

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO FINAL DE CURSO

Fellipe Furquim Oliveira

**ANÁLISE DOS ASPECTOS CONSTRUTIVOS NA IMPLANTAÇÃO DE REDES
ELÉTRICAS DE MÉDIA TENSÃO EM ÁREAS RURAIS**

Projeto Final de Curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica
apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – Orientador. PUC Goiás.
Prof. Me. Luís Fernando Pagotti – Avaliador. PUC Goiás.
Prof. Me. Carlos Alberto Vasconcelos Bezerra – Avaliador. PUC Goiás.

Goiânia, 11 de junho de 2026.

Análise dos Aspectos Construtivos na Implantação de Redes Elétricas de Média Tensão em Áreas Rurais

Oliveira F.F. Autor. MEDEIROS. A. M. M., Orientador. PAGOTTI. L. F., Avaliador. BEZERRA. C. A. V., Avaliador. *Escola Politécnica e de Artes, PUC Goiás.*

Abstract — This paper analyzes the constructive aspects involved in the implementation of low and medium electrical voltage networks in rural areas, by using, as a case study, the construction of a 34.5 kV distribution line to supply a center-pivot irrigation system at Fazenda Monte Alegre Pindaibas, located in the rural area of Rio Verde, Goiás, Brazil. This study describes in detail the main construction stages — staking, excavation, pole installation, hardware assembly, conductor stringing, equipment installation, and grounding system execution — evaluating conformity with the ABNT technical standards and Equatorial Energia Goiás specifications. The selected conductor was CAA 4/0 AWG (ACSR), and the calculated voltage drop along the 5 km line was 0.18%, well within the $\pm 5\%$ limit established by ANEEL PRODIST Module 8. The protection coordination study confirmed selective operation between the consumer substation relay (PEXTRON URPE 7104T) and the utility recloser (COOPER-FORM6). The grounding mesh design resulted in touch and step voltages of 52.35 V and 25.00 V, respectively, both significantly below the normative limits of 649 V and 2.104 V. The results demonstrate that rigorous technical compliance and careful construction planning are decisive factors for the reliability and safety of rural electrical infrastructure.

Index Terms—Rural electrical networks; medium voltage distribution; conductor CAA 4/0 AWG; voltage drop; protection coordination; grounding system; irrigation systems

I. RESUMO

O presente trabalho analisa os aspectos construtivos envolvidos na implantação de redes elétricas de média e baixa tensão em áreas rurais, tendo como estudo de caso a construção de uma linha de distribuição de 34,5 kV destinada ao atendimento de um sistema de irrigação por pivô central na Fazenda Monte Alegre Pindaibas, localizada na zona rural do município de Rio Verde, Goiás. A pesquisa, de caráter aplicado e descritivo, foi desenvolvida a partir da análise de documentos técnicos, visitas de campo e levantamento das normas vigentes. O estudo descreve detalhadamente as etapas construtivas executadas — locação, escavação, posteamento, montagem de estruturas, lançamento de condutores, instalação de equipamentos e execução do sistema de aterramento — avaliando sua conformidade com as normas da ABNT e com os padrões técnicos da Equatorial Energia Goiás. O condutor adotado foi o CAA 4/0 AWG (ACSR), com queda de tensão calculada de 0,18% ao longo dos 5 km da linha, valor significativamente inferior ao limite de $\pm 5\%$ estabelecido pelo Módulo 8 do PRODIST/ANEEL. O estudo de coordenação e seletividade, desenvolvido no software ETAP®, confirmou a atuação hierarquizada do relé PEXTRON URPE 7104T em relação ao religador COOPER-

FORM6 da concessionária, garantindo seletividade em todos os cenários de falta simulados. O dimensionamento da malha de aterramento, realizado com o software CEPTEL conforme as normas ABNT NBR 15749 e NBR 15751, resultou em tensões de toque e de passo de 52,35 V e 25,00 V, respectivamente, ambas expressivamente inferiores aos limites normativos de 649 V e 2.104 V. Os resultados demonstram que o planejamento técnico criterioso e a conformidade construtiva com as normas vigentes são fatores determinantes para a segurança, a confiabilidade e a viabilidade operacional de sistemas de fornecimento de energia elétrica em áreas rurais.

Palavras-chave: redes elétricas rurais; distribuição de média tensão; condutor CAA 4/0 AWG; queda de tensão; coordenação de proteção; malha de aterramento; irrigação por pivô central.

II. INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha papel fundamental no desenvolvimento social e econômico, sendo indispensável para atividades produtivas, serviços essenciais e melhoria da qualidade de vida da população [1]. No contexto brasileiro, a expansão do sistema elétrico nas últimas décadas permitiu ampliar o atendimento em áreas urbanas e rurais, promovendo a inclusão energética e o crescimento regional [2]. Nesse contexto, as redes de distribuição desempenham uma função estratégica, pois são responsáveis por fornecer energia elétrica ao consumidor final [1].

As redes de distribuição em áreas rurais apresentam características específicas que as diferenciam das redes urbanas. Destacam-se, entre essas particularidades, as grandes extensões de alimentadores, a baixa densidade de carga, a dispersão das unidades consumidoras e as diversas condições geográficas, incluindo terrenos acidentados e de difícil acesso [3][4]. Esses fatores influenciam diretamente os critérios de projeto e, sobretudo, as etapas de implantação da infraestrutura elétrica.

A implantação de redes elétricas de média e baixa tensão em áreas rurais envolve múltiplas etapas construtivas, incluindo a locação de estruturas, escavação e instalação de postes, montagem de ferragens, lançamento e tensionamento dos condutores, instalação de transformadores e execução do sistema de aterramento [5][6]. A execução adequada dessas atividades é fundamental para assegurar a segurança dos trabalhadores, a conformidade com as normas técnicas vigentes e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

Portanto, é relevante analisar os aspectos construtivos envolvidos na implantação de redes elétricas rurais, considerando as exigências técnicas e normativas aplicáveis. A avaliação das práticas adotadas em campo pode permitir

identificar desafios, propor melhorias e contribuir para a otimização dos processos de execução.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os aspectos construtivos na implantação de redes elétricas de média e baixa tensão em áreas rurais, utilizando como estudo de caso a construção de uma rede destinada especificamente ao atendimento de um pivô de irrigação do cliente "Sementes Goiás", situado a aproximadamente 50 km do município de Rio Verde, Goiás. O estudo descreve detalhadamente as etapas de execução da obra, verificará a conformidade com os critérios técnicos estabelecidos e avaliará os principais desafios enfrentados durante a implantação, ressaltando a importância da energia elétrica para atividades agrícolas essenciais, como a irrigação mecanizada.

A relevância deste estudo está relacionada à adequada execução das redes de distribuição, a fim de garantir a qualidade, a segurança e a continuidade no fornecimento de energia elétrica em áreas rurais. Ademais, o trabalho contribui academicamente ao integrar fundamentos teóricos e aplicação prática, aproximando o conhecimento técnico da realidade de campo observada na construção de redes elétricas [7].

III. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e caráter descritivo, desenvolvida a partir de um estudo de caso. A escolha por essa modalidade se justifica pela natureza do objeto de estudo: uma situação real, específica e contextualizada, que demanda análise detalhada das práticas construtivas adotadas em campo e sua conformidade com as normas técnicas vigentes.

A área de estudo corresponde a uma linha de distribuição de energia elétrica em média tensão, localizada na zona rural do município de Rio Verde – GO, destinada ao atendimento de uma unidade consumidora voltada à atividade agrícola. A rede opera em nível de tensão de 34,5 kV, possui extensão aproximada de 5 km e é derivada do sistema de distribuição da Equatorial Energia Goiás. O traçado geográfico da rede foi obtido no *Google Earth Pro*, conforme apresentado na Figura 1, que ilustra o percurso da linha e os principais pontos de referência da região.

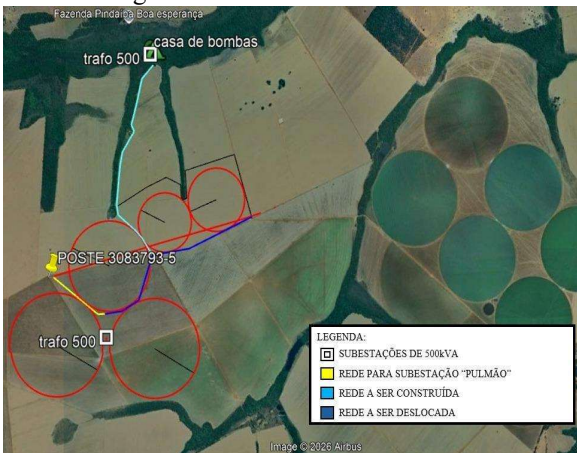


Figura 1. Percurso da linha e pontos de referência da região.
Fonte: [24] Google Earth Pro 2026.

A coleta de dados foi conduzida por meio de três frentes complementares. A primeira consistiu na análise de

documentos técnicos disponibilizados pela empresa executora da obra, entre eles, o projeto elétrico aprovado pela concessionária, o memorial descritivo e a lista de materiais. A segunda frente envolveu observações diretas realizadas durante as visitas técnicas à obra, nas quais foi possível acompanhar as diferentes etapas de execução e registrar informações relevantes por meio de fotografias. A terceira frente baseou-se no levantamento das normas técnicas aplicáveis, com destaque para as normas da ABNT, como a NBR 14039, e os padrões técnicos da Equatorial Energia Goiás, em especial as publicadas pela ABNT e os padrões exigidos pela Equatorial Energia Goiás.

O desenvolvimento do estudo seguiu uma sequência lógica de etapas. Inicialmente, foram levantadas as características técnicas da rede e realizada a leitura detalhada do projeto elétrico, o que permitiu compreender a concepção estrutural do sistema antes mesmo de adentrar as discussões sobre a execução. Na sequência, foram descritas as fases construtivas da obra, incluindo a locação das estruturas, a escavação e a instalação dos postes, a montagem das ferragens, o lançamento e o tensionamento dos condutores, a instalação de equipamentos e a execução do sistema de aterramento. A Tabela 1 apresenta, de forma sistematizada, a sequência dessas etapas e os principais elementos envolvidos em cada uma delas.

TABELA I
ETAPAS DO PROCESSO DE APROVAÇÃO E CONEXÃO

Etapa	Descrição	Principais Elementos
Levantamento de carga	Cálculo da Rede	Potência do pivô
Dimensionamento	Cálculo da Rede	Condutores, estruturas
Projeto elétrico	Elaboração técnica	Planta Elétrica, Estudo de Proteção
Aprovação	Validação	Concessionária
Orçamento	Custo de conexão	Taxas e materiais

Fonte: Elaborada pelo o autor (2026).

Por fim, foi realizada uma análise crítica da execução da rede à luz dos critérios técnicos, normativos e de segurança do trabalho, com o propósito de identificar eventuais não conformidades, desafios identificados ao longo da implantação e possíveis oportunidades de melhoria nos processos construtivos adotados.

IV. DESENVOLVIMENTO

A. Caracterização do Empreendimento

O estudo de caso objeto deste trabalho abrange a implantação de uma rede de distribuição de energia elétrica em média tensão, destinada ao atendimento de um sistema de irrigação por pivô central localizado na zona rural do município de Rio Verde, no estado de Goiás [12].

A finalidade da rede é o fornecimento de energia elétrica em tensão primária de 34,5 kV para alimentação de duas subestações de distribuição: uma destinada ao sistema de captação de água e outra ao abastecimento do reservatório de armazenamento, cada qual responsável por suprir a carga associada ao respectivo equipamento de irrigação. A demanda energética de sistemas desta natureza é expressiva e

requer fornecimento contínuo e confiável durante os períodos de safra, tornando a qualidade construtiva da linha um fator crítico para a viabilidade operacional do empreendimento [13].

A rede deriva diretamente do sistema de distribuição da Equatorial Energia Goiás, concessionária responsável pelo serviço público de distribuição de energia elétrica no estado [14]. O ponto de conexão ao sistema da concessionária é o poste de número cadastral 30837935, localizado nas coordenadas UTM 22K 511608 / 8076866, a partir do qual se origina um ramal em estrutura N4, com dupla ancoragem, garantindo a robustez mecânica necessária ao ponto de saída da linha [15]. A extensão total da rede projetada é de aproximadamente 5 km até o ponto de entrega mais distante.

B. Descrição do Projeto Elétrico

A concepção do projeto elétrico partiu de uma análise das condições locais, das características da carga a ser atendida e dos requisitos técnicos estabelecidos pela Equatorial Energia Goiás. O processo foi conduzido por engenheiro eletricitista legalmente habilitado, com a elaboração de documentação técnica completa, incluindo memorial descritivo, memorial de cálculo, planilha de materiais, diagrama unifilar, planta planimétrica georreferenciada e demais documentos exigidos para a instrução do processo junto à concessionária [16].

A tensão nominal adotada para a rede é de 34,5 kV (quilovolts), valor padronizado pela concessionária para redes rurais de média tensão na região de concessão [15]. Tal escolha oferece vantagens, como a redução de perdas técnicas ao longo do percurso (energia dissipada durante o transporte) e maior capacidade de transmissão de potências elevadas, devido à menor corrente de linha (fluxo de elétrons nos fios). Em um contexto rural, em que as extensões são consideráveis, operar em 34,5 kV revela-se uma solução tecnicamente adequada e economicamente racional [17].

O traçado da linha foi definido com base em levantamento topográfico e na consulta ao sistema de licenciamento da concessionária, visando minimizar interferências com áreas de preservação permanente, corpos d'água e demais restrições ambientais, aproveitando ao máximo as divisas das propriedades rurais [18]. Os critérios técnicos adotados observaram as normas da ABNT pertinentes e os cadernos de especificação da Equatorial Energia Goiás, com verificação da queda de tensão dentro dos limites do módulo 8 do PRODIST/ANEEL, da capacidade de corrente dos condutores e da coordenação dos dispositivos de proteção [13].

O condutor escolhido para a rede é o CAA 4/0 AWG (condutor de alumínio com alma de aço, denominação internacional ACSR). Ele possui seção de alumínio de 107,2 mm² e alma de aço de 12,7 mm², totalizando 119,9 mm² de seção nominal. A bitola foi definida com base em critérios elétricos e mecânicos. Do lado elétrico, tem resistência CA a 50 °C de 0,302 Ω/km e capacidade de condução de corrente de aproximadamente 280 A. Isso atende à demanda da rede, cuja corrente máxima calculada é de 16,74 A, para uma potência total instalada de 500 kVA. Do lado mecânico, a alma de aço garante resistência à tração para suportar vãos de até 110 metros, sendo compatível com as cargas mecânicas calculadas no memorial do projeto [4][10]. A verificação da queda de tensão foi realizada por meio da equação trifásica

aproximada. O fator de potência adotado é 0,92, valor típico para cargas de irrigação com motores de indução. A reatância indutiva é de 0,377 Ω/km, o que corresponde a linhas aéreas rurais de média tensão. A corrente de linha é determinada pela expressão:

$$I = \frac{S}{(\sqrt{3} * Vn)} = A$$

$$I = \frac{1.000.000}{(1,732 * 34.500)} = 16,74 A$$

A queda de tensão absoluta ao longo dos 5km da linha é calculada por:

$$\Delta V = \sqrt{3} * I * L * (r * \cos\phi + x * \sin\phi)$$

$$\Delta V = 1,732 * 16,74 * 5 * (0,302 * 0,92 + 0,377 * 0,39) \approx 61,6 V$$

Resultado em queda percentual de:

$$\Delta V\% = \left(\frac{61,6}{34.500} \right) * 100 = 0,18\%$$

O valor obtido é significativamente inferior ao limite de ±5% estabelecido pelo Módulo 8 do PRODIST/ANEEL para redes de distribuição de média tensão em condição normal de operação [13], confirmando a adequação técnica do condutor selecionado e a qualidade de tensão no ponto de entrega das subestações de acordo com a figura 2.

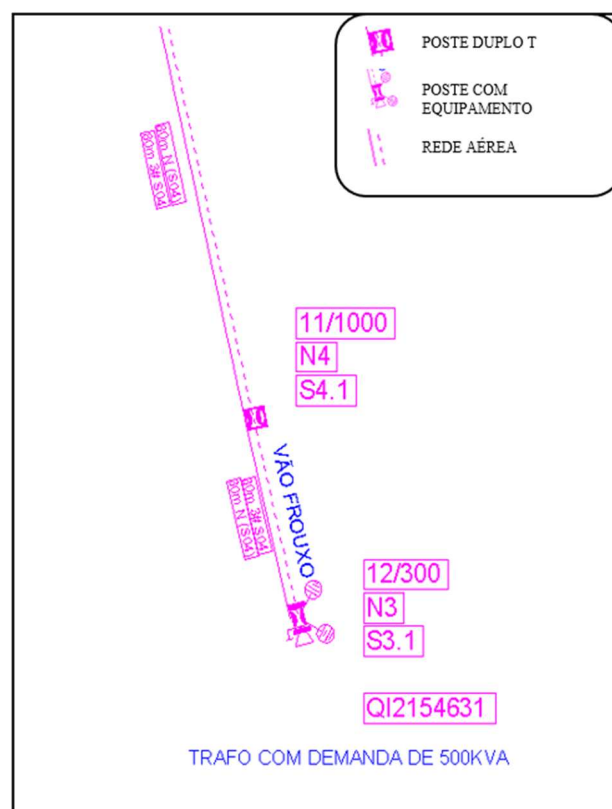


Figura 2. Projeto da rede aprovada pela Equatorial.
Fonte: Arquivos do Autor (2026)

O processo de aprovação seguiu os trâmites regulamentares para acesso ao sistema de distribuição. A concessionária analisou a conformidade com seus padrões e elaborou o orçamento de conexão, incluindo os custos e as condições de fornecimento. A aprovação foi formalizada, com autorização para o início das obras, condicionada ao

cumprimento das especificações do projeto aprovado [1].

A rede foi concebida na configuração radial simples, conforme apresentado na Figura 3, solução usual em redes rurais de distribuição devido à sua simplicidade operacional e ao menor custo de implantação [17]. Para garantir condições mecânicas adequadas dos condutores e distâncias de segurança elétrica ao longo de todo o percurso, os vãos entre estruturas intermediárias (do tipo N, ou seja, estruturas de suporte usadas para manter o alinhamento dos condutores) foram limitados a 110 metros, valor de referência adotado para redes rurais de média tensão, em conformidade com os padrões da concessionária [15].

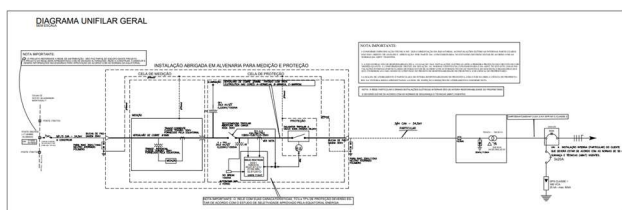


Figura 3. Diagrama unifilar da rede.

Fonte: [25] Estudo de Coordenação e Seletividade de Proteção Subestação 34,5kv (500KVa) (2026).

C. Descrição das Subestações

O sistema prevê a instalação de duas subestações de distribuição, cada uma com potência nominal de 500 kVA, localizadas em pontos distintos ao longo do traçado da rede. A primeira subestação atende ao sistema de captação de água, responsável pelo bombeamento da água a partir da fonte hídrica, enquanto a segunda abastece o reservatório de armazenamento, que, por sua vez, alimenta o pivô central de irrigação. Esta divisão por função permite maior controle operacional, possibilitando o acionamento independente de cada sistema conforme a demanda da atividade agrícola [17].

As subestações são do tipo aéreo, com transformador trifásico imerso em óleo mineral isolante, em conformidade com a especificação padrão da concessionária para instalações desta natureza [15]. A capacidade de 500 kVA por unidade foi determinada com base no estudo da demanda elétrica de cada ponto de carga, considerando a potência instalada dos motores, o fator de potência, os fatores de demanda aplicáveis e a diversidade aplicável, além de uma margem de reserva para futuras ampliações [8].

Cada subestação é dotada de medição eletrônica em conformidade com os requisitos da Equatorial Energia Goiás, com proteção realizada no lado de alta tensão por chave fusível do tipo de expulsão, dimensionada para atuar de forma coordenada com os dispositivos de proteção da rede a montante, conforme estabelecido no estudo de seletividade [8]. No lado de baixa tensão, a proteção é realizada por meio de disjuntor geral e dos demais dispositivos previstos no projeto de instalação do consumidor [5].

O sistema de aterramento de cada subestação é composto por uma malha de hastes de aço cobreadas, interligadas por cabo de cobre nu, conforme apresentado na Figura 4, com a resistência de aterramento verificada após a execução [6]. O neutro da rede de baixa tensão é aterrado na própria subestação e, ao longo da rede, a cada 400 metros de rede construída, garantindo a equipotencialização adequada e a segurança das instalações, conforme os padrões da concessionária [15].

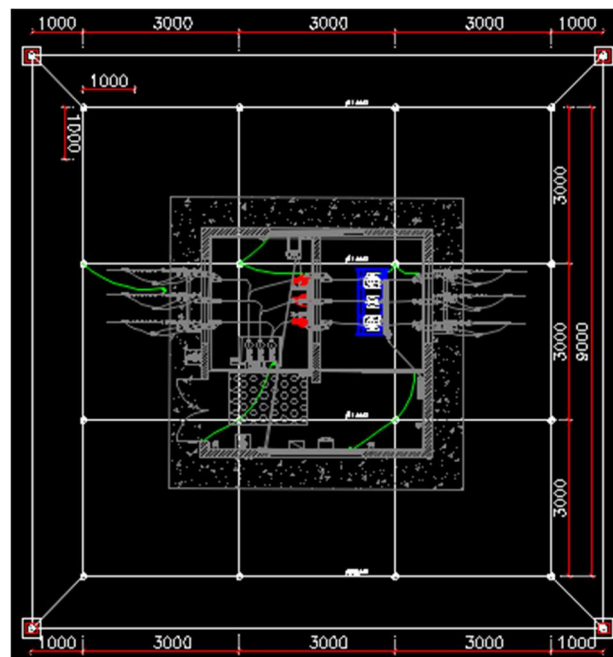


Figura 4. Desenho técnico da malha de aterramento.

Fonte: Arquivo do Autor (2026).

D. Estudos Técnicos Associados

A correta implantação da rede exige, além do projeto elétrico, estudos técnicos complementares. Foram realizados dois estudos fundamentais: o estudo de seletividade da proteção e o orçamento de conexão elaborado pela concessionária [1].

O estudo de seletividade foi desenvolvido pelo engenheiro com o objetivo de garantir que os dispositivos de proteção instalados ao longo do sistema atuem de forma hierarquizada diante de ocorrências de curto-circuito ou sobrecarga, isolando apenas o trecho afetado pela falta e preservando o fornecimento nas demais partes do sistema [17]. Em redes radiais rurais, a cadeia de proteção é tipicamente composta por religadores, seccionadores e fusíveis, o que exige cuidadosa coordenação entre esses elementos [9].

O estudo inclui o cálculo das correntes de curto-circuito máximas e mínimas em cada ponto da rede, conforme apresentado na Figura 5, a determinação das curvas de operação dos dispositivos de proteção e a verificação da coordenação com os dispositivos da rede da concessionária, aspecto validado pelo setor de engenharia da Equatorial Energia Goiás durante o processo de aprovação [8]. Uma proteção mal coordenada pode resultar em desligamentos indevidos da rede principal da concessionária, causando prejuízos que extrapolam os limites da propriedade atendida, o que torna este estudo um requisito normativo indispensável à aprovação do projeto [13].

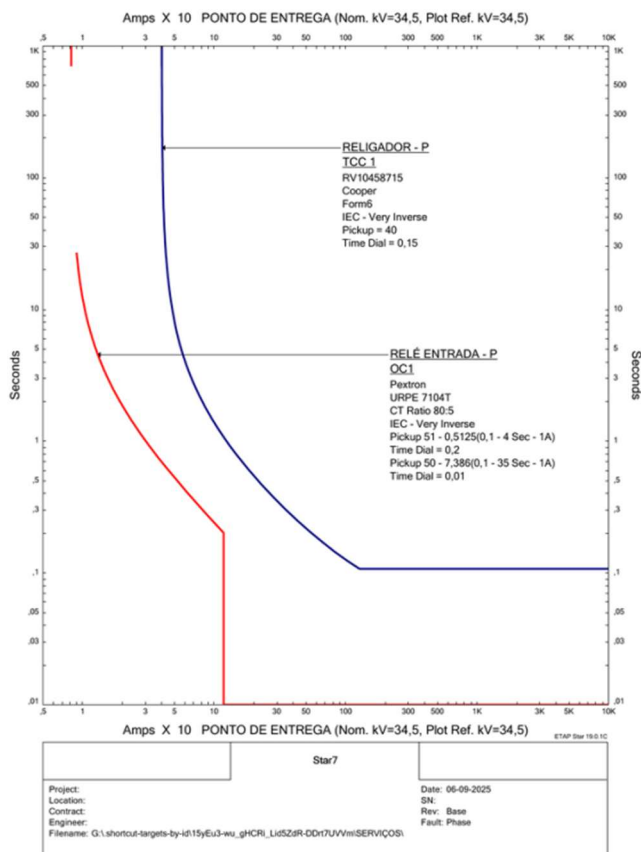


Figura 5. Coordenograma de fase.

Fonte: [25] Estudo de Coordenação e Seletividade de Proteção Subestação 34,5kv (500KV) (2026).

O orçamento de conexão, elaborado pela concessionária, formaliza as condições técnicas e financeiras para ligar a nova rede ao sistema existente. Ele lista os serviços e materiais de responsabilidade da concessionária, como a adequação do ponto de conexão, o poste 30837935, a instalação dos equipamentos de medição, serviços de inspeção e energização. Essas exigências estão de acordo com as Resoluções Normativas da ANEEL que regem o acesso aos sistemas de distribuição [1]. A análise pelo projetista é relevante para identificar os pontos de interface e orientar o detalhamento construtivo da região de conexão [16].

E. Execução da Obra

A execução da obra foi conduzida em conformidade com o projeto elétrico aprovado pela concessionária, seguindo uma sequência lógica de atividades que assegurou a qualidade construtiva e a segurança dos trabalhadores envolvidos [20].

F. Locação

A locação da linha consistiu na demarcação física, em campo, das posições dos postes conforme as coordenadas estabelecidas no projeto, esta etapa foi realizada com auxílio de equipamento de GPS de precisão topográfica, tomando-se como referência o ponto de derivação no poste 30837935 (UTM 22K 511608 / 8076866) e os demais pontos georreferenciados do traçado. Por fim, a locação inclui não apenas o posicionamento dos postes, mas também a identificação dos ângulos de deflexão da linha Figura 6, dos vãos que necessitam de cruzamentos especiais e dos pontos de instalação das subestações [15].

Durante a locação, foram verificadas as condições do terreno quanto à presença de obstáculos subterrâneos e observadas as distâncias mínimas de segurança em relação a propriedades vizinhas, estradas e cursos d'água, ajustando-se o posicionamento dos postes quando necessário [10].

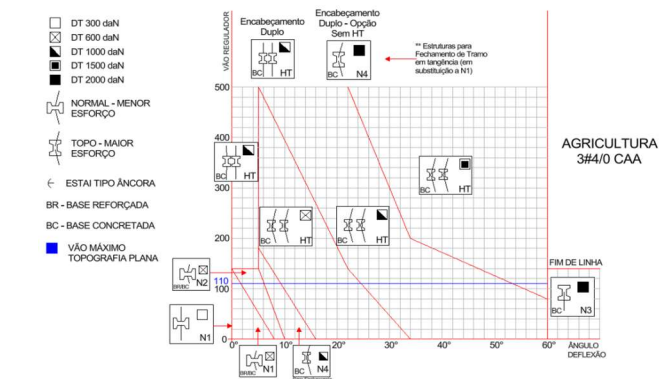


Figura 6. Ábaco para estruturas trifásicas tipo Normal cabo 4/0CAA em áreas de Agricultura.

Fonte: [27] Padrão de Estruturas de Rede de Distribuição Aérea para 23,1kV e 34,5kV.

G. Escavação

A abertura das covas para a fixação dos postes foi executada com trado acoplado ao caminhão-munck, conforme apresentado na Figura 7, solução amplamente empregada em obras rurais, devido à facilidade de acesso e à agilidade na execução. O diâmetro e a profundidade das covas foram determinados com base nas características dos postes e nas condições geotécnicas do solo [11]. Em alguns pontos do traçado, verificou-se a ocorrência de subsolo pedregoso, típico de certas formações do Cerrado goiano, o que exigiu a complementação manual da escavação para atingir o embutimento mínimo especificado [15].



Figura 7. Caminhão com trado.

Fonte: [23] Fransquimmunck.

H. Postejamento

O içamento e o posicionamento dos postes foram realizados com um caminhão-munck. Os postes utilizados são de concreto centrifugado, com comprimento e esforço nominais compatíveis com as solicitações mecânicas decorrentes do tipo de estrutura e do vão médio de 110 metros adotado no projeto [11]. Após o içamento, cada poste teve o alinhamento e o prumo verificados com nível de bolha. O tamponamento da cova foi executado em camadas compactadas, utilizando o próprio material escavado quando de qualidade adequada, ou material de aterro compactável, nos casos de solo muito argiloso ou com excesso de matéria orgânica [15].

I. Montagem de Estruturas (N1, N3 e N4)

A montagem das estruturas exige técnica, trabalho em altura, instalação de ferragens e isoladores, além de cuidados com o posicionamento e com a configuração mecânica e elétrica.

A estrutura N4 foi empregada já no ponto de derivação da rede da concessionária, com dupla ancoragem, garantindo que a tração integral dos condutores derivados seja absorvida de forma segura e independente da estrutura da rede existente. Em transições entre estruturas, esta configuração também é adotada em outros pontos de ancoragem ao longo da linha de derivações e cruzamentos, bem como no início de trechos, sempre que a tração dos condutores atua sobre a estrutura em uma única direção.

O dimensionamento e a execução corretos das estruturas N4 são particularmente importantes, pois falhas nesses aspectos tendem a resultar no colapso de trechos extensos da linha [15].

As estruturas N1 são empregadas nos pontos de alinhamento da linha, em postes situados em trechos retos. Em transições para trechos curvos ou para outros tipos de estruturas, as forças de tração dos condutores deixam de atuar de forma equilibrada. Nos pontos de alinhamento, as forças permanecem equilibradas. São constituídas por cruzeta simples, isoladores e ferragens de suporte. Os três condutores de fase são posicionados com o espaçamento adequado para a tensão de 34,5 kV [4].

A estrutura N3 é utilizada nos pontos de ângulo da linha, onde ocorre deflexão horizontal do traçado. Em tais pontos, há uma transição estrutural: a resultante das forças de tração apresenta um componente perpendicular ao eixo da linha. Essa força é absorvida pelos isoladores de cadeia, dispostos adequadamente em relação ao ângulo de deflexão, juntamente com as ferragens de ancoragem e, quando necessário, o estai de estabilização do poste. O dimensionamento considera o ângulo de deflexão e a tração horizontal dos condutores, conforme calculados no memorial mecânico do projeto [9] [10].

As estruturas intermediárias do tipo N, conforme a Figura 8, são instaladas nos vãos de alinhamento entre as estruturas principais, espaçadas até 110 metros. A transição entre as estruturas principais e as intermediárias ocorre nos pontos de mudança de alinhamento, garantindo a sustentação dos condutores e a manutenção das distâncias de segurança ao longo do percurso, sem absorver esforços de ancoragem. A montagem de todas as estruturas obedeceu ao procedimento construtivo padronizado pela concessionária, incluindo o uso de chave de torque, a limpeza dos isoladores e a inspeção visual de cada componente antes da instalação [4][15].

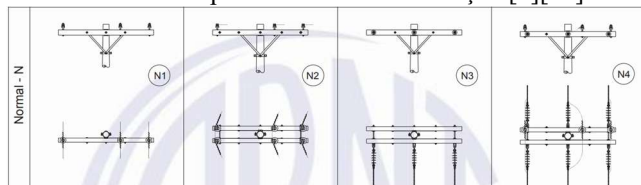


Figura 8. Diagramas de estruturas do tipo N.
Fonte:[9] ABNT15688.

J. Lançamento de Condutores

O lançamento dos condutores exigiu controle preciso das tensões mecânicas aplicadas durante o flechamento, garantindo que as flechas resultantes em cada vão estivessem

dentro dos valores de projeto. O processo foi executado em duas fases: na primeira, os condutores foram passados pelas roldanas instaladas nas estruturas ao longo do trecho, sem contato com os isoladores; na segunda, procedeu-se ao flechamento com tração controlada por dinamômetro, ajustando os valores tabelados à temperatura ambiente registrada no momento do serviço [10]. Em seguida, os condutores foram fixados às ferragens de ancoragem e conectados aos isoladores das estruturas intermediárias.

Os condutores empregados são de alumínio com alma de aço (ACSR), amplamente utilizados em redes aéreas de distribuição devido à boa relação entre resistência mecânica, capacidade de condução e custo. A bitola foi definida no projeto com base nas normas técnicas da Equatorial [4][10].

K. Instalação de Equipamentos

A instalação dos equipamentos elétricos compreendeu o posicionamento e a conexão dos transformadores de 500 kVA de cada subestação, dos para-raios de média tensão, das chaves fusíveis de proteção e dos demais acessórios, conforme a Figura 9. Os para-raios de óxido de zinco (ZnO), instalados no lado de alta tensão de cada transformador, protegem os equipamentos contra sobretensões transitórias de origem atmosférica — fenômeno frequente na região Centro-Oeste durante o período de safra, que coincide com a estação das chuvas. A classe de tensão dos para-raios foi selecionada de acordo com o nível de isolamento dos equipamentos e com o regime neutro da rede [21].

As chaves fusíveis do tipo expulsão foram instaladas a montante de cada transformador, em posição que permite acesso seguro às equipes de manutenção. O elemento fusível foi selecionado com base no estudo de seletividade, conforme descrito na seção III. D. [8]. Toda a conexão elétrica foi executada com aperto controlado por chave de torque, procedimento fundamental para evitar aquecimentos por resistência de contato [15].



Figura 9. Transformador de Corrente para leitura do Relé.
Fonte: Foto do autor (2026).

L. Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento foi executado ao longo de toda a extensão da linha, com haste de aço cobreada cravada no solo e interligada ao neutro de proteção da rede [6]. Nas

subestações, foram instaladas malhas de aterramento compostas por múltiplas hastes interligadas por cabo de cobre nu, assegurando resistência de aterramento compatível com os limites normativos [6][15]. Ao longo da rede de baixa tensão derivada de cada subestação, o neutro é aterrado a cada 400 metros de rede, conforme exigência da concessionária [15].

As cercas próximas a rede foram seccionadas e aterradas a cada 250m ao longo de todo o trecho enquanto houver paralelismo com a rede rural [28].

Após a execução, a resistência de aterramento de cada ponto foi medida com terrômetro pelo método de queda de potencial (dos três pontos), conforme apresentado na Figura 10, com os resultados registrados em relatório de medições [22]. Os pontos que apresentaram valores acima do limite especificado foram objeto de tratamento adicional: aprofundamento das hastes ou aplicação de compostos redutores de resistividade até atenderem aos valores exigidos.



Figura 10. Medição da malha de aterramento com o Terrômetro.
Fonte: Foto do autor (2026).

M. Análise Crítica da Execução

A análise crítica da execução identifica os principais desafios e dificuldades do empreendimento. Também destaca oportunidades de melhoria nos processos construtivos, fundamentais para a formação técnica do engenheiro eletricista.

Entre os principais desafios identificados, destaca-se a logística devido à localização rural. O acesso às frentes de serviço por estradas vicinais, que ficam precárias na chuva, restringe o transporte de materiais pesados como postes, transformadores e carretéis, e a movimentação de equipamentos. Planejar o cronograma de transporte com preferência pelos períodos de estiagem é uma medida preventiva que reduz atrasos. O traçado representa outro desafio relevante. Em uma extensão de 5 km, percorrendo terrenos heterogêneos, é comum observar variações na composição e na capacidade de suporte do solo, o que exige adaptações locais na escavação e no dimensionamento das fundações. A realização de sondagens pontuais antes do

início das obras, embora nem sempre adotada em projetos desta escala, contribuiria para antecipar soluções e reduzir imprevistos em campo [17].

As não conformidades típicas dessas obras, sem apontar ocorrências específicas não documentadas, incluem: execução de covas rasas, flechamento de condutores em temperaturas inadequadas, aperto deficiente de conectores elétricos (com risco de aquecimento e falha prematura) e instalação de para-raios sem ligação correta ao aterramento. Essas situações são evitadas por meio de rigoroso controle de qualidade em campo, inspeções sistemáticas e registro fotográfico de cada etapa [15].

V. RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da análise dos estudos técnicos associados à implantação da rede e das subestações da Fazenda Monte Alegre Pindaíbas são apresentados a seguir, abrangendo os níveis de curto-circuito, o estudo de coordenação e seletividade de proteção, e o dimensionamento da malha de aterramento.

A. Níveis de Curto-Circuito no Ponto de Conexão

Os níveis de curto-circuito foram fornecidos pela Equatorial Energia Goiás por meio do documento CE-241-2025, referentes ao Alimentador 57032 da Subestação MONTIVIDIU T, em 34,5 kV. Os valores obtidos são apresentados na Tabela II.

TABELA II
NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO NO PONTO DE ENTREGA – 34,5 kV

Tipo de Falta	Corrente Simétrica (A)
Trifásico ($I_{cc3\phi}$)	376,9
Bifásico ($I_{cc2\phi}$)	328,4
Monofásico – Fase-Terra ($I_{cc1\phi}$)	281,1
Monofásico Mínimo ($I_{cc1\phi \text{ mín}}$)	197,9

Fonte: [26] CE-241-2025, Equatorial Energia Goiás (2025).

A impedância de sequência positiva equivalente, referida à base de 100 MVA, é $Z_1 = 3,5732 + j2,6359$ pu, e a impedância de sequência zero é $Z_0 = 3,9358 + j8,8101$ pu. Esses valores subsidiaram tanto o estudo de seletividade quanto o dimensionamento da malha de aterramento.

B. Coordenação e seletividade da proteção

O estudo de coordenação e seletividade foi desenvolvido com auxílio do software ETAP® Versão 19.0.1, adotando o relé digital PEXTRON URPE 7104T como dispositivo de proteção da subestação do consumidor, coordenado com o religador COOPER-FORM6 da Equatorial, cujos ajustes a montante são: Pickup de fase = 40 A, curva IEC-MI, Dial = 0,15; Pickup de neutro = 10 A, curva IEC-MI, Dial = 0,37.

Os transformadores de corrente (TC) selecionados possuem relação 75:5 A (RTC = 15), atendendo simultaneamente ao critério de sobrecorrente — razão $I_{cc}/FS = 18,84 \text{ A} \leq 75 \text{ A}$ — e ao critério de sensibilidade de carga, com $7,5 \text{ A} \leq 8,37 \text{ A} \leq 75 \text{ A}$. Os transformadores de potencial (TP) foram especificados com relação $34500/\sqrt{3} / 220 \text{ V}$ (RTP = 90,5), classe 1,2P200, norma NBR 6855.

Os ajustes definidos para o relé PEXTRON URPE 7104T são consolidados na Tabela III.

TABELA III
AJUSTES DO RELÉ PEXTRON URPE 7104T – SUBESTAÇÃO 34,5 kV

Função ANSI	Parâmetro	Ajuste
51 – Sobrecorrente temp. de fase	Pickup / Curva / DT	8,20 A / IEC-MI / 0,2
50 – Sobrecorrente inst. de fase	Pickup	118,18 A
51N – Sobrecorrente temp. de neutro	Pickup / Curva / DT	2,05 A / IEC-MI / 0,4
50N – Sobrecorrente inst. de neutro	Pickup	35,45 A
47 – Desbalanço de tensão	Habilitado	Sim
27 – Subtensão (1° estágio)	Tensão / Tempo	15934 V / 2,5 s
59 – Sobretensão (1° estágio)	Tensão / Tempo	21910 V / 1,0 s
81U – Subfrequência (1° estágio)	Freq. / Tempo	58,5 Hz / 20 s
81O – Sobrefrequência (1° estágio)	Freq. / Tempo	62,5 Hz / 10 s

Fonte: [25] Estudo de Coordenação e Seletividade de Proteção Subestação 34,5kv (500KV_a) (2026).

A verificação dos tempos de atuação para falta na barra imediatamente a jusante do disjuntor confirmou a coordenação entre os dispositivos, conforme apresentado na Tabela IV.

TABELA IV
TEMPOS DE ATUAÇÃO – RELIGADOR EQUATORIAL VS. RELÉ PEXTRON

Corrente de Falta	Religador – Fase Top (s)	Religador – Neutro Top (s)	Relé – Fase Top (s)	Relé – Neutro Top (s)
$I_{cc3\phi} = 376,9$ A	0,283	—	Instantâneo	—
$I_{cc2\phi} = 328,4$ A	0,323	—	Instantâneo	—
$I_{cc1\phi} = 281,1$ A	0,378	0,226	Instantâneo	Instantâneo

Fonte: [25] Estudo de Coordenação e Seletividade de Proteção Subestação 34,5kv (500KV_a) (2026).

Em todos os cenários de falta, o relé da subestação consumidora atua antes do religador da concessionária, garantindo seletividade e preservando o fornecimento nas demais cargas do alimentador 57032. Os coordenogramas de fase e de neutro, obtidos no ETAP®, confirmam graficamente a separação adequada das curvas de atuação.

C. Dimensionamento da Malha de Aterramento

O dimensionamento da malha de aterramento foi realizado com o software CEPEL – Sistema para Projetos de Malhas de Aterramento (Versão 1.3.4), em conformidade com a ABNT NBR 15749 e NBR 15751. A resistividade do solo foi

determinada pelo método de Wenner, com medições em duas direções, utilizando terrômetro digital Megabrás MTD20 kWe. A estratificação resultou em solo de duas camadas: primeira camada com resistividade $\rho_1 = 29,12 \Omega \cdot m$ e espessura de 3,31 m; segunda camada com resistividade $\rho_2 = 6,57 \Omega \cdot m$.

A malha projetada possui geometria retangular de 11.000 × 11.000 mm (área de 121 m²), com cabos de cobre nu de 50 mm², dispostos em três fios na horizontal e quatro na vertical, espaçados de 3.000 mm, instalados a 600 mm de profundidade. Foram utilizados 20 eletrodos Cooperweld de 16 mm × 3.000 mm, com todas as conexões realizadas por solda exotérmica. Os resultados da simulação são apresentados na Tabela V.

TABELA V
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA MALHA DE ATERRAMENTO

Parâmetro	Valor Calculado	Limite Normativo	Situação
Resistência de aterramento	0,405 Ω	—	—
GPR (Ground Potential Rise)	113,93 V	—	—
Maior potencial no solo	108,003 V	$\leq$ GPR	Atendido
Tensão de toque calculada	52,35 V	649,00 V	Atendido
Tensão de passo calculada	25,00 V	2104,00 V	Atendido

Fonte: [25] Estudo de Coordenação e Seletividade de Proteção Subestação 34,5kv (500KV_a) (2026).

A corrente máxima de choque admissível para uma pessoa de 50 kg, com tempo de eliminação de falta de 500 ms, é $I_{choque} = 0,116/\sqrt{0,5} = 0,164$ A. Os potenciais calculados de toque (52,35 V) e de passo (25,00 V) são expressivamente inferiores aos respectivos limites normativos (649 V e 2104 V), demonstrando ampla margem de segurança. A resistência de aterramento de 0,405 Ω é compatível com a atuação segura da proteção de neutro (ANSI 51N), assegurando que o relé detecte faltas fase-terra com a corrente mínima de curto-circuito de 197,9 A fornecida pela concessionária.

D. Projeto elétrico

Os resultados do projeto elétrico da rede de distribuição são apresentados de forma consolidada na Tabela VI, reunindo os principais parâmetros técnicos verificados durante a concepção do sistema. O condutor CAA 4/0 AWG foi selecionado com base em critérios elétricos e mecânicos, conforme detalhado na seção III.B, e os valores resultantes confirmam a adequação da solução adotada para as condições do empreendimento.

TABELA VI
PARÂMETROS E RESULTADOS DO PROJETO ELÉTRICO DA REDE

Parâmetro	Valor Adotado / Calculado	Limite Normativo	Situação
Tensão nominal da rede	34,5 kV	Padrão Equatorial [15]	Atendido
Condutor	CAA 4/0 AWG (ACSR)	—	—
Seção de alumínio	107,2 mm ²	—	—
Resistência CA a 50°C	0,302 Ω/km	—	—

Capacidade de corrente	280 A	—	—
Extensão total da linha	~5 km	—	—
Vão máximo entre estruturas	110 m	Padrão Equatorial [15]	Atendido
Corrente de linha calculada (I)	16,74 A	≤ 280 A	Atendido
Utilização do condutor	6% da capacidade nominal	—	—
Queda de tensão absoluta (ΔV)	61,6 V	—	—
Queda de tensão percentual ($\Delta V\%$)	0,18%	$\pm 5\%$ [13]	Atendido
Configuração da rede	Radial simples	Padrão Equatorial [15]	Atendido

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A corrente de linha calculada de 16,74 A representa apenas 6% da capacidade nominal do condutor CAA 4/0 AWG, o que indica expressiva margem de segurança térmica e possibilidade de crescimento da demanda instalada sem necessidade de substituição do condutor. A queda de tensão de 0,18% ao longo dos 5 km da linha está amplamente dentro do limite de $\pm 5\%$ estabelecido pelo Módulo 8 do PRODIST/ANEEL [13], confirmando a qualidade de tensão no ponto de entrega de ambas as subestações durante a operação do sistema de irrigação.

A configuração radial simples, associada ao vão máximo de 110 metros entre estruturas intermediárias, atende simultaneamente aos requisitos mecânicos do condutor e às distâncias mínimas de segurança elétrica exigidas para redes de 34,5 kV, em conformidade com os padrões construtivos da Equatorial Energia Goiás [15].

VI. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a implantação de uma rede elétrica de média tensão em área rural, tendo como estudo de caso a construção de uma linha de 34,5 kV destinada ao atendimento de um sistema de irrigação por pivô central na Fazenda Monte Alegre Pindaíbas, localizada na zona rural de Rio Verde, Goiás. A análise das etapas construtivas — locação, escavação, posteamento, montagem de estruturas, lançamento de condutores, instalação de equipamentos e execução do sistema de aterramento — evidenciou que a conformidade técnica com as normas da ABNT e com os padrões construtivos da Equatorial Energia Goiás é indispensável para garantir a segurança dos trabalhadores, a integridade dos equipamentos e a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.

Os estudos técnicos realizados demonstram a adequação das soluções implementadas. O estudo de coordenação e seletividade, desenvolvido com o software ETAP®, atestou que os ajustes definidos para o relé PEXTRON URPE 7104T asseguram atuação hierarquizada e seletiva em relação ao religador COOPER-FORM6 da concessionária, isolando as faltas no sistema do consumidor sem afetar o fornecimento às demais cargas do Alimentador 57032. O dimensionamento da malha de aterramento, conduzido com o software CEPEL conforme as normas ABNT NBR 15749 e NBR 15751,

resultou em tensões de toque e de passo de 52,35 V e 25,00 V, respectivamente, valores significativamente inferiores aos limites normativos de 649 V e 2.104 V, confirmando ampla margem de segurança para os trabalhadores na instalação.

Os principais desafios verificados durante a implantação estão diretamente relacionados às condições logísticas e geotécnicas do Cerrado goiano, como a precariedade das estradas vicinais em períodos chuvosos e a presença de subsolo pedregoso em trechos do traçado. As adaptações realizadas localmente na escavação para superar essas dificuldades reforçam a necessidade de planejamento antecipado, com a realização de sondagens geotécnicas pontuais e a elaboração de cronogramas de transporte orientados pelos períodos de estiagem.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho integra os fundamentos teóricos de sistemas de distribuição, proteção e aterramento à realidade prática da construção de redes rurais, aproximando o engenheiro em formação das exigências técnicas e normativas do setor elétrico. Verifica-se que a qualidade construtiva e a correta execução dos estudos técnicos complementares constituem fatores decisivos para a viabilidade operacional de sistemas de irrigação mecanizada, que dependem de fornecimento contínuo e confiável de energia durante os períodos de safra.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação do desempenho operacional da rede após um ciclo completo de safra, com monitoramento dos índices de continuidade de fornecimento, além de um estudo comparativo entre configurações de proteção com e sem religamento automático em redes rurais de média tensão com características semelhantes.

Como sugestão para projetos similares, recomenda-se elaborar um plano de inspeção e teste (PIT) detalhado antes da obra, com critérios de aceitação claros para cada etapa. Utilizar georreferenciamento integrado a aplicativos de inspeção reduz erros de interpretação e facilita o registro do as-built. O correto comissionamento do sistema antes da energização é fundamental: inclui a inspeção visual das estruturas, a medição das resistências de aterramento, os testes de isolamento dos condutores e a verificação da coordenação dos dispositivos de proteção. Esta etapa é a última barreira de controle antes da linha entrar em serviço.

VII. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa nº 1.000, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica*. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: mar. 2026.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. Acesso em: mar. 2026.
- [3] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). *ND 3.2: Projetos de Redes de Distribuição Aéreas Rurais*. Belo Horizonte: CEMIG Distribuição, 2019. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/normas-tecnicas-redes-de-distribuicao/>. Acesso em: mar. 2026.
- [4] ENEL DISTRIBUIÇÃO BRASIL. *Especificação Técnica n.º 0285: CNS-OMBR-MAT-19-0285-EDBR – Critério de Projeto de Redes Aéreas de Distribuição MT/BT*. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/documentos/CNS-OMBR-MAT-19-0285-EDBR>. Acesso em: mar. 2026.

- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. Acesso em: mar. 2026.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 16527: Aterramento para sistemas de distribuição de energia elétrica — Requisitos*. Rio de Janeiro, 2016. Acessado em: mar. 2026.
- [7] BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica — Luz para Todos*. Brasília: MME, 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos>. Acesso em: mar. 2026.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Acesso em: mar. 2026.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15688: Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus*. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Versão corrigida: 16 abr. 2013. Acesso em: mar. 2026.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5422: Projeto de linhas aéreas de energia elétrica — Critérios técnicos*. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Acesso em: mar. 2026.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8451-1: Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica — Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Acesso em: mar. 2026.
- [12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção Agrícola Municipal*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: abr. 2026.
- [13] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional — PRODIST: Módulo 8 — Qualidade da Energia Elétrica*. Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: abr. 2026.
- [14] EQUATORIAL ENERGIA GOIÁS. *Área de Concessão*. Disponível em: <https://go.equatorialenergia.com.br>. Acesso em: abril 2026.
- [15] EQUATORIAL ENERGIA GOIÁS. *Padrões Construtivos de Redes de Distribuição em Média Tensão*. [S.l.]: Equatorial Energia Goiás, [s.d.]. (documento interno / caderno de encargos da concessionária) Acesso em: abr. 2026.
- [16] EQUATORIAL ENERGIA GOIÁS. *Norma Técnica de Distribuição: Elaboração de Projetos de Redes de Distribuição*. [S.l.]: Equatorial Energia Goiás, [s.d.]. (caderno de encargos / norma interna da concessionária) Acesso em: abr. 2026.
- [17] KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBIA, Ernesto João. *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. Acesso em: abr. 2026.
- [18] BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Código Florestal Brasileiro)*. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: abr. 2026.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5356-1: Transformadores de potência — Parte 1: Generalidades*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. Acesso em: abr. 2026.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 6494: Segurança nos andaimes — Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. (ou alternativamente:)
- [21] BRASIL. *Norma Regulamentadora NR-10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*. Ministério do Trabalho e Emprego, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego>. Acesso em: abr. 2026.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR IEC 60099-4: Para-raios — Parte 4: Para-raios de óxido metálico sem centelhador para sistemas de corrente alternada*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Acesso em: abr. 2026.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7117: Medição da resistividade e determinação da resistência de aterramento — Métodos de medição*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Acesso em: abr. 2026.
- [24] FRANSQUIM MUNCK. Serviço de perfuratriz. Teresina, 2026. Disponível em: <https://fransquimmunck.com.br/servico/perfuratriz/>. Acesso em: 18 maio 2026.
- [25] GOOGLE. Google Earth Pro (Versão 7.3). Software. Mountain View, CA: Google Inc., 2026. Disponível em: [google.com](https://www.google.com). Acesso em: 18 maio 2026.
- [26] OLIVEIRA, André Luiz Furquim. *Estudo de Coordenação e Seletividade de Proteção Subestação 34,5kv (500KVA)*. Documento técnico interno. Empresa Equiptek, Goiânia, 2026.
- [27] EQUATORIAL GOIÁS DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A. Sobre o Grupo Equatorial. Goiânia. Estudo de Curto Circuito CE241 - 2025. Acesso 2026.
- [28] EQUATORIAL ENERGIA GOIÁS. *Padrão de Estruturas de Rede de Distribuição Aérea para 23,1kV e 34,5kV*. [S.l.]: Equatorial Energia Goiás, [s.d.]. (documento interno / caderno de encargos da concessionária) Acesso em: abr. 2026.
- [29] EQUATORIAL ENERGIA. *NT.00006.EQTL - Padrão de Estruturas de Rede de Distribuição Aérea para 13,8kV e de Baixa Tensão 380/220V e 220/127V*. Brasília. Disponível em: Normas Técnicas Equatorial. Acessado 2026.

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante **Fellipe Furquim Oliveira** do Curso de **Engenharia Elétrica** matrícula **2021.1.0038.0004-8**, telefone: **(64) 9 9987-1523** e-mail **furquimgarma@gmail.com**, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Análise dos Aspectos Construtivos na Implantação de Redes Elétricas de Média Tensão em Áreas Rurais**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, **23** de **junho** de **2026**.

Documento assinado digitalmente
gov.br **FELLIPE FURQUIM OLIVEIRA**
Data: 23/06/2026 11:43:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor: _____

Nome completo do autor: **Fellipe Furquim Oliveira**

Documento assinado digitalmente
gov.br **ANTONIO MARCOS DE MELO MEDEIROS**
Data: 23/06/2026 19:28:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do professor-orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: **Antônio Marcos de Melo Medeiros**