para ambientes de risco elevado, que estabeleceu a IEC 60364. O Reino Unido, por exemplo, incorporou o padrão nacional para instalações elétricas de baixa tensão do seu país, coeditada pela IET e BSI Group, denominada BS7671. Ela rege o projeto e a verificação de instalações elétricas, também assegurando a segurança como as outras comissões. Essa, também possui recomendações específicas sobre AFDD para edificações residenciais a partir de 2018, reconhecendo que o arco elétrico é o modo de falha dominante em instalações antigas ou expostas a condições adversas. A NBR 5410:2008, não menciona o AFDD de forma explícita, o que reforça a necessidade de interpretação ampliada da norma para edificações enquadradas nos códigos BE2 (Natureza dos materiais processados ou armazenados), CA2 (Materiais de construção) e CB2 (Estrutura das edificações), como é o caso da Âtã Bakairi.

2.4 Dispositivos de proteção diferencial residual: adoção e eficácia no contexto brasileiro

O Dispositivo Diferencial Residual (DR ou IDR) é um dos principais instrumentos de proteção contra choques elétricos e correntes de fuga nas instalações brasileiras. Apesar da importância textualmente indicada, de acordo com Martinho et al. (2025), “56,9% das residências avaliadas no Panorama das Instalações Elétricas Residenciais Brasileiras não havia nenhum dispositivo diferencial residual (DR) instalado. Dentre as demais, 28,6% apresentavam um único DR para proteção geral de toda a instalação, 7,8% utilizavam o DR apenas para áreas específicas (externas, molhadas ou de serviço, conforme prescreve a ABNT NBR 5410), e 6,7% adotavam proteção setorial, com um DR por circuito ou grupo de circuitos”.

No contexto de edificações com risco de incêndio, a diferenciação entre IDR de 30 mA (proteção pessoal) e IDR de 300 mA (proteção contra incêndio) é tecnicamente fundamental, e pouco abordada em projetos convencionais, visto que, a corrente de fuga capaz de provocar ignição em materiais secos e porosos, como palha e madeira, é muito inferior à corrente letal para o ser humano, criando uma faixa de risco de incêndio que o IDR de 30 mA não cobre de forma eficiente. Portanto, a especificação do IDR de 300 mA como camada de proteção contra incêndio é uma decisão que a NBR 5410 permite, mas que raramente é implementada em projetos de baixa complexidade aparente.

2.5 Arquitetura dos povos originários brasileiros: características e vulnerabilidades elétricas

A arquitetura dos povos originários brasileiros caracteriza-se pelo emprego predominante de materiais naturais, como madeira, palha, fibras vegetais e cipós, associados a técnicas construtivas vernaculares transmitidas ao longo de gerações (COSTA; MALHANO, 1987; ALHO, 1985). Do ponto de vista das instalações elétricas, essa composição material representa o principal fator de risco: madeira e palha são classificadas na classe A de incêndio, com elevada combustibilidade e alta velocidade de propagação das chamas (GENTILE et al., 2017).

Diferentemente das construções convencionais, que dispõem de compartimentação, revestimentos não combustíveis e estruturas que retardam a propagação do fogo, as edificações de povos originários apresentam grandes volumes internos contínuos, ausência de elementos de proteção passiva e estruturas integralmente expostas. Por isso, qualquer fonte de ignição, inclusive as de origem elétrica, como arcos, superaquecimento de condutores ou falhas de conexão, pode resultar em incêndio de rápida propagação e incontrolável (MARTINHO et al., 2025).

Esse cenário é agravado pela impossibilidade de embutimento de condutores na estrutura, pela inexistência de superfícies incombustíveis para fixação de equipamentos e pela ausência histórica de qualquer infraestrutura elétrica, o que torna cada decisão de projeto um exercício de engenharia de risco aplicado.

A *âtã* é a casa ancestral do povo Bakairi, uma das etnias originárias do estado de Mato Grosso. Karl von den Steinen, etnólogo alemão que conviveu com os Bakairi em expedições ao Brasil entre 1884 e 1887, descreve-a como uma edificação de dimensões imponentes, com planta baixa alongada e cumeeira elevada de aproximadamente oito metros (STEINEN, 1940; STEINEN, 1942). A casa é composta basicamente de madeira roliça na estrutura, coberta por palha de Buriti e piso em terra batida. Não possui divisões internas por paredes. Possui duas portas dispostas em direções opostas, que possuem altura máxima de 1,50 m e não possuem abertura de janelas.

Desde o início do Séc. XX, essa tipologia foi progressivamente substituída pelo modelo em alvenaria, o que resultou no abandono de um conhecimento construtivo sofisticado e de profundo significado cultural (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, 2025). A construção da *Âtã* no campus da UFMT visa torná-la um centro de referência no registro e no estudo do uso de materiais naturais na arquitetura dos povos originários.

Do ponto de vista construtivo, a *Âtã* apresenta forma elipsoidal em planta baixa, com pilares de madeira fincados diretamente no solo e cobertura executada inteiramente em palha de buriti, estendendo-se até o chão e eliminando paredes laterais convencionais (STEINEN, 1940; PORTOCARRERO, 2001). A vedação lateral é composta por ripas de madeira e bambu, fixadas com cipós e fibras vegetais, sem uso de elementos metálicos. As aberturas localizam-se nas extremidades opostas, promovendo ventilação cruzada. A ausência de compartimentação interna e o grande volume de ar livre resultam em condições que, em caso de incêndio, favorecem a propagação rápida das chamas. Para o projeto elétrico, as consequências diretas dessas características são:

- Impossibilidade técnica de embutimento de condutores ou eletrodutos na estrutura, sem comprometimento da integridade construtiva;
- Ausência de superfícies não combustíveis para fixação de equipamentos e quadros elétricos;
- Alta carga de incêndio distribuída em toda a extensão da edificação, sem barreiras de contenção;
- Exposição às altas taxas de descargas atmosféricas características da região Centro-Oeste, com risco de surtos transitórios que podem degradar os isolamentos.

2.6 Lacunas normativas da NBR 5410:2008 para edificações não convencionais

A ABNT NBR 5410:2008, derivada da série IEC 60364, classifica ambientes com presença significativa de materiais combustíveis como CA2, exigindo medidas adicionais de proteção. A norma determina que os componentes da instalação elétrica não possam provocar a combustão de elementos construtivos adjacentes. Contudo, os métodos de instalação prescritos pressupõem, em sua maioria, a existência de superfícies rígidas, canaletas ou estruturas que permitam fixação convencional, condições inexistentes em edificações de palha e madeira. A norma prevê os códigos BE2 (risco de incêndio) e CB2 (sujeito à propagação de incêndio), mas não oferece diretrizes específicas sobre como adaptar os métodos de instalação quando a própria estrutura da edificação é o combustível principal.

Essa lacuna normativa se manifesta em ao menos quatro dimensões práticas distintas:

- Método de instalação: todos os métodos de referência para condutores em eletrodutos pressupõem suportes de fixação em superfícies sólidas não combustíveis. Em estruturas de bambu e cipó, a fixação convencional é tecnicamente inviável sem risco de comprometimento estrutural;
- Emendas e conexões: a norma recomenda a minimização de emendas intermediárias em ambientes CA2, mas não especifica procedimentos alternativos para percursos que obrigatoriamente seguem elementos estruturais orgânicos e curvos;
- Temperatura de superfície de componentes: a norma exige que componentes não atinjam temperaturas capazes de provocar combustão, mas não estabelece critérios quantitativos de afastamento mínimo entre condutores e materiais vegetais;
- Dispositivos de proteção complementares: a norma não menciona o AFDD como medida aplicável a ambientes BE2/CA2, embora seja o único dispositivo capaz de interceptar o modo de falha por arco elétrico em conexões degradadas.

3. RESULTADOS/DISCUSSÕES

Esta seção apresenta as soluções técnicas desenvolvidas para o projeto elétrico da Âtã Bakairi, organizadas por camada de proteção e por método de instalação, seguidas dos resultados da análise de risco contra descargas atmosféricas. Cada decisão é discutida à luz das características específicas da edificação e do referencial teórico apresentado, evidenciando o que distingue este projeto de uma instalação convencional.

3.1 Premissas de projeto e classificação de risco

Em uma edificação em que o próprio invólucro, formado por palha, madeira, cipó e bambu, constitui o combustível, cada componente elétrico precisa ser selecionado e instalado de modo a nunca representar fonte potencial de ignição.

Essa premissa redefiniu a hierarquia de decisões de projeto: em vez de partir das cargas e dimensionar os condutores pelo critério convencional de capacidade de corrente, o ponto de partida foi a análise de risco e a definição das camadas de proteção necessárias. O dimensionamento seguiu os parâmetros convencionais: corrente de projeto, capacidade de condução, método de instalação, fator de agrupamento, temperatura ambiente e queda de tensão admissível, mas todos os critérios de seleção de materiais foram orientados pelo risco de incêndio.

3.2 Método de instalação: a solução para um substrato integralmente combustível

A primeira e mais visível diferença em relação a um projeto convencional é o método de instalação. Em edificações tradicionais, condutores são embutidos em eletrodutos, dentro de paredes de alvenaria ou de concreto. Na Âtã, essa opção é tecnicamente inviável: não há paredes convencionais e qualquer intervenção estrutural comprometeria a integridade da edificação.

A solução adotada foi a instalação aparente com eletrodutos corrugados flexíveis em Polietileno de Alta Densidade (PEAD). A escolha do PEAD sobre o eletroduto corrugado convencional (coloração amarelada) é tecnicamente fundamentada: o PEAD oferece resistência mecânica superior, maior resiliência a impactos e melhor desempenho contra ações do ambiente, características relevantes em uma instalação exposta, sem proteção das paredes.

Os percursos dos eletrodutos foram projetados acompanhando até a saída do solo, onde, após a saída, o cabo multiplexado nu viaja através dos elementos estruturais de madeira, com fixação afastada da palha sempre que possível e com critério estético de compatibilização com a arquitetura da edificação. O afastamento físico entre os condutores e a cobertura vegetal constitui uma medida preventiva direta contra o aquecimento localizado. A decisão de evitar emendas intermediárias ao longo dos circuitos foi orientada pelo risco: emendas são pontos potenciais de aquecimento localizado e de arco elétrico, e sua eliminação reduz diretamente a probabilidade de ignição.

3.3 Condutores LSZH: a escolha que faz diferença em um incêndio

A especificação de condutores com isolamento LSZH (Low Smoke Zero Halogen baixa emissão de fumaça, livre de halogênios e não propagantes de chama) vai além do cumprimento do mínimo normativo. Em ambientes BE2 e CA2, a norma exige condutores não propagantes de chama, mas a escolha do LSZH adiciona duas características para uma edificação sem compartimentação:

- Baixa emissão de fumaça densa: em um espaço sem compartimentação e com apenas duas aberturas nas extremidades, a fumaça densa pode rapidamente tornar o ambiente inacessível para a evacuação e o combate ao incêndio.
- Ausência de gases tóxicos halogenados: cabos convencionais com Policloreto de Vinila (PVC) liberam ácido clorídrico em combustão em um ambiente de grande volume aberto e alta temperatura de incêndio, a toxicidade dos gases representa risco adicional aos ocupantes e aos materiais da edificação.

A combinação de PEAD nos eletrodutos e LSZH nos condutores constitui a primeira camada de proteção passiva da instalação: mesmo em caso de incêndio de outra origem, a instalação elétrica em si não agrava o sinistro.

3.4 Setorização e distribuição de circuitos

A Tabela 1 apresenta a distribuição dos quatro circuitos independentes adotados. Essa setorização não é apenas uma exigência normativa, é uma estratégia de controle de risco: uma falha em qualquer circuito resulta no desligamento apenas daquele circuito, sem comprometer a iluminação ou os demais pontos da edificação. A setorização também facilita a manutenção sem necessidade de desligamento total.

Tabela 1 - Distribuição dos circuitos.

Nº	Tipo	Dependências
1	Iluminação A e B	Interior da Oca (zonas A e B)
2	Iluminação C	Interior da Oca (zona C)
3	TUGs 1	Interior da Oca
4	TUGs 2	Interior da Oca

A Tabela 2 apresenta os dados de iluminação da Oca Bakairi, calculados com base na área e no nível de iluminância requerido para uso cultural e acadêmico.

Tabela 2 - Dados referentes à iluminação da Oca Bakairi.

Disjuntores termomagnéticos dimensionados por circuito protegem contra sobrecargas e curtos-circuitos, constituindo a camada básica de proteção. Sua função é interromper a corrente antes que o calor gerado por uma sobrecarga atinja níveis capazes de provocar a combustão dos materiais adjacentes, conforme exigido pela NBR 5410:2008.

II. Proteção diferencial residual (IDR)

Foram especificados dispositivos de proteção diferencial em dois níveis de sensibilidade, com funções distintas e complementares, como o IDR de 300 mA que fornece proteção contra incêndio. Correntes de fuga de magnitude inferior ao IDR de 30 mA podem, ao percorrer caminhos resistivos nos materiais combustíveis, gerar aquecimento localizado suficiente para iniciar um foco de incêndio. Esse dispositivo atua nessa faixa crítica, detectando correntes que representam risco de ignição, mesmo na ausência de ameaça imediata à vida humana.

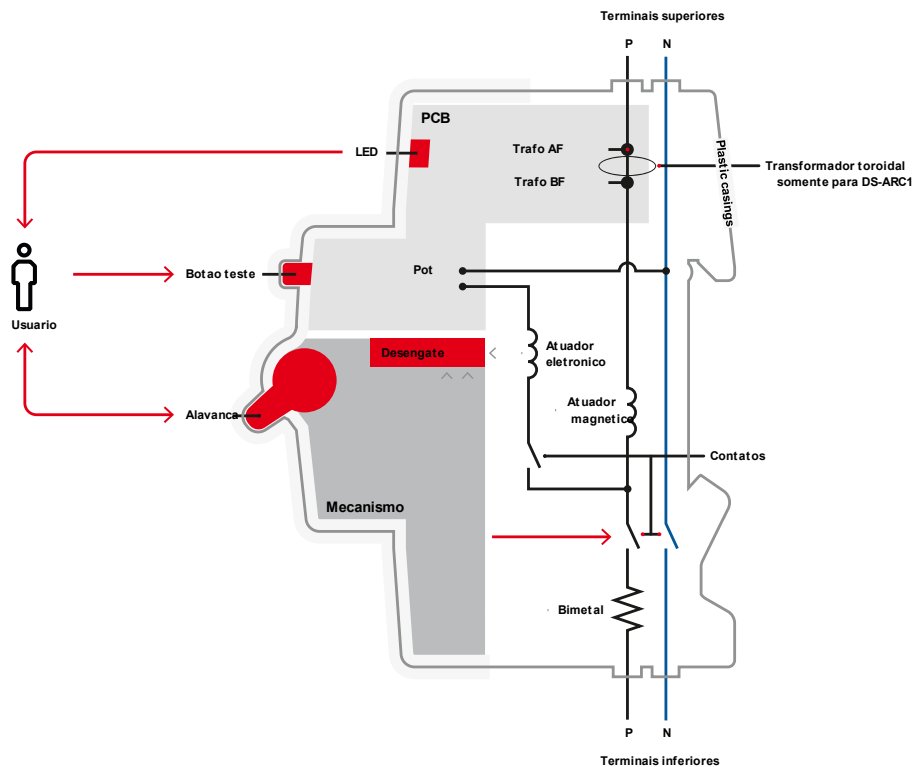
III. Dispositivos de Detecção de Defeito de Arco Elétrico (AFDD)

O arco elétrico ocorre em conexões degradadas, isolamentos danificados, cabos esmagados ou contatos frouxos, gerando plasma a temperaturas superiores a 3.000 °C. Em instalações convencionais, esse fenômeno frequentemente não aciona os dispositivos de proteção contra sobrecorrente, pois sua corrente característica pode ser inferior à corrente de atuação do disjuntor. É o modo de falha mais silencioso e, em ambientes combustíveis, mais perigoso.

A inclusão de AFDD neste projeto representa uma camada de proteção incomum mesmo em instalações de alto padrão. O dispositivo monitora continuamente a forma de onda da corrente elétrica, identificando as distorções características de arcos em série ou em paralelo. Ao identificar um arco, interrompe o circuito antes que o calor gerado possa atingir os materiais combustíveis adjacentes (HNATIUC et al., 2022). Em uma edificação em que os condutores percorrem estruturas de madeira e bambu fixadas com cipó, a degradação das conexões ao longo do tempo é um risco real e progressivo. O AFDD é uma camada de proteção capaz de interceptar esse tipo de falha antes que ela se torne um incêndio.

A Figura 5 ilustra o interior do dispositivo AFDD fornecido pela ABB, evidenciando os componentes eletrônicos responsáveis pelo monitoramento contínuo da forma de onda da corrente e pela identificação de arcos elétricos.

Figura 5 - Interior do dispositivo AFDD fornecido pela ABB.



Fonte: ABB (2023).

IV. Proteção contra surtos (DPS)

Foi especificado o Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) Classe II no quadro de distribuição, conforme as recomendações da NBR 5410:2008 e NBR 5419, uma vez que o estado de Mato Grosso figura entre os estados com maior densidade de descargas atmosféricas do Brasil, com 11,1 raios/km²/ano (ELAT/INPE, 2017). Surtos transitórios de tensão podem degradar progressivamente o isolamento dos condutores efeito não imediatamente perceptível, mas que aumenta a probabilidade de arcos e correntes de fuga ao longo do tempo. Em uma edificação com alto risco de incêndio, essa degradação silenciosa é particularmente perigosa. Dessa forma, o DPS intercepta os surtos na entrada do quadro, protegendo a integridade do isolamento de toda a instalação.

3.6 Sistema de aterramento e SPDA isolado

A elevada densidade de descargas atmosféricas da região de Cuiabá, combinada à natureza integralmente combustível da Âtã, torna a proteção contra raios uma preocupação indispensável para o projeto. Adiante, até a finalização do item 3, serão apresentados os parâmetros locais adotados, a análise de risco conduzida conforme a NBR 5419-2:2015 e o dimensionamento do SPDA isolado, com seus subsistemas de captação, descida e aterramento utilizados no projeto.

3.6.1 Densidade de Descargas Atmosféricas da Região

A região de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, está situada em uma das áreas de maior incidência de descargas atmosféricas do Brasil. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que mantém monitoramento contínuo através da Rede

Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT), o estado de Mato Grosso figura consistentemente entre os estados com maior densidade de raios do país.

O Brasil, como um todo, registra anualmente cerca de 77 milhões de descargas atmosféricas, sendo reconhecido internacionalmente como o país com maior incidência de raios no mundo. A região Centro-Oeste, onde se localiza Cuiabá, caracteriza-se por condições climáticas que favorecem a formação de tempestades severas: clima tropical com alta umidade, confluência de massas de ar quente oriundas da Amazônia com frentes frias provenientes do Sul, e um período chuvoso intenso que se estende de setembro a maio.

Com base nos dados históricos do INPE para a região de Cuiabá/MT e considerando as características específicas do campus da UFMT, adotou-se, para efeito de projeto, o valor de $N_g = 10$ descargas/km²/ano. Este valor é conservador e representa adequadamente a elevada incidência de raios na região, estando alinhado às medições realizadas pelos sistemas de detecção instalados no estado.

3.6.2 Características de Risco da Edificação

A Âtã Bakairi apresenta um conjunto de características que tornam a análise de risco contra descargas atmosféricas particularmente crítica. A edificação combina elementos que, quando avaliados em conjunto, exigem atenção especial no dimensionamento das medidas de proteção.

3.6.3 Materiais Construtivos

A estrutura é executada inteiramente com materiais de origem vegetal: palha de gramíneas do Cerrado na cobertura (com espessura superior a 30 cm), estrutura de sustentação em madeira e bambu, vedações laterais em ripas de madeira entrelaçadas com cipós, e acabamentos em fibras naturais. Todos esses materiais são classificados como altamente combustíveis, enquadrando a edificação na categoria BE2 da NBR 5410 (ambientes que processam ou armazenam materiais combustíveis, como palha, madeira e fibras) e na categoria CA2 quanto aos materiais de construção (edificações construídas principalmente com materiais combustíveis).

Esta característica torna qualquer evento de ignição, seja por arco elétrico, faísca ou aquecimento localizado, potencialmente perigoso, uma vez que a propagação de chamas em materiais secos e fibrosos ocorre com extrema rapidez. Logo, a ausência de sistemas fixos de detecção ou de extinção automática de incêndio agrava ainda mais o cenário de risco.

3.6.4 Ocupação e Uso

A Âtã será destinada a atividades educacionais, culturais e de visitação pública no âmbito da Universidade Federal de Mato Grosso. Estima-se uma ocupação média de 30 pessoas durante os períodos de visitação, incluindo estudantes, pesquisadores, membros da comunidade indígena Bakairi e visitantes externos. O tempo médio de ocupação da edificação foi estimado em 2.000 horas anuais, considerando aproximadamente 200 dias úteis de atividades com duração média de 10 horas diárias.

A natureza da edificação é exposta com aberturas limitadas, estrutura de difícil evacuação rápida, e público potencialmente não familiarizado com rotas de fuga introduz fatores agravantes relacionados à segurança das pessoas. Em emergências, a evacuação ordenada e rápida pode ser dificultada pelas características arquitetônicas tradicionais das construções.

3.6.5 Valor Patrimonial e Cultural

Além dos aspectos relacionados à segurança de pessoas e à continuidade de serviços, a Âtã Bakairi possui valor patrimonial e cultural inestimável. Trata-se da reconstrução de uma habitação tradicional do povo Bakairi, conforme descrições etnográficas históricas e conhecimentos tradicionais preservados pelos anciãos. A edificação materializa saberes ancestrais sobre técnicas construtivas, uso de materiais naturais e adaptação ao ambiente do cerrado.

A perda desta estrutura representaria não apenas um dano físico, mas a destruição de um registro tangível de conhecimento tradicional, um instrumento educacional único, e um símbolo de reconhecimento institucional da importância das culturas indígenas. A impossibilidade prática de substituição, dado que o conhecimento construtivo tradicional está em processo de resgate e documentação, eleva significativamente o valor da perda potencial.

3.6.6 Metodologia de Análise de Risco

A análise de risco da Âtã Bakairi foi conduzida em conformidade com a NBR 5419-2:2015, que estabelece o procedimento para gerenciamento de risco em estruturas devido a descargas atmosféricas. A norma estabelece que o gerenciamento de risco tem por objetivo determinar se uma estrutura necessita de proteção contra descargas atmosféricas e, em caso afirmativo, qual o nível de proteção adequado.

3.6.7 Tipos de Risco Analisados

Conforme a NBR 5419-2, foram analisados os seguintes componentes de risco:

- R1 Risco de perda de vida humana: Avalia a probabilidade de ferimentos ou morte de pessoas decorrentes de descargas atmosféricas na estrutura ou em suas proximidades. Este componente considera tanto os efeitos diretos (como o choque elétrico) quanto os indiretos (como o incêndio e o pânico).
- R2 Risco de perda de serviço ao público: Quantifica o risco de interrupção das atividades educacionais e culturais desenvolvidas na edificação, considerando o impacto sobre a comunidade universitária e o público em geral.
- R3 Risco de perda de patrimônio cultural: Componente específico para estruturas de valor histórico, artístico ou cultural insubstituível. Este é particularmente relevante para a Âtã Bakairi, dada sua unicidade e importância antropológica.
- R4 Risco de perda econômica: Este componente não foi analisado, pois a edificação não desenvolve atividades comerciais ou econômicas diretas.

3.6.8 Ferramenta de Cálculo

Para a execução dos cálculos, foi utilizado o software AltoQi Builder para implementação da metodologia de gerenciamento de risco estabelecida na NBR 5419-2. O AltoQi Builder automatiza os cálculos complexos envolvidos na determinação dos diversos componentes de risco, aplicando, de forma sistemática, as fórmulas e as tabelas normativas.

3.6.9 Parâmetros de Entrada

Os principais parâmetros utilizados na análise foram:

- Dimensões da estrutura: Largura (L): 7,21 m; Comprimento (W): 12,22 m; Altura da cobertura (H): 6 m; Área de implantação: 88,1062 m²; Forma: elipsoidal (aproximada por um retângulo equivalente).
- Características ambientais: Densidade de descargas atmosféricas (Ng): 10 descargas/km²/ano; Fator de localização (CD): 0,5 (estrutura cercada por objetos de altura semelhante); Frequência de dias com trovão (Td): 40 dias/ano.

- Características da estrutura: Tipo de superfície do piso (rt): terra batida/madeira (1×10^{-5}); Risco de incêndio (rf): estrutura combustível (fator elevado); Medidas de proteção contra incêndio (rp): sem proteção automática (1,0); Fator de perigo especial (hz): 2,0 (dificuldade de evacuação).
- Ocupação: Número de pessoas (nt): 30 pessoas; Tempo de permanência (tz): 2.000 horas/ano.
- Medidas de proteção avaliadas: Cenário 1 (sem proteção): Ausência de SPDA (PB = 1,0); Cenário 2 (com proteção): SPDA Nível III (PB = 0,05).

3.6.10 Resultados da Análise de Risco

Com base nas dimensões da edificação e na densidade de descargas atmosféricas da região, foram calculadas as seguintes frequências de eventos perigosos:

Área de exposição equivalente (Ad):

$$Ad = L \times W + 2 \times H \times (L + W) + \pi \times H^2 \quad (1)$$

$$Ad = (7,21 \times 12,22) + 2 \times 6 \times (7,21 + 12,22) + \pi \times 6^2$$

$$Ad = 88,11 + 233,16 + 113,10$$

$$Ad \approx 434,4 \text{ m}^2$$

Número anual de eventos perigosos devido a descargas na estrutura (ND):

$$ND = Ng \times Ad \times CD \times 10^{-6} \quad (2)$$

$$ND = 10 \times 434,4 \times 0,5 \times 10^{-6}$$

$$ND = 2,17 \times 10^{-3} \text{ eventos/ano}$$

$$ND \approx 1 \text{ evento a cada } 461 \text{ anos}$$

Número anual de eventos perigosos devido a descargas próximas à estrutura (NM):

$$Am \approx 0,805 \text{ km}^2$$

$$NM = Ng \times Am \times 10^{-6} \quad (3)$$

$$NM = 10 \times 0,805$$

$$NM \approx 8,05 \text{ eventos/ano}$$

Embora a frequência de descargas diretas seja relativamente baixa devido às dimensões reduzidas da edificação (cerca de 1 descarga direta a cada 461 anos), a frequência de descargas próximas, que podem induzir sobretensões nos sistemas elétricos, é significativa, com aproximadamente 8 eventos por ano.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos componentes de risco calculados para o cenário sem Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Tabela 3 - Componentes de Risco sem SPDA.

Componente	Descrição	Valor Calculado	Risco Tolerável	Avaliação
R1	Perda de vida humana	$4,2 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	INACEITÁVEL
RA	Ferimentos por tensão de toque (descarga na estrutura)	$2,2 \times 10^{-7}$	-	-
RB	Danos físicos (descarga na estrutura)	$2,2 \times 10^{-5}$	-	-
RC	Falha de sistemas internos (descarga na estrutura)	$2,2 \times 10^{-7}$	-	-
RM	Falha de sistemas (descarga próxima)	$1,0 \times 10^{-5}$	-	-
RU	Ferimentos (descarga na linha de energia)	$4,3 \times 10^{-6}$	-	-
RV	Danos físicos (descarga na linha de energia)	$3,5 \times 10^{-6}$	-	-
R2	Perda de serviço ao público	$2,1 \times 10^{-4}$	1×10^{-3}	ACEITÁVEL
R3	Perda de patrimônio cultural	$1,9 \times 10^{-4}$	1×10^{-4}	INACEITÁVEL

Fonte: AltoQi Builder (2025).

O componente R1 (perda de vida humana) apresentou um valor de $4,2 \times 10^{-5}$, o que é 4,2 vezes superior ao risco tolerável estabelecido pela norma (1×10^{-5}). Isto significa que, sem proteção contra descargas atmosféricas, o risco de ferimentos ou morte de pessoas por raios é inaceitável do ponto de vista normativo. O componente R2 (perda de serviço ao público) resultou em $2,1 \times 10^{-4}$, valor inferior ao limite tolerável de 1×10^{-3} , sendo, portanto, tecnicamente aceitável. O componente R3 (perda de patrimônio cultural) atingiu $1,9 \times 10^{-4}$, valor 1,9 vezes superior ao tolerável (1×10^{-4}), o que é inaceitável.

Já a Tabela 4 apresenta os resultados recalculados considerando a instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas de Nível de Proteção III.

Tabela 4 - Componentes de Risco com SPDA Nível III.

Componente	Descrição	Valor Calculado	Risco Tolerável	Avaliação
R1	Perda de vida humana	$2,1 \times 10^{-6}$	1×10^{-5}	ACEITÁVEL ✓
RA	Ferimentos por tensão de toque (descarga na estrutura)	$1,1 \times 10^{-8}$	-	-
RB	Danos físicos (descarga na estrutura)	$1,1 \times 10^{-6}$	-	-
RC	Falha de sistemas internos (descarga na estrutura)	$1,1 \times 10^{-8}$	-	-
RM	Falha de sistemas (descarga próxima)	$5,1 \times 10^{-7}$	-	-
RU	Ferimentos (descarga na linha de energia)	$2,2 \times 10^{-7}$	-	-
RV	Danos físicos (descarga na linha de energia)	$1,8 \times 10^{-7}$	-	-
R2	Perda de serviço ao público	$1,1 \times 10^{-5}$	1×10^{-3}	ACEITÁVEL ✓
R3	Perda de patrimônio cultural	$9,5 \times 10^{-6}$	1×10^{-4}	ACEITÁVEL ✓

Fonte: AltoQi Builder (2025).

Com a instalação do SPDA Nível III, o componente R1 foi reduzido para $2,1 \times 10^{-6}$, valor 20 vezes inferior ao calculado sem proteção e 4,8 vezes inferior ao limite tolerável. A redução de aproximadamente 95% no risco demonstra a eficácia do sistema de proteção contra descargas atmosféricas na preservação de vidas humanas. O componente R3, crítico para esta edificação, foi reduzido para $9,5 \times 10^{-6}$, valor 20 vezes inferior ao calculado sem proteção e 10,5 vezes inferior ao limite tolerável.

Por fim, a Tabela 5 apresenta uma síntese comparativa dos resultados, evidenciando o impacto da implementação do SPDA.

Tabela 5 - Comparação dos Cenários Analisados.

Tipo de Risco	Sem SPDA	Com SPDA NP III	Redução	Limite Tolerável
R1 (vida humana)	$4,2 \times 10^{-5}$ ✗	$2,1 \times 10^{-6}$ ✓	95,0%	1×10^{-5}
R2 (serviço público)	$2,1 \times 10^{-4}$ ✓	$1,1 \times 10^{-5}$ ✓	94,8%	1×10^{-3}
R3 (patrimônio cultural)	$1,9 \times 10^{-4}$ ✗	$9,5 \times 10^{-6}$ ✓	95,0%	1×10^{-4}

Fonte: AltoQi Builder (2025).

Legenda: ✗ = Risco inaceitável | ✓ = Risco aceitável

A análise comparativa demonstra que o SPDA Nível III reduz todos os componentes de risco em aproximadamente 95%, tornando-os aceitáveis conforme os critérios estabelecidos pela NBR 5419-2. Este resultado valida tanto a necessidade quanto a adequação do sistema de proteção dimensionado.

Logo, com base nos resultados do gerenciamento de risco, foi definido o Nível de Proteção III (NP III) para o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas da Âtã Bakairi.

3.6.11 Fundamentação Técnica

- I. Adequação ao tipo de estrutura: O Nível III é recomendado pela norma para estruturas residenciais, educacionais e culturais de importância média. A Âtã Bakairi enquadra-se nesta categoria, não sendo classificada como estrutura de extrema

criticidade (hospitais, centrais de emergência, instalações com explosivos), que exigem Níveis I ou II.

- II. Eficiência de proteção comprovada: Conforme demonstrado pelo gerenciamento de risco, o NP III proporciona redução de aproximadamente 95% dos componentes de risco, o que é suficiente para tornar todos os riscos aceitáveis, conforme os limites normativos. A eficiência global do SPDA Nível III situa-se entre 90% e 95%, o que atende plenamente às necessidades da edificação.
- III. Relação custo-benefício: Embora Níveis I e II ofereçam proteção ligeiramente superior, a diferença marginal de eficiência não justifica o acréscimo significativo de custos. O NP III oferece proteção robusta a custos razoáveis, tornando o projeto economicamente viável sem comprometer a segurança.
- IV. Viabilidade construtiva: O NP III permite a utilização de postes metálicos isolados com o método da esfera rolante, solução adequada para proteção de estrutura combustível. Níveis mais rigorosos exigiriam maior densidade de captores e descidas, dificultando a implementação sem interferir na arquitetura tradicional da Âtã.

3.6.12 Parâmetros do Nível de Proteção III

Conforme estabelecido pela NBR 5419-3, Tabela 6, o Nível de Proteção III possui os seguintes parâmetros:

Tabela 6 - Parâmetros Normativos do NP III.

Parâmetro	Valor NP III	Valor Adotado no Projeto
Raio da esfera rolante	45 m	20 m *
Ângulo de proteção (h = 15 m)	~35°	-
Largura da malha	15 m	-
Corrente mínima de descarga	10 kA	10 kA
Corrente máxima de descarga	100 kA	100 kA
Eficiência de proteção	90-95%	>95% *

Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015).

No projeto da Âtã Bakairi, foi adotado o raio da esfera rolante de 20 metros, valor mais rigoroso do que o mínimo estabelecido para NP III (45 metros). Esta escolha conservadora aumenta a eficiência de proteção para níveis próximos ao Nível II, proporcionando uma margem adicional de segurança sem os custos associados à classe superior.

3.6.13 Subsistema de Captação

Método de dimensionamento: Esfera rolante (método eletrogeométrico) com raio de 20 metros.

Elementos captores: Captores Franklin (pontas) em latão cromado; Modelo: TEL-010; Quantidade: 2 unidades (uma por poste); Altura: 15 m acima do nível do solo; Posicionamento: topos dos postes metálicos galvanizados tipo telescópico.

Volume de proteção:

$$r_0 = \sqrt{(2 \times R \times h - h^2)} = \sqrt{(2 \times 20 \times 15 - 15^2)} = \sqrt{375} \approx 19,4 \text{ m} \quad (4)$$

Com dois postes posicionados adequadamente, o volume de proteção cobre integralmente a projeção da Âtã ($12,22 \text{ m} \times 7,21 \text{ m}$), garantindo que nenhuma descarga direta atinja a estrutura de palha.

3.6.14 Subsistema de Descidas

Condutores de descida em cabo de cobre nu de 50 mm^2 , quantidade: 2 descidas (uma por poste), traçado retilíneo e vertical, com fixação em fixadores universais de SPDA estanhados integrados aos postes. As descidas são integradas à estrutura dos postes metálicos, com isolamento galvânica total da edificação (sem contato com elementos combustíveis) e distância de segurança da Âtã de $\geq 2 \text{ m}$.

3.6.15 Subsistema de Aterramento SPDA Isolado

Configuração por poste: hastes de cobre $5/8" \times 3,0 \text{ m}$, quantidade: 3 hastes por poste, arranjo triangular com 3 m de espaçamento entre hastes, interligação por cabo de cobre nu de 35 mm^2 (solda exotérmica). A interligação entre postes utiliza cabo de cobre nu de 35 mm^2 enterrado a 0,6 m de profundidade, traçado afastado 3 m da projeção da Âtã, com o objetivo de equalização de potencial entre os dois aterramentos do SPDA. A resistência de terra estimada (com 6 hastes interligadas) é de 38Ω , meta $\leq 10 \Omega$.

3.6.16 Subsistema de Aterramento Instalação Elétrica (TN-S)

O esquema de aterramento adotado é o TN-S (Terra-Neutro Separado). O eletrodo de aterramento está localizado junto ao Quadro de Distribuição Geral (QDG), externo à Âtã, com hastes de cobre $5/8" \times 3,0 \text{ m}$, quantidade: 3 hastes em arranjo triangular (3 m de espaçamento), afastamento do aterramento do SPDA de $\geq 5 \text{ m}$ (conforme NBR 5419-3). O condutor de proteção (PE) possui seção de 16 mm^2 (cobre isolado verde/amarelo), distribuído para todos os circuitos da instalação e conectado ao eletrodo de aterramento exclusivo da instalação elétrica.

3.6.17 Separação Entre Sistemas de Aterramento

O projeto adota dois sistemas de aterramento totalmente independentes, não interligados, composto por aterramento do SPDA isolado (nos postes metálicos) e aterramento da instalação elétrica TN-S (no QDG), com distância de separação mínima de 5 m (conforme NBR 5419-3, Anexo E). Esta configuração evita que correntes de descarga atmosférica (dezenas de kA) circulem pelos circuitos elétricos internos, preserva a isolamento do SPDA, mantendo as correntes de descargas afastadas da estrutura combustível, e é complementada pela proteção do DPS Classe II no QDG.

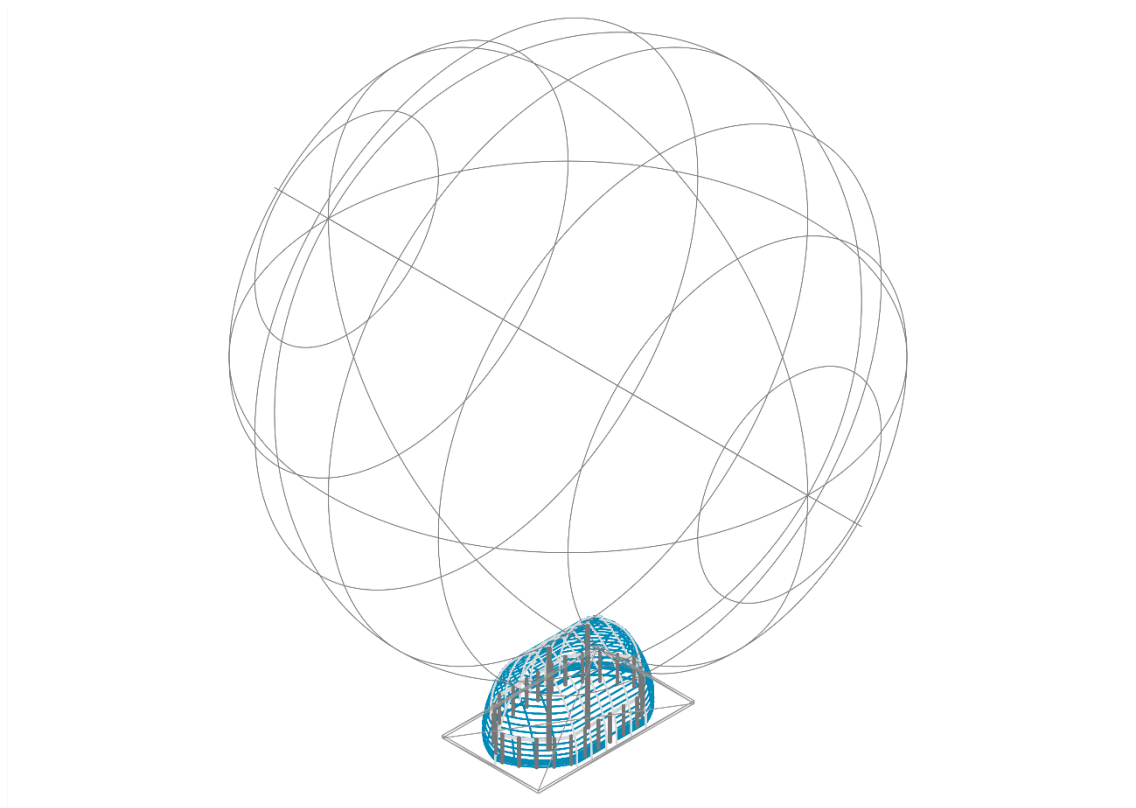
3.6.18 Síntese da Análise de Risco

Na ausência de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), os riscos associados à perda de vida humana (R1) e à perda de patrimônio cultural (R3) ultrapassam significativamente os limites toleráveis definidos em norma, atingindo valores 4,2 e 1,9 vezes superiores, respectivamente. Dessa forma, a implementação do SPDA torna-se obrigatória. Com a adoção de um SPDA classificado no Nível de Proteção III, observa-se uma redução aproximada de 95% em todos os componentes de risco, que passam a se enquadrar nos critérios aceitáveis estabelecidos pelas normas técnicas. Além disso, a utilização de um raio de esfera rolante de 20 metros, mais rigoroso que o padrão de 45 metros para esse nível de proteção aliada a um sistema de aterramento robusto composto por seis hastes interligadas, proporciona uma margem adicional de segurança ao sistema. O projeto atende integralmente aos requisitos da NBR 5419:2015 (partes 1, 2, 3 e 4), assegurando níveis adequados de proteção. Os valores obtidos demonstram elevada eficiência: o risco à vida humana (R1) é de $2,1 \times 10^{-6}$, cerca de

cinco vezes inferior ao limite tolerável. Já o risco à continuidade das atividades (R2) é de $1,1 \times 10^{-5}$, aproximadamente 91 vezes inferior, e o risco ao patrimônio cultural (R3) é de $9,5 \times 10^{-6}$, cerca de 10,5 vezes inferior ao limite admissível. Por fim, a solução adotada considera características específicas da estrutura, utilizando um SPDA isolado, instalado em postes externos, e um sistema de aterramento independente da instalação elétrica, no esquema TN-S. Essa configuração é tecnicamente a mais adequada para edificações com materiais combustíveis, pois evita a circulação de correntes de descarga nas proximidades ou por meio de elementos como palha, madeira e fibras vegetais.

A Figura 6 apresenta a visão isométrica do modelo tridimensional obtida pelo método das esferas rolantes.

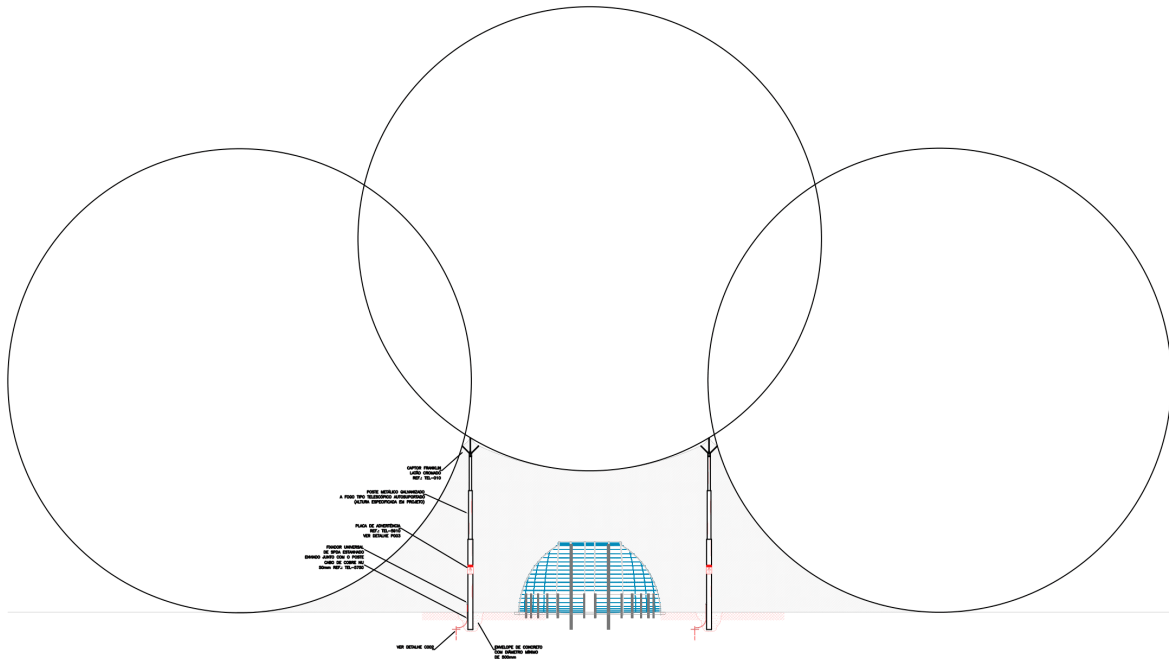
Figura 6 - Visão isométrica de uma das esferas impostas durante o desenvolvimento do SPDA pelo método das esferas rolantes.



Além do mais, ela nos apresenta a projeção em planta da Oca Bakairi, rodeado através de uma esfera de 20 metros se comparada a a área de implantação da Âtã ($12,22 \text{ m} \times 7,21 \text{ m}$).

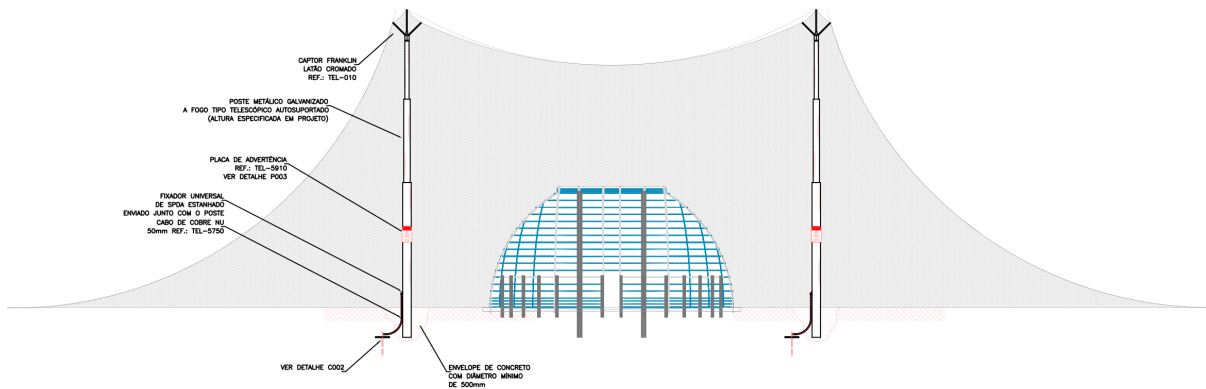
A representação final do método das esferas rolantes, conforme a Figura 7, sintetiza o resultado do dimensionamento e evidencia a área de proteção efetiva obtida com a configuração adotada de dois postes com captadores Franklin a 15 m de altura e raio de esfera de 20 m.

Figura 7 - Representação final do método das esferas rolantes.



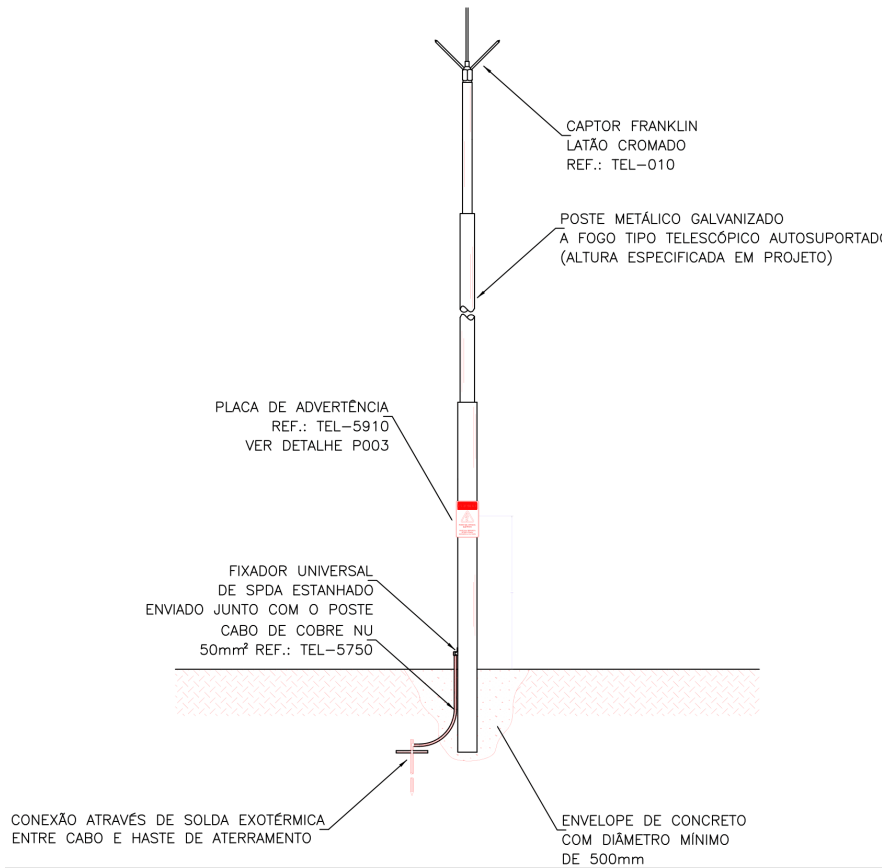
A Figura 8 apresenta uma aproximação da Oca Bakairi, permitindo visualizar, com maior detalhamento, a relação entre a envoltória de proteção do SPDA e o contorno da cobertura de palha da Âtã, destacando a margem de segurança obtida.

Figura 8 - Aproximação na Oca Bakairi para observação da área protegida pelo SPDA isolado.



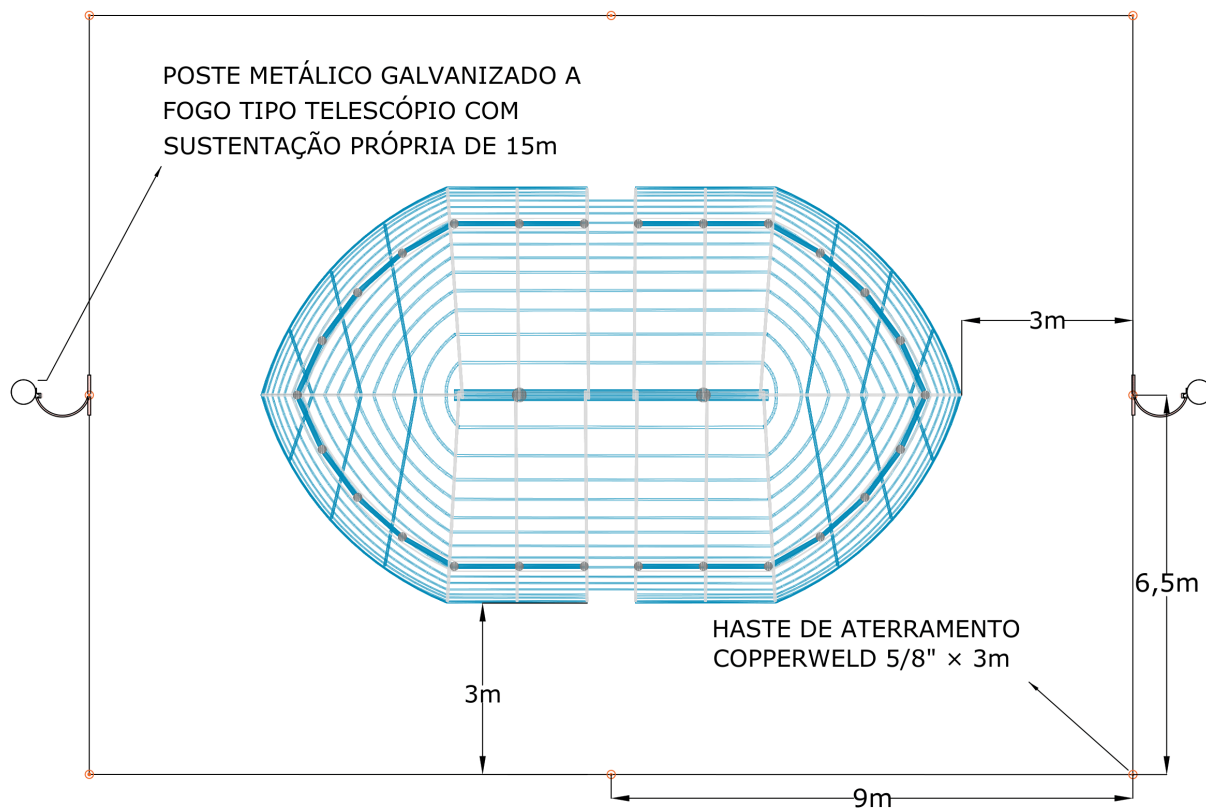
O detalhamento construtivo do poste telescópico galvanizado de 15 metros está representado na Figura 9, com indicação dos elementos de fixação, condutores de descida e afastamento mínimo da estrutura combustível.

Figura 9 - Detalhamento do poste telescópico de 15 metros utilizado na elaboração do SPDA.



Por fim, a Figura 10 ilustra a configuração da malha de aterramento do SPDA, composta por seis hastes de cobre dispostas em arranjo triangular junto a cada poste e interligadas por cabo de cobre nu, mantendo-se afastamento mínimo de 3 m da projeção da Âtã e separação de 5 m em relação ao aterramento da instalação elétrica.

Figura 10 - Representação da malha de aterramento interligada ao SPDA isolado.



3.7 Quadro de distribuição e alimentação

A edificação será alimentada por ramal derivado da rede interna do campus. O quadro de distribuição foi dimensionado com capacidade de expansão futura e invólucro de material não propagante de chama, com grau de proteção adequado ao ambiente. Sua posição foi definida para minimizar o comprimento dos circuitos e maximizar o afastamento de elementos combustíveis, reduzindo a extensão dos percursos de condutores expostos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido demonstra que certos objetos de estudo, como o exposto anteriormente no texto, impõem um conjunto de decisões técnicas que se afasta dos projetos convencionais. Cada camada de proteção adotada responde a uma falha específica que os dispositivos das demais camadas não são capazes de interceptar:

- Os disjuntores termomagnéticos protegem contra sobrecargas e curtos-circuitos de alta corrente, mas não detectam arcos de baixa corrente nem correntes de fuga de magnitude intermediária;
- O IDR de 300 mA cobre essa faixa de risco de ignição, mas não detecta falhas por arco elétrico em circuitos sem corrente de fuga significativa;
- O AFDD é o único dispositivo capaz de identificar arcos série e paralelo em conexões degradadas o modo de falha mais provável em instalações aparentes expostas ao longo do tempo;
- O DPS protege contra a degradação progressiva do isolamento causada por surtos, que poderia comprometer silenciosamente a eficácia de todas as demais camadas.

A seleção do eletroduto PEAD e dos condutores LSZH adiciona uma camada de proteção passiva: mesmo em caso de incêndio de outra origem, a instalação elétrica não se torna fonte adicional de propagação nem de gases tóxicos.

Do ponto de vista normativo, o projeto evidencia que a NBR 5410:2008, embora forneça os critérios de classificação adequados para esse tipo de edificação, não oferece diretrizes específicas sobre como compatibilizar os métodos de instalação com estruturas integralmente combustíveis. A solução adotada instalação aparente com PEAD, afastamento dos combustíveis e proteção multicamadas é uma interpretação técnica fundamentada nos princípios gerais da norma, não uma prescrição direta dela.

A norma fornece o diagnóstico, mas o projeto de engenharia precisa desenvolver a capacidade analítica que exige conhecimento técnico aprofundado e interpretação fundamentada, não apenas cumprimento de tabelas.

Isto posto, o cenário mencionado anteriormente sobre a contribuição da Rede Energia e Comunidades reforça a relevância do presente projeto como referência metodológica para futuros projetos de eletrificação em edificações tradicionais brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é um dos produtos do projeto de extensão tecnológica aprovado no EDITAL PROCEV/UFMT Nº 17/EXT/2024 FLUXO CONTÍNUO DE AÇÕES DE EXTENSÃO 2024-2028, homologado sob o protocolo nº 170720251536591474 e registrado sob o nº 3.050.052, intitulado “Capacitação Tecnológica Integrada e Modernização Infraestrutural: Sistemas Elétricos de Média Tensão e Videomonitoramento no Campus da UFMT”, cujo escopo contempla a ampliação e modernização da rede de média tensão e do sistema de segurança eletrônica da Universidade Federal de Mato Grosso.

5. REFERÊNCIAS

Normas Técnicas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 7671:2018+A2:2022: Requirements for Electrical Installations – IET Wiring Regulations**. 18. ed. London: BSI, 2022.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60364-1:2005: Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, determination of general characteristics**. Geneva: IEC, 2005.

Livros

AGOSTINHO, P. **Kwaríp: mito e ritual no Alto Xingu**. São Paulo: EPU/Edusp, 1974.

COSTA, M. H. F.; MALHANO, H. B. **A habitação indígena brasileira**. In: SUMA Etnológica Brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro: Vozes/FINEP, 1987. v. 2.

STEINEN, K. von den. **Entre os aborígenes do Brasil Central**. São Paulo: Departamento de Cultura, 1940. (Separata da Revista do Arquivo, n. XXXIV e LVIII.)

STEINEN, K. von den. **O Brasil Central: expedição de 1884 para exploração do Xingu**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1942. (Brasiliana, Série Extra, v. 3. Trad. Catarina Barata Canabrava.)

Teses e Dissertações

ALHO, G. G. R. **Três casas Povos originários brasileiros: pesquisa arquitetônica sobre a casa em três grupos: Tukano, Tapirapé e Rankokamekra**. 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1985.

BARROS, E. P. de. **História e cosmologia na organização social de um povo Karíb: os Bakairí**. 1992. 504 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

COSTA, C. Z. **Habitação guarani: tradição construtiva e mitologia**. 1989. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

PORTOCARRERO, J. A. B. **Báí, a casa Bóe: a casa Bororo uma história da morada dos índios Bororo**. 2001. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2001.

Artigos em Revistas Científicas

ALTENFELDER SILVA, F. **O Estado de Uanki entre os Bakairí**. *Sociologia*, São Paulo, v. XII, n. 3, p. 259-271, 1950.

LEMES, D. dos S.; ALBUQUERQUE, F. P. de; SOUZA, D. F. de. **Incêndios de origem elétrica em estabelecimentos comerciais no Brasil: análise das causas, perfis e estratégias de prevenção**. *Engineering and Science*, v. 14, n. 3, 2025. DOI: 10.18607/ES20251420031.

RACHTER, L.; ROCHA, R. **Eletrificação rural, eletrodomésticos e oferta de trabalho feminino: evidência para o Brasil**. *Revista Brasileira de Economia*, v. 76, n. 1, p. 92-134, jan. 2022.

SOUZA, D. F. de et al. **An analysis of accidents of electrical origin in Brazil between 2016 and 2021**. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 59, n. 3, p. 3151-3160, maio/jun. 2023. DOI: 10.1109/TIA.2023.3241138.

Artigos em Anais de Congresso

GENTILE, P.; MAZZARO, M.; TURTURICI, C. **Fire safety criteria in electrical installations design**. In: IEEE ELECTRICAL SAFETY WORKSHOP, 2017. Anais [...]. [S. l.]: IEEE, 2017. p. 1-8. DOI: 978-1-5386-3917-7.

HNATIUC, B.; TURCU, F.; TIRON, V. C.; HNATIUC, M. **Detection of electric arc faults by Arc Fault Detection Devices**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON ELECTRICAL AND POWER ENGINEERING, 2022, Iași. Anais [...]. [S. l.]: IEEE, 2022. p. 239-244. DOI: 10.1109/EPE56121.2022.9959773.

SILVA, J. P. K. et al. **Analysis of electrical fires in Brazil**. In: IEEE ELECTRICAL SAFETY WORKSHOP BRASIL, 12., 2025, São Paulo. Anais [...]. [S. l.]: IEEE, 2025. DOI: 10.1109/ESWBrazil64921.2025.11277449.

Documentos Institucionais e Relatórios

INSTITUTO SPRINKLER BRASIL. **Estatísticas de incêndios estruturais no Brasil**. São Paulo: ISB, 2022. Disponível em: <https://sprinklerbrasil.org.br>. Acesso em: jan. 2026.

MARTINHO, E.; SOUZA, D. F. de; MARTINHO, M. B.; MARTINS JÚNIOR, W. A.; MORITA, L. H. M.; MAIONCHI, D. de O. (org.). **Anuário estatístico de acidentes de origem elétrica 2024: ano base 2023**. Salto: Abracopel, 2023. DOI: 10.29327/5388685.

MARTINHO, E.; SOUZA, D. F. de; MARTINHO, M. B.; MORITA, L. H. M.; MAIONCHI, D. de O. (org.). **Anuário estatístico de acidentes de origem elétrica 2025: ano base 2024**. Salto: Abracopel, 2025.

MARTINHO, E.; MARTINS JUNIOR, W. A.; MORITA, L. H. M.; ALBUQUERQUE, F. P. de; SOUZA, D. F. de. **Panorama das instalações elétricas residenciais brasileiras**. Salto: Abracopel, 2025. DOI: 10.29327/5636379.

REDE ENERGIA E COMUNIDADES. **Contribuição da Rede Energia & Comunidades ao Encontro de Monitoramento do Programa Luz Para Todos no Xingu**. [S.l.]: REC, 2025.

UNESCO. **Fire risk management guide: protecting cultural and natural heritage from fire**. Paris: UNESCO, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO. Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. **Projeto de extensão: Arquitetura indígena e tecnologia construtiva**. Cuiabá, set. 2025.

Documentos Governamentais

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Luz para todos beneficiou cerca de 30 mil Povos originários brasileiros do Brasil desde agosto de 2023**. Brasília: MME, abr. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme>. Acesso em: jan. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT). **Nova rede de dados permite registro mais preciso de raios**. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4603. Acesso em: jan. 2026.

Manuais e Softwares

ABB. **AFDD S-ARC1 and DS-ARC1 Technical Guide**. Zurich: ABB, 2023. Disponível em: <https://www.abb.com>. Acesso em: jan. 2026.

ALTOQI. **AltoQi Builder 2025 Premium: manual do usuário**. Florianópolis: AltoQi, 2025.

AUTODESK. **AutoCAD LT 2026**. São Rafael, CA, 2025. 1 software. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br>. Acesso em: 1 abr. 2026.

GRAPHISOFT. **Archicad 27**. Budapest: Graphisoft, 2023. Disponível em: <https://www.graphisoft.com>. Acesso em: 2025.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS DA PESQUISA:

O conjunto de dados de apoio estão contidos no próprio manuscrito.

FINANCIAMENTO: O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso, através do projeto de extensão tecnológica aprovado no EDITAL PROCEV/UFMT N° 17/EXT/2024 FLUXO CONTÍNUO DE AÇÕES DE EXTENSÃO 2024-2028, homologado sob o protocolo n° 170720251536591474 e registrado sob o n° 3.050.052.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES: **João Pedro Arruda Miranda**, responsável por: Conceitualização; Curadoria de Dados; Investigação; Administração do Projeto; Visualização; Escrita (rascunho original); Escrita (revisão e edição). **Jefferson Leone e Silva**, por: Administração do Projeto; Recursos; Supervisão; Validação; Escrita (revisão e edição). **Guilherme Alexandre Soares da Silva**, por: Supervisão. **Dorcas Florentino de Araújo**, por: Curadoria de Dados; Validação; Visualização; Escrita (revisão e edição). **Valeria Shirley Orth de Jesus**, por: Validação; Visualização; Escrita (revisão e edição). **Danilo Ferreira de Souza**, por: Conceitualização; Metodologia; Administração do Projeto; Supervisão; Validação; Visualização; Escrita (rascunho original); Escrita (revisão e edição).

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE: O autor declara não haver conflitos de interesse.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.