

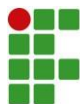
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS ITUMBIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

KAREM CRISTINA GUIMARÃES GOMES

FERRAMENTA PARA CÁLCULO ECONÔMICO NO DIMENSIONAMENTO
DE POSTES E VÃOS EM REDES DE MÉDIA TENSÃO

ITUMBIARA-GO

2024



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Karem Cristina Guimarães Gomes

Matrícula: 20181040070249

Título do Trabalho: FERRAMENTA PARA CÁLCULO ECONÔMICO NO
DIMENSIONAMENTO DE POSTES E VÃOS EM REDES DE MÉDIA TENSÃO

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____(Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, __24__/_01___/_2024___.
Local Data

Documento assinado digitalmente
gov.br KAREM CRISTINA GUIMARAES GOMES
Data: 24/01/2025 13:31:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

KAREM CRISTINA GUIMARÃES GOMES

**FERRAMENTA PARA CÁLCULO ECONÔMICO NO DIMENSIONAMENTO
DE POSTES E VÃOS EM REDES DE MÉDIA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Itumbiara/IFG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Soares Resende.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G633 Gomes, Karem Cristina Guimarães
 Ferramenta para cálculo econômico no dimensionamento de postes
 e vãos em redes de média tensão. / Karem Cristina Guimarães
 Gomes. -- Itumbiara, 2025.
 44 p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Soares Resende.

1. Energia elétrica - Distribuição 2. Engenharia elétrica. 3.
Redes (Projetos). I. Título. II. Gomes, Karem Cristina Guimarães
IV. Resende, Diogo Soares V. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.319



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

Termo de Aprovação

Karem Cristina Guimarães Gomes

FERRAMENTA PARA CÁLCULO ECONÔMICO NO DIMENSIONAMENTO DE POSTES E VÃOS EM REDES DE MÉDIA TENSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 12 de Dezembro de 2024, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Diogo Soares Resende - Orientador

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli - Membro interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Marcos Antônio Arantes de Freitas - membro interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Itumbiara – GO

Documento assinado eletronicamente por:

- **Diogo Soares Resende**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/12/2024 21:38:01.
- **Marcos Antonio Arantes de Freitas**, DIRETOR(A) GERAL - CD2 - CP-ITUMBIA, em 13/12/2024 16:33:07.
- **Victor Regis Bernardeli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/12/2024 15:02:52.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 598329

Código de Autenticação: 3d2968ea2c



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, None, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus e Nossa Senhora, que estiveram comigo durante todos esses anos me dando forças e não me deixaram desistir da jornada.

Agradeço aos meus pais Rosivan José Gomes e Marcia Guimarães da Cunha Gomes por todo o apoio e dedicação dados a mim. Apesar de todos os esforços e dificuldades, investiram nos meus estudos e sonharam junto comigo com minha formatura.

Agradeço também aos meus irmãos Rosivan José Gomes Junior e Ludymila Guimarães Gomes por toda a paciência e o apoio nas horas difíceis.

Agradeço aos meus avós Raimundo, Iuzete, Dionizia e Joaquim que contribuíram para que eu tivesse um grande futuro. Todos os ensinamentos ficarão guardados comigo para sempre.

Agradeço ao meu namorado João Victor Ferreira Mendes por estar comigo mesmo nos piores momentos me consolando, acalmando e dando forças para seguir em frente.

Agradeço a minha amiga e colega de apartamento e faculdade Leticia Lemes dos Santos pelo ombro amigo, por todos momentos que passamos juntas nesses anos de faculdade, e também aos amigos de faculdade Henrique, Viviane, Camila, Gustavo e Niele e a todos os meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Agradeço ao meu orientador Diogo Soares Resende pelo suporte dado, muito obrigado pela atenção e disponibilidade.

Agradeço à coordenação da Engenharia Elétrica, em especial ao coordenador Victor Bernadeli por toda ajuda dada durante a graduação.

Agradeço ao Instituto Federal de Goiás Campus Itumbiara pelo ensino de qualidade.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e familiares, com certeza vocês me ajudaram muito nesta jornada.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se o processo de construção de uma planilha de cálculo, elaborada com o intuito de otimizar, auxiliando no dimensionamento de postes, tamanho de vãos e viabilidade econômica em projetos de redes aéreas de distribuição. A motivação desse estudo teve base no esforço e tempo requeridos na realização dos cálculos para dimensionamento e orçamentos de valores, que em geral é exaustivamente repetido no mesmo projeto. A planilha foi elaborada para utilização em projetos de redes padronizadas de distribuição de energia elétrica de média tensão, que constam nas Normas de Distribuição Unificadas disponibilizadas pelas concessionárias da Equatorial-GO.

Palavras-chaves: Rede de Distribuição; Engenharia Elétrica; Projeto de Distribuição; Planilha; Dimensionamento; Otimização.

ABSTRACT

This paper presents the process of creating a spreadsheet designed to optimize and assist in the sizing of poles, span lengths, and economic feasibility in overhead distribution network projects. The motivation for this study stemmed from the effort and time required to perform calculations for sizing and budgeting, which is generally exhaustively repeated within the same project. The spreadsheet was developed for use in standardized medium-voltage electrical distribution network projects, as outlined in the Unified Distribution Standards provided by the concessionaires of Equatorial-GO.

Keywords: Distribution Network; Electrical Engineering; Distribution Project; Spreadsheet; Sizing; Optimization.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CC Seção Circular

CP Cimento Portland

DT Duplo T

ET Especificação Técnica

MT Média Tensão

NBR Norma Brasileira

NM Norma Metropolitana

NT Nota Técnica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema elétrico de potência (Diniz, 2013).....	13
Figura 2 - Poste Duplo T (Autora)	23
Figura 3 - Poste Circular (Autora).....	24
Figura 4 - Flecha calculada pela ferramenta. (Autora).....	26
Figura 5 - Afastamentos mínimos – Condutor ao solo. (Equatorial, 2023).....	28
Figura 6 - Entrada de dados da planilha (Autora)	30
Figura 7 - Verificação de altura da rede. (Autora)	32
Figura 8- Projeto rede rural convencional- trecho 1 (Autora).....	35
Figura 9- Projeto rede rural convencional- trecho 2. (Autora).....	36
Figura 10- Resultado planilha. (Autora).....	37
Figura 11- Projeto rede urbana compacta- trecho 1(Autora).....	38
Figura 12 - Projeto rede urbana compacta- trecho 2. (Autora).....	38
Figura 13 - Resultado planilha (Autora)	39
Figura 14 - Resultado planilha (Autora)	40
Figura 15 - Resultado planilha. (Autora).....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distâncias máximas permitidas (Autora).	31
Tabela 2 – Dados dos Cabos (Autora).....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custo de instalação em função dos postes e vão. (Autora).....	33
---	----

SUMÁRIO

1	Introdução	13
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo.....	15
1.3	Objetivos Específicos.....	16
1.4	Estrutura do trabalho.....	16
2	Referencial Teórico.....	18
2.1	Redes elétrica aéreas	18
2.2	Redes de média tensão	19
2.3	Dimensionamento de postes	19
2.4	Otimização aplicada a sistemas de distribuição de energia elétrica.....	20
3	Materiais e métodos	21
3.1	Postes	21
3.1.1	Poste Duplo T	22
3.1.2	Postes Circulares	23
3.2	Fabricação Postes de Concreto	23
3.2.1	Materiais	23
3.2.2	Produção	24
3.3	Vãos e Altura	25
3.4	Flechas	25
3.4.1	Limites para flechas	27
4	Metodologia	29
4.1	Elaboração da Planilha.....	29
4.2	Cálculos realizados pela planilha	31
5	Resultados	34
5.1	Rural convencional 34,5kV/335 metros	34
5.2	Urbana compacta 13,8kV/ 152 metros.....	37
5.3	Rural convencional 34,5kV/10.000 metros	39

5.4	Urbana compacta 13,8kV/ 10.0000 metros.....	41
6	Conclusões	42
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	43
	Referências	44

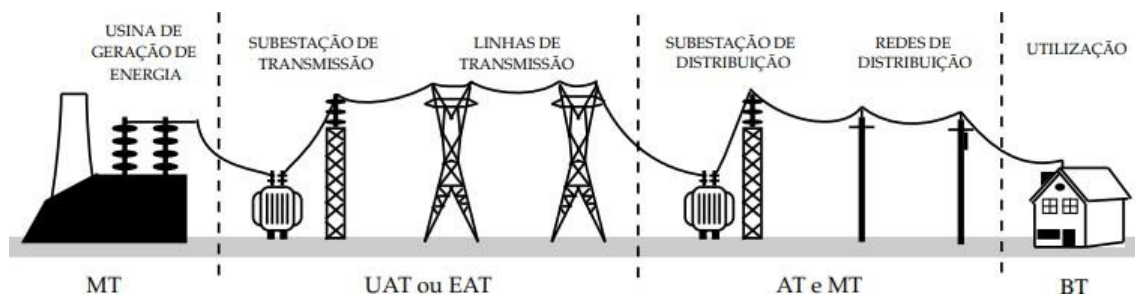
1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas atualmente pela humanidade, devido a fatores positivos como a facilidade de transporte e baixa perda energética durante conversões. Atualmente, existem diversas fontes de geração de eletricidade, como usinas hidrelétricas, termoeletricas e eólicas.

Os sistemas elétricos de potência têm a função precípua de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada. Isto é, o sistema tem as funções de produtor, transformando a energia de alguma natureza, por exemplo, hidráulica, mecânica, térmica ou outra, em energia elétrica, e de distribuidor, fornecendo aos consumidores a quantidade de energia demandada, instante a instante (ROBBA, 2021).

A Figura 1 traz uma representação simples de um típico sistema elétrico de potência.

Figura 1 - Sistema elétrico de potência.



Fonte: Diniz, 2013.

O processo de fornecimento dessa energia para a população é dividido em três etapas: geração, transmissão e distribuição. Sendo a distribuição definida como a fase final do processo, na qual ocorre a entrega de energia aos consumidores finais.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (entre 69 kV e 230 kV), média tensão (entre 2,3 e 69 kV) e baixa tensão (abaixo de 2,3 kV). Estas diferentes faixas são utilizadas no sistema conforme a função de cada trecho, de modo a otimizar sua operação, sendo média tensão corriqueiramente utilizada em alimentadores que partem das subestações de distribuição.

A entrega de energia aos consumidores pode ser feita de forma aérea ou de forma

subterrânea. No entanto, no Brasil, esta distribuição é feita predominantemente por vias aéreas, com linhas de distribuição de energia compostas principalmente por postes, estruturas de sustentação, equipamentos como transformadores e chaves, sistemas de controle e condutores. É possível visualizar, diariamente, as intensas ramificações de cabos elétricos ao longo das ruas conectando inúmeras pessoas ao sistema elétrico.

Para sustentar de maneira segura e eficiente os cabos condutores e outros equipamentos como isoladores e transformadores, são necessárias estruturas de suporte conhecidas como postes. Esses postes variam conforme o relevo e o nível de tensão existentes. Portanto, os postes empregados em linhas de distribuição podem diferenciar em forma e material, conforme o projeto.

Os postes de concreto armado são estruturas que podem apresentar seção circular vazada, seção retangular vazada ou seção duplo T, sendo seção duplo T a mais utilizada atualmente. Eles também são diferenciados em função de sua altura e sua capacidade de carga, sendo seu requisito definidos pela ABNT NBR 8451-1.

O tamanho das redes de distribuição e comunicação, já são extensos e crescem continuamente, devido ao crescimento acelerado populacional, trazendo o questionamento de como essas estruturas de concreto armado são dimensionadas, em razão de quantidade e espaçamento, de uma maneira que não traga prejuízos futuros para o cliente e nem para a prestadora de serviço, levando em consideração a qualidade e durabilidade da rede elétrica.

Adicionalmente, ressalta-se que a estrutura de suporte tem grande importância em redes de distribuição de energia elétrica urbanas e rurais, é importante uma viabilidade econômica não só sobre o tamanho da estrutura, mas também a quantidade de vãos entre uma estrutura e outra, tendo como base o local do terreno e normas fornecidas pela concessionária responsável pela energia de cada local.

1.1 JUSTIFICATIVA

Cada indivíduo, atualmente, no Brasil, possui o direito ao serviço público de energia elétrica, independente de onde esteja sua instalação. Assim, o contínuo aumento de redes localizadas em áreas urbanas e rurais, as empresas concessionárias trabalham constantemente na construção de novos alimentados de distribuição de energia elétrica, capazes de atender a demanda crescente por energia elétrica.

Para que essas expansões sejam feitas, é necessário a elaboração de projetos de rede de distribuição, que requerem a quantidade de postes, o tamanho da estrutura e o comprimento dos vãos, dado pela distância entre os postes instalados. Os cálculos com base no tamanho, tensão da rede e condutores que são então necessários para a correta escolha do tipo, quantidade e posicionamento dos postes a serem utilizados, o que demanda certo tempo e muitas vezes é feito sem uma otimização dos recursos.

Sendo assim, com a intenção de otimizar, é proposta a elaboração de uma planilha de cálculo, tendo como entradas de dados, algumas informações como nível de tensão da rede, o condutor que será utilizado e a distância total da rede de média tensão. A principal saída de dados é a quantidade e tamanho dos postes, comprimento dos vãos e valor total da rede, que irá possibilitar o correto e rápido dimensionamento dos postes, considerando para isso a alternativa com os menores custos de implantação.

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral desse Trabalho é elaborar uma planilha de cálculo de acordo com a viabilidade econômica, em que servirá como ferramenta para o auxílio do dimensionamento de postes, quantidade e tamanho de vãos entre os postes em redes de média tensão.

Os aspectos necessários para entrada, como os condutores que serão utilizados e nível de tensão da rede existente no local (compacta ou convencional, classes 13,8 kV ou 34,5 kV, em sua grande maioria, podem ser encontrados nas normas de distribuição que as concessionárias fornecem ou obtidos junto aos fabricantes dos componentes da rede.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são necessários:

- Revisão bibliográfica de normas com relação ao cálculo mecânico de condutores;
- Revisão das normas de distribuição de rede urbana e rural, do grupo Equatorial (NT. 00006, 00018 e 00022) e especificação técnica (ET.140-2:2020);
- Orçamento de valores de diversos tamanhos de postes, mão de obra e custo final de cada estrutura que são utilizados para rede de média tensão;
- Análise sobre carga ruptura (daN) e Peso (kg/m) de cada condutor utilizado em redes de média tensão;
- Analisar nas normas da concessionária distância máxima e mínima permitida para vãos;
- Criação uma planilha que tenha como entrada o nível de tensão da rede, especificações dos condutores e distância, e tenha como saída a quantidade de postes, o tamanho dos postes e a distância dos vãos entre eles;
- Elaboração de visualização gráfica do custo total em função da altura do poste e do vão;
- Estabelecer um estudo da viabilidade financeira entre os deslocamentos e tensões encontrados em cada caso a fim de evidenciar a intensificação do uso dessa estruturas e distâncias admitidas.

Com base na literatura técnica e conhecendo as formulações matemáticas necessárias, aplicar de forma adequada as equações numa típica ferramenta para cálculo empregando o software Microsoft Excel.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho é dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo aborda uma breve introdução sobre o desenvolvimento do trabalho no contexto das redes de distribuição. Logo em seguida, no segundo capítulo uma breve fundamentação teórica é apresentada, na qual se destacam as redes de distribuição, dimensionamento e otimização. O terceiro

capítulo decorre sobre materiais e métodos, apresentando os postes e sua fabricação, vãos e altura e fechas. O quarto capítulo descreve a metodologia, onde são mostrados os passos executados na elaboração da planilha de cálculo, seguindo de alguns exemplos típicos de utilização. Por fim, no quinto capítulo apresentam-se as considerações finais e sugestões de melhorias para a planilha em trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REDES ELÉTRICA AÉREAS

A rede de distribuição de energia elétrica perpassa por um sistema completo, que consiste em linhas de distribuição, transformadores, dispositivos de proteção e outros equipamentos que permitem o transporte seguro e eficiente da eletricidade. Essa rede geralmente opera em 16 tensões mais baixas do que as linhas de transmissão, adequando-se às necessidades dos consumidores finais. (MORORÓ, 2023)

Existem três tipos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica, rede de distribuição aérea convencional, rede de distribuição aérea compacta e rede de distribuição aérea isolada, sendo as mais utilizadas no Brasil, as redes de distribuição aérea convencional e aérea compacta. (CAPUTO, 2016)

As redes convencionais são caracterizadas por condutores nus, que são suportados por isoladores de vidro ou porcelana, fixados horizontalmente em cruzetas de madeira para os circuitos de média tensão e verticalmente para os de baixa tensão. Por serem desprotegidas contra as condições ambientais, apresentam uma alta taxa de falhas e demandam podas frequentes das árvores (ROMAGNOLE, 2020).

Embora esse tipo de rede seja mais econômico, apresenta um nível reduzido de confiabilidade, pois, por utilizar cabos nus, fica mais vulnerável a interferências externas. Assim, é necessário aumentar os investimentos em manutenção e reparos, considerando os possíveis problemas que podem surgir e o impacto na continuidade do fornecimento de energia. (RIBEIRO, 2008).

Utilizadas pelas distribuidoras com o objetivo de melhorar o fornecimento da energia e a confiabilidade do sistema, a rede de distribuição compacta é um conjunto formado por cabos semi- isolados, utilizando espaçadores losangulares poliméricos sustentados por um cabo guia de aço tensionado por suportes metálicos fixados nos postes (ADEEL, 2020).

Em essência, a rede de distribuição aérea compacta consiste em um sistema composto por cabos de aço e cabos revestidos ou protegidos, que são fixados em estruturas formadas por braços metálicos, espaçadores em formato losangular ou separadores de fase feitos de material polimérico. (CAMPOS, 2020). Todo esse conjunto de cabos é sustentado por um cabo de aço guia, que também desempenha a função de neutro no sistema de distribuição, sendo denominado cabo mensageiro. Os cabos revestidos ou protegidos são simplesmente encapados, não podendo ser considerados isolados eletricamente, uma vez que seu campo elétrico não é

confinado.

2.2 REDES DE MÉDIA TENSÃO

As redes de média tensão (MT), ou primárias, surgem a partir das subestações de distribuição e são responsáveis pela alimentação dos transformadores de distribuição que suprem à rede secundária, ou de baixa tensão. Além da alimentação das estações transformadoras de distribuição, as redes primárias também atendem aos consumidores primários, dentro os quais destacam indústrias de médio porte e grandes conjuntos comerciais. (RIBEIRO, 2008).

Essas redes primárias se situam entre uma subestação de distribuição alimentada pela rede de alta tensão, utilizada para transporte a longas distâncias, e a montante dos postos de transformação, para alimentação dos clientes em baixa tensão, que alimenta os consumidores residenciais e pequenos estabelecimentos. As tensões variam tipicamente entre 13,8 kV e 34,5 kV. (CARVALHO, 2023)

As linhas aéreas de MT podem ser relativamente extensas, para levar energia a todos os clientes das zonas rurais, e têm várias ramificações ao longo da linha principal. Devido a esta grande extensão e ao facto de ser composta por condutores nus isolados pelo próprio ar e suspensos em apoios, este tipo de linhas, e os seus respetivos componentes, estão muito sujeitos a defeitos causados por vegetação, animais, causas humanas e condições atmosféricas adversas. (FERREIRA, 2013).

Além disso, essas redes enfrentam outros desafios como a necessidade de manutenção regular, uma vez que a deterioração de componentes pode levar a falhas e interrupções no fornecimento e a necessidade da adaptação tecnológica para a integração de fontes renováveis de energia, como a energia solar e eólica, que estão se tornando cada vez mais comuns, nas redes de média tensão, visando garantir um fornecimento de energia estável e confiável. (TECHCOMNEWS, 2024).

Logo, a compreensão de sua estrutura, funcionamento e desafios, permite o desenvolvimento de soluções que garantam a segurança, a eficiência e a sustentabilidade no fornecimento de energia elétrica. À medida que a demanda por energia continua a crescer e as tecnologias evoluem, a função das redes de média tensão se torna ainda mais importantes, destacando a necessidade de investimento em infraestrutura e inovação.

2.3 DIMENSIONAMENTO DE POSTE

O processo de dimensionamento mecânico de linhas que compõem redes de distribuição de energia elétrica em média tensão, têm o relevo e os esforços mecânicos como fatores preponderantes para seus projetos, visto que variações significativas das cotas altimétricas ao longo da trajetória de uma linha influenciam na quantidade, nas alturas e nas posições ótimas para as montagens (postes e estruturas) que sustentam os cabos de distribuição de energia, que por suas vezes têm suas flechas determinadas pelas extensões dos vãos entre os postes. (BRITO, 2017).

Geralmente, tal dimensionamento é realizado manualmente, de forma que o projetista, lançando mão de sua experiência, realiza alocação poste-a-poste no projeto, realizando julgamentos, na maioria das vezes, não aplicáveis ao contexto global da rede projetada, de maneira que não se alcança uma solução ótima (LABEGALINI, 2009).

Na elaboração de um projeto de uma linha aérea de distribuição de média tensão, tem de ser ter em consideração algumas condições, como: condições técnicas associadas aos limites impostos aos elementos que constituem uma linha de MT (quedas de tensão, perdas de energia, esforços aplicados aos apoios e níveis de aquecimento); condições de segurança (distância entre condutores, distância dos condutores ao solo e aos edifícios); condições económicas (minimização dos custos de construção escolhendo o melhor traçado); condições patrimoniais e ambientais (respeitar o património cultural e paisagísticos, bem como a fauna e flora da região, minimizando os danos). (CRUZ, 2010).

Um poste mal projetado ou mal implantado pode acarretar as seguintes anomalias: Flexão do poste (poste fletido) por ter o esforço mecânico aplicado ultrapassado a sua Carga Nominal; Inclinação do poste (poste fora de prumo) por ter o esforço ultrapassado o limite útil de resistência da fundação; Flexão e inclinação do poste (poste fora do prumo e fletido) por ter excedido ambos os limites, ou seja, o do poste e da fundação. (LIGHT, 2018)

Sendo assim, é importante considerar a carga mecânica, pesos dos condutores, condições climáticas, tipo e resistência do solo, material do poste e durabilidade, seguindo os critérios da norma específica da concessionária da região correspondente.

2.4 OTIMIZAÇÃO APLICADA A SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O termo "otimizar" refere-se à ação de tornar algo melhor ou mais adequado. Dependendo do contexto, a otimização pode assumir diferentes formas e significados. Em um sentido amplo,

otimizar é o processo de identificar e alcançar o melhor resultado possível em determinada situação. (CIDESP, 2024).

A otimização ganhou força durante a segunda guerra mundial, em seguida, as técnicas alcançaram as indústrias, principalmente nas áreas de logística, planejamento e controle de produção. O ápice do processo de otimização na época, ocorreu no final da década de 1950, depois que Dantzig criou o algoritmo Simplex (1947) para a resolução de problemas de PL (Programação Linear). Assim, os modelos não lineares eram relaxados para uma possível aplicação do método simplex. No início da década de 1960 já havia uma grande difusão da programação convexa devido às vantagens das propriedades da convexidade, a saber, a garantia de solução global, quando existir; as condições de otimalidade; a teoria de dualidade e a simplicidade de alguns métodos de solução. (DELGADO, 2015)

A otimização de redes de energia, sejam elas do tipo aéreas ou subterrâneas, justificam a realização de pesquisas e desenvolvimentos de novos materiais, equipamentos, bem como, das técnicas de construção, operação e manutenção. Também motivam a realização de estudos e desenvolvimento de ferramentas e metodologias para análise e acompanhamento de desempenho de sistemas elétricos, assim como, de ferramentas para o projeto das redes de distribuição com o objetivo de proporcionar melhorias relacionadas com o custo total de implantação, operação e manutenção ao longo de sua vida útil. (AZEVEDO, 2010).

Com isso, conclui-se que é de extrema importância a otimização de recursos aplicados a redes aéreas de distribuição de energia elétrica em decorrência de contribuir com o projetista com prazo menor utilizado para o dimensionamento de postes e elaboração do projeto, e custo menor para o cliente em razão da otimização na escolha do material com menor custo e que atende as exigências do projeto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de distribuição abrange postes, estruturas de suporte, cabos condutores e dispositivos, como fusíveis e transformadores. Esses sistemas podem ser classificados como aéreos ou subterrâneos, cada um apresentando suas próprias vantagens e desvantagens.

3.1 POSTES

No sistema de distribuição, a utilização de postes é de grande importância para o fornecimento eficiente de energia elétrica. Em comparação com os cabos subterrâneos, o impacto ambiental causado por postes é mínimo, pois há menos interrupção na paisagem natural e é possível a manutenção da rede com mais facilidade.

Existem diversos tipos de postes, mas atualmente o padrão de postes para redes de distribuição são os postes de concreto. Os modelos mais comuns de postes de concreto são os postes duplo T e os postes de seção circular.

3.1.1 Poste Duplo T

Postes de concreto armado de seção Duplo T (DT) são estruturas de seção rígida com perfil em T, utilizadas para sustentar cabos e equipamentos elétricos em vias urbanas, rurais, subestações e outras instalações elétricas. Usualmente são modelados como vigas em balanço, nas quais o esforço de flexão é preponderante (SILVA, 2019). Esse tipo de estrutura tem a função de prevenir choques elétricos a indivíduos que caminharem ao seu redor e possui têm seção variável ao longo de sua altura, gerando uma grande economia na fabricação dos mesmos e na execução de suas fundações.

Para que ocorresse uma padronização, pelas suas características e vantagens, a Equatorial-Goiás recomenda, por norma, o poste duplo T para a construção de redes de média tensão (ABNT NBR 8451-1).

Figura 2 - Poste Duplo T.



Fonte: Acervo da Autora

3.1.2 Postes Circulares

O poste circular de concreto (CC) (Figura 3) possui resistência a tração igualmente distribuída em todos os sentidos, pois é uma estrutura uniforme e circular. Esse poste é geralmente encontrado com alturas entre 7 metros e 24 metros e possui o interior vazado, ou seja, esse modelo de poste não é maciço.

Figura 3 - Poste Circular.



Fonte: Acervo da Autora

3.2 FABRICAÇÃO POSTES DE CONCRETO

A produção adequada e eficaz dos postes é tirada por base na especificação técnica elaborada pela concessionária responsável pela distribuição de energia do estado de Goiás, Equatorial, ET.140-2:2020.

3.2.1 Materiais

- Cimento Portland CP V (Cimento Portland de alta resistência) Ari;
- Agregados (Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, estáveis e duráveis, e não podem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento-ABNT 7211;
- Água destinada ao amassamento do concreto e isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas;
- Barra, fios e cordoalhas de aço utilizados nas armaduras.

3.2.2 Produção

O concreto deve ser dosado de forma criteriosa, levando em consideração as características granulométricas dos agregados, a resistência característica especificada no projeto e a trabalhabilidade requerida. Esta trabalhabilidade é importante para assegurar um adequado adensamento do concreto, especialmente quando se trata de peças com grandes dimensões e alta densidade de armaduras. Uma dosagem bem planejada garante que o concreto atenda às exigências estruturais e de performance.

Após a concretagem do poste, a cura deve ser iniciada, podendo ser realizada com o auxílio de coberturas (lonas plásticas, exceto as de cor preta) colocadas sobre as formas ou outros processos equivalentes, até o momento da desforma, quando deve ser iniciada a cura definitiva que deve ser feita com água, ajudando a dissipar a temperatura gerada pela hidratação do cimento. A água deve manter a superfície do concreto úmida usando tubos, aspersores ou chuveiros. A cura deve durar pelo menos 3 dias, dependendo do tipo de cimento. A remoção do poste antes de 28 dias só é permitida com comprovação da resistência à compressão (f_{ck}) e autorização da área responsável por normas e qualidade.

3.3 VÃOS E ALTURA

De acordo com as normas técnicas elaboradas pela concessionária responsável pela distribuição de energia do estado de Goiás, Equatorial, NT.022-2:2023 e NT. 018-6:2023 que são relacionadas a rede de tensão primária convencional 34,5 KV e rede de tensão primária compacta 13,8 kV, foram considerados os seguintes parâmetros para a rede de distribuição:

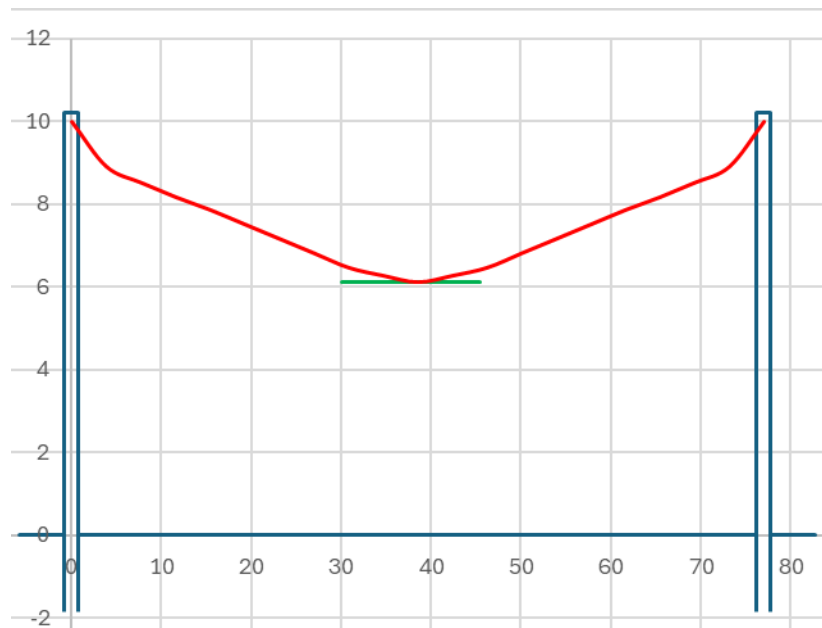
- O vão máximo utilizado para a rede de distribuição urbana é 80 metros para a rede primária;
- Na rede de distribuição rural é de 110 metros para a rede primária;
- Em relação ao tamanho dos postes, a altura mínima exigida é de 10 metros para redes rurais monofásicas e 11 ou 12 metros para redes trifásicas, de acordo com a necessidade do projeto.

3.4 FLECHAS

Define-se como flecha (Figura 4), o deslocamento vertical do cabo submetido a força da gravidade, ou seja, determina-se o comprimento de uma flecha através da diferença entre a

altura do cabo em repouso e a altura ideal do cabo, que seria a disposição do cabo totalmente na horizontal. O cálculo de seu valor é feito por meio das Equações 1 e 2.

Figura 4 – Flecha calculada pela ferramenta.



Fonte: Acervo da Autora

$$T_0 = \sqrt{T^2 - (wg)^2} \quad (1)$$

Sendo:

- T_0 Tensão
- T Tração no cabo
- w peso por unidade de comprimento
- g aceleração da gravidade

A partir da equação anterior, e de acordo com (origem da fórmula), a flecha pode ser obtida a partir da equação 2:

$$f = \frac{T_0}{w} \left(\cosh \left(\frac{wL}{2T_0} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

Sendo:

- F Flecha (m)
- T_0 Tensão

w	peso por unidade de comprimento
L	comprimento da vão (m)

3.4.1 Limites para flechas

Segundo a especificação técnica elaborada pela concessionária responsável pela distribuição de energia do estado de Goiás, Equatorial, ET.140-2:2020, os postes submetidos a uma tração igual à carga nominal não devem apresentar flechas superiores a:

a) 3,5% do comprimento nominal, quando a tração for aplicada na direção de maior inércia do poste de seção duplo T (face B). Para postes de concreto protendido, este valor é reduzido para 2,5%.

b) 5% do comprimento nominal, quando a tração for aplicada na direção de menor inércia (face A) do poste de seção duplo T. Para postes de concreto protendido, este valor é reduzido para 3,5%.

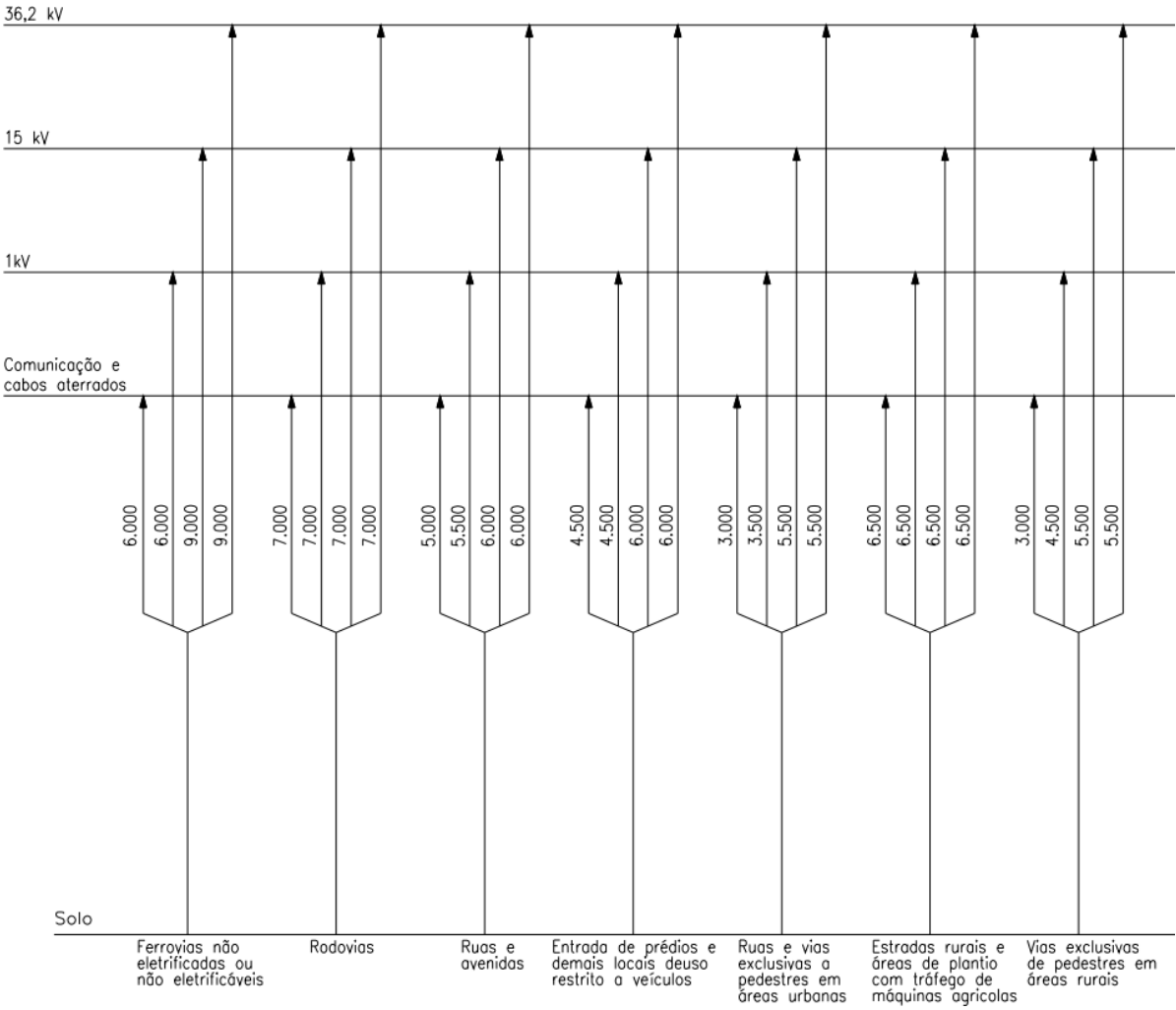
Já na flecha Residual, medida depois que se anula a aplicação de um carregamento correspondente a 140% da carga nominal no plano de aplicação dos carregamentos reais, não deve ser maior que:

a) 0,35% do comprimento nominal, quando a tração for aplicada na direção de maior inércia do poste de seção duplo T (face B). Para postes de concreto protendido, este valor é reduzido para 0,25%.

b) 0,5 do comprimento nominal, quando a tração for aplicada na direção de menor inércia do poste de seção duplo T (face B). Para poste de concreto protendido, este valor é reduzido para 0,35%.

Além disso, a distância do cabo ao solo deve respeitar as distâncias de segurança previstas nas normas das distribuidoras, como visto na Figura 5. Estes valores garantem a segurança nas proximidades das redes e são fator de grande importância quando se deseja otimizar o posicionamento dos postes na construção de uma rede de distribuição de energia elétrica.

Figura 5 - Afastamentos mínimos – Condutor ao solo.



Fonte: Equatorial Goiás (2023).

4 METODOLOGIA

Nesse capítulo, será apresentado o desenvolvimento e construção da planilha, dados necessários para a utilização da mesma e métodos e cálculos utilizados para chegar nos resultados.

4.1 ELABORAÇÃO DA PLANILHA

Para a construção da planilha, inicialmente foi feito um levantamento dos tipos de rede de distribuição aérea elétrica, e as mais comuns a redes de média tensão.

Após o ponto principal foi fazer uma revisão das normas que se tratavam dos cálculos de esforço de postes, sobre condutores, tamanho de postes, as mais utilizadas foram as Normas Técnicas – NT.006 (Revisão 02 – 2023); NT.018 (Revisão 06 – 2023) e NT.022 (Revisão 02 – 2023) da distribuidora Equatorial- GO e Instalações Básicas de Redes de Distribuição Compactas (ND. 2.9) da distribuidora CEMIG- MG.

É importante destacar que certas premissas foram adotadas com o objetivo de facilitar o tratamento de algumas das equações necessárias para os cálculos. Para isso, consideraram-se as padronizações estabelecidas nas normas do grupo Equatorial, no que se refere aos requisitos que devem ser atendidos na elaboração de projetos de redes urbanas e rurais.

Os valores colocados para o resultado de valor final de rede foram baseados em uma cotação em diversos fornecedores de serviço de rede elétrica e feita uma média para chegar em um valor final. Sobretudo, possui abas abertas para atualizações de valores, considerando que os preços são mutáveis.

A planilha foi elaborada de modo a ser simples e de fácil utilização, sendo a princípio necessário selecionar alguns dados que necessita apenas do entendimento do nível de tensão existente (13,8 kV ou 34,5 kV) e local (urbana ou rural); dados dos condutores e tamanho da rede que será executada, como mostrado na figura 6.

Figura 6 -Entrada de dados da planilha

Cabo		Cabo	
34,5kV nu 336,4	▼	34,5kV nu 336,4	▼
13,8kV coberto 35mm ²		13,8kV coberto 95mm ²	
13,8kV coberto 50mm ²		13,8kV coberto 120mm ²	
13,8kV coberto 70mm ²		13,8kV coberto 150mm ²	
13,8kV coberto 95mm ²		13,8kV coberto 185mm ²	
13,8kV coberto 120mm ²		34,5kV nu 1/0	
13,8kV coberto 150mm ²		34,5kV nu 4/0	
13,8kV coberto 185mm ²		34,5kV nu 336,4	
34,5kV nu 1/0			

Local	
Rural convencional 34,5kV	▼
Urbana compacta 13,8kV	
Urbana convencional 34,5kV	
Rural convencional 13,8kV	
Rural convencional 34,5kV	

Distância total (m)	Percentual do índice de ruptura
1000	10%

Fonte: Acervo da Autora

Como dados de entrada, a planilha requer a distância da rede elétrica que será executada em metros, o tipo nível de tensão (13.8 kV ou 34.5 kV) e local (urbana ou rural) juntamente com o tipo e a bitola (35,50,70,95,120,150,185, 1/0, 4/0 ou 336,4) e material do condutor (alumínio ou cobre), adotando um percentual do índice de ruptura de 10% (recomendado pela CEMIG- MG), como resultado, a planilha retorna uma saída gráfica de como ficará a flecha, representando as forças de tração dos condutores, e outro gráfico mostrando os valores da rede, quantidade e tamanho dos postes e largura dos vãos mais adequados para o uso na situação selecionada.

Os dados de saída corretos para cada situação vão se dar de acordo com o cálculo das flechas (Equações 1 e 2), tendo como referência os limites de distância permitidas, que foram consultados nas normas técnicas NT.006 (Revisão 02 – 2023); NT.018 (Revisão 06 – 2023) e NT.022 (Revisão 02 – 2023) da Equatorial- GO, como mostra a tabela 1 e os dados dos condutores (Tabela 2), que foram apurados na Norma Técnica de Instalações Básicas de Redes

de Distribuição Compactas (ND. 2.9) da CEMIG- MG, juntamente com a ABNT NBR 7271, ABNT NBR 11873 e ABNT NBR NM 280.

Tabela 1 – Distâncias máximas permitidas

	altura	Dmax
Urbana compacta 13.8kV	6	80
Urbana convencional 34.5kV	6	80
Rural convencional 13.8kV	6,5	110
Rural convencional 34.5kV	6,5	110

Fonte: Acervo da Autora.

Tabela 2 – Dados dos Cabos

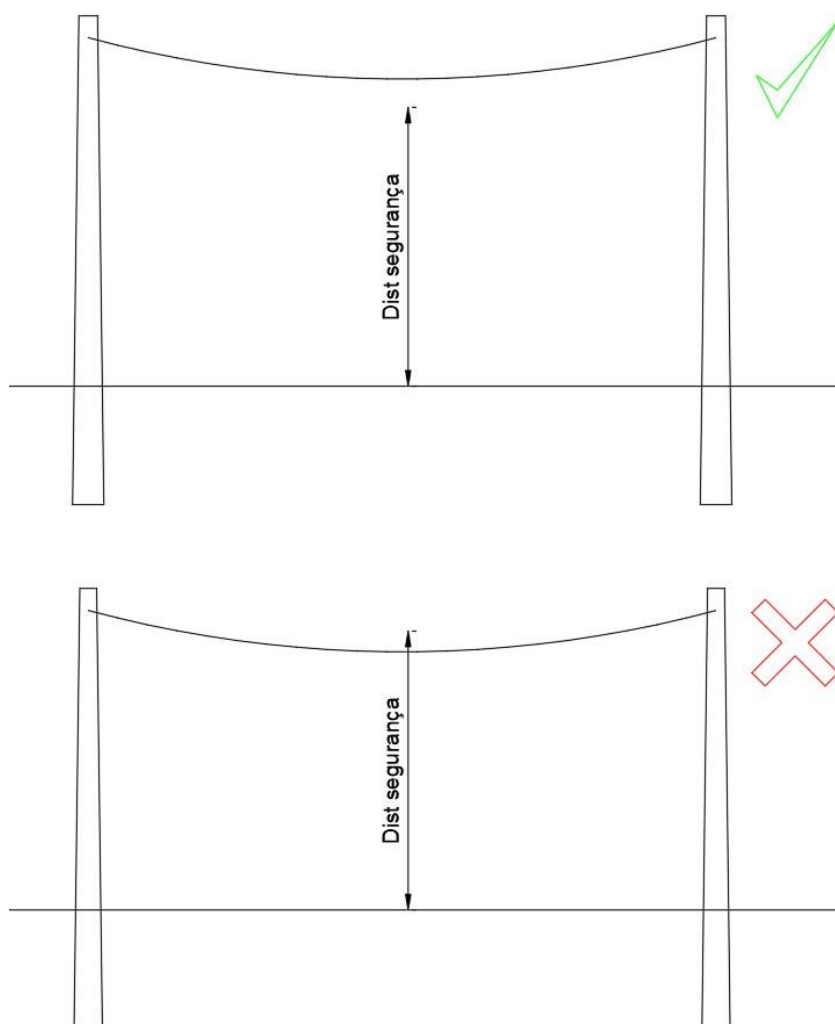
Cabos (fase e mensageiro)	Fase		Mensag		Aço ou alumínio	Total da rede
	P	n	P	n	Carga Ruptura (daN)	Massa (kg/km)
13,8kV coberto 35mm ²	184	3	407	1	4900	1036,3913
13,8kV coberto 50mm ²	226	3	407	1	4900	1172,5595
13,8kV coberto 70mm ²	297	3	407	1	4900	1402,7486
13,8kV coberto 95mm ²	384	3	407	1	4900	1684,8113
13,8kV coberto 120mm ²	462	3	407	1	4900	1937,6951
13,8kV coberto 150mm ²	546	3	407	1	4900	2210,0315
13,8kV coberto 185mm ²	672	3	407	1	4900	2618,5361
34,5kV nu 1/0	147,6	3	0	0	2652	478,53396
34,5kV nu 4/0	296,1	3	0	0	5103	959,98581
34,5kV nu 336,4	470	3	0	0	950	1523,787

Fonte: Acervo da Autora.

4.2 CÁLCULOS REALIZADOS PELA PLANILHA

A partir dos dados fornecidos pelo usuário a planilha é responsável por calcular para cada vão possível para o projeto, qual o valor de flecha obtido. Este valor é então subtraído do comprimento do poste, juntamente com o engaste e a altura da rede ao topo do poste. Ao final, caso o ponto mais baixo da rede respeite as distâncias de segurança prevista em norma, aquela combinação de vão e de altura de poste são tratados como alternativas viáveis, vide situações da Figura 5.

Figura 7 -Verificação de altura da rede.



Fonte: Acervo da Autora.

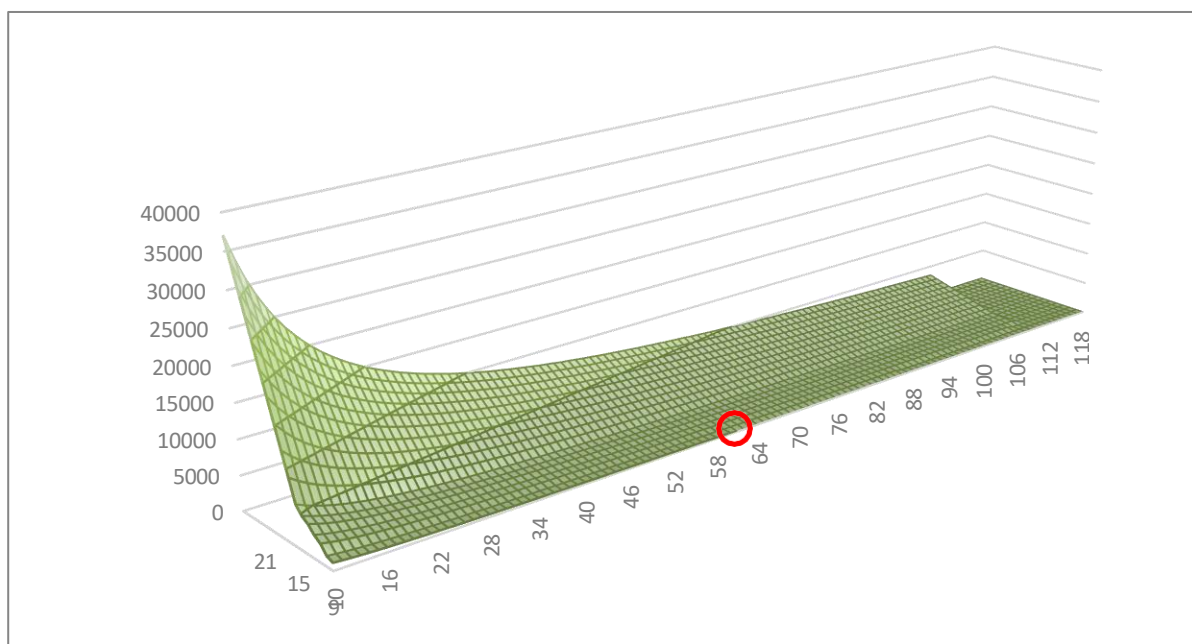
No cenário mostrado a primeira configuração é válida porque após serem descontados o valor da flecha, o comprimento do engaste do poste e a distância da rede ao topo do poste a distância de segurança para aquela situação é respeitada. Contudo, caso o poste seja reduzido para a seção imediatamente inferior, a distância de segurança não mais é respeitada, sendo aquela alternativa de poste e vão adequada.

As combinações são então analisadas e para aquelas que atendem às condições de segurança, são incluídos custos com estruturas de rede e mão de obra de instalação de modo a se calcular os custos totais para a adoção daquela alternativa. Assim, vãos maiores são desejáveis, desde que não gerem flechas que violem as restrições do problema. Além disso, postes de maior altura e que permitiriam a utilização de vãos maiores são desinteressantes devido ao custo elevado do item e um maior custo com mão de obra para sua instalação.

O resumo da análise realizada pela ferramenta pode ser visto no gráfico 1, que mostra o

custo de instalação de cada alternativa em função do variável poste utilizado e vão de rede. A figura ainda destaca qual a alternativa com melhor custo para cada situação calculada, com destaque para a melhor situação.

Gráfico 1 – Custo de instalação em função dos postes e vão.



Fonte: Acervo da Autora.

5 RESULTADOS

Nessa sessão são apresentados exemplos de utilização da planilha desenvolvida e exemplos de projetos reais executados e aprovados pela concessionária, em G2M PROJ, programa em que a Equatorial-GO exige que sejam feitos os projetos, para que haja uma comparação e conclusão. Foram escolhidas quatro situações distintas, mostradas a seguir.

- Local: Rural convencional 34,5 kV, Cabo: NU 1/0 e distância total de 355 metros;
- Local: Urbana compacta 13,8 kV, Cabo: 50 mm coberto e distância total de 152 metros;

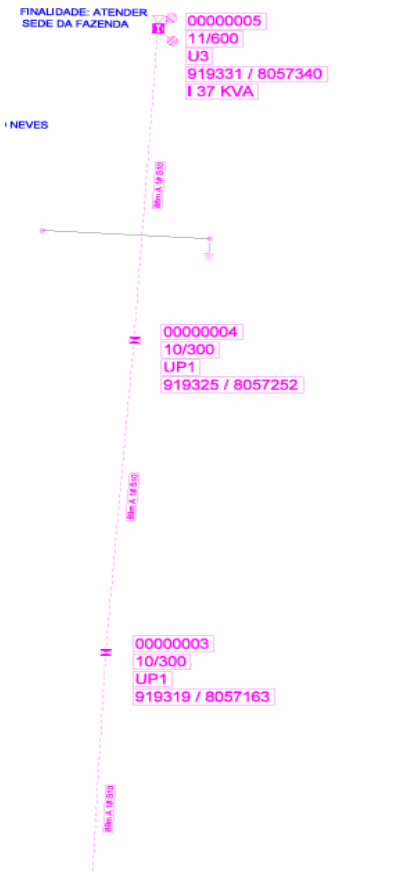
Para fazer uma comparação entre simulações de mesma distância, foram escolhidas as situações abaixo:

- Local: Rural convencional 34,5 kV, Cabo: NU 4/0 e distância total de 10.000 metros;
- Local: Urbana compacta 13,8 kV, Cabo: 120 mm coberto e distância total de 10.000 metros.

5.1 RURAL CONVENCIONAL 34,5KV/335 METROS

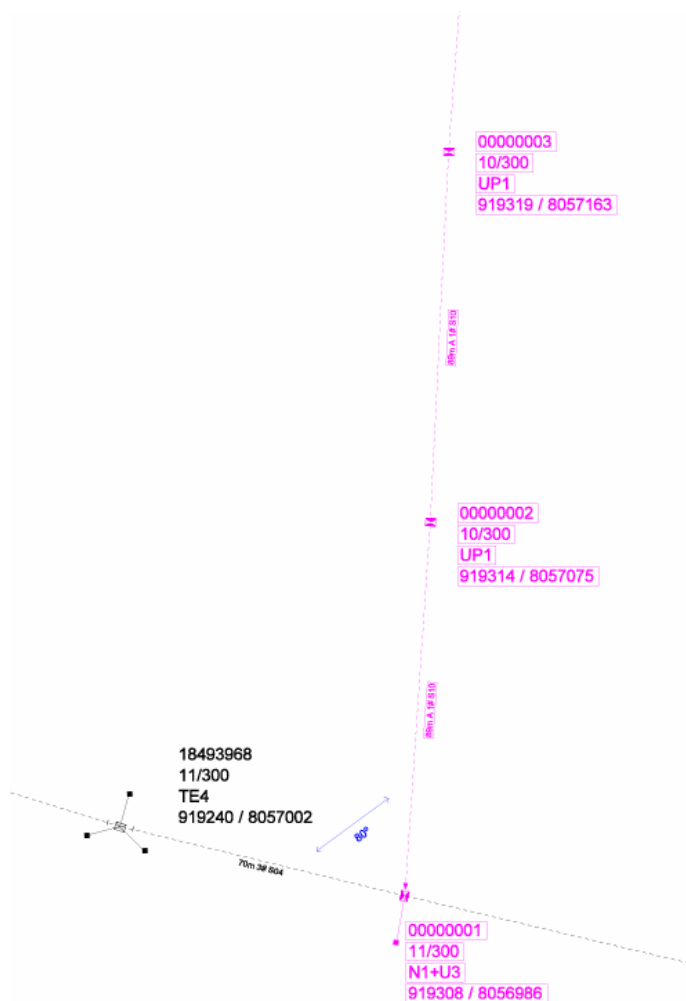
Como exemplo (Figuras 8 e 9), se enquadra uma rede rural convencional com tensão de rede de 34,5 kV. A rede elétrica possui uma distância de 355 metros de extensão, utilizando condutores 1/0 CAA.

Figura 8- Projeto rede rural convencional- trecho 1



Fonte: Acervo da Autora

Figura 9– Projeto rede rural convencional- trecho 2



Fonte: Acervo da Autora

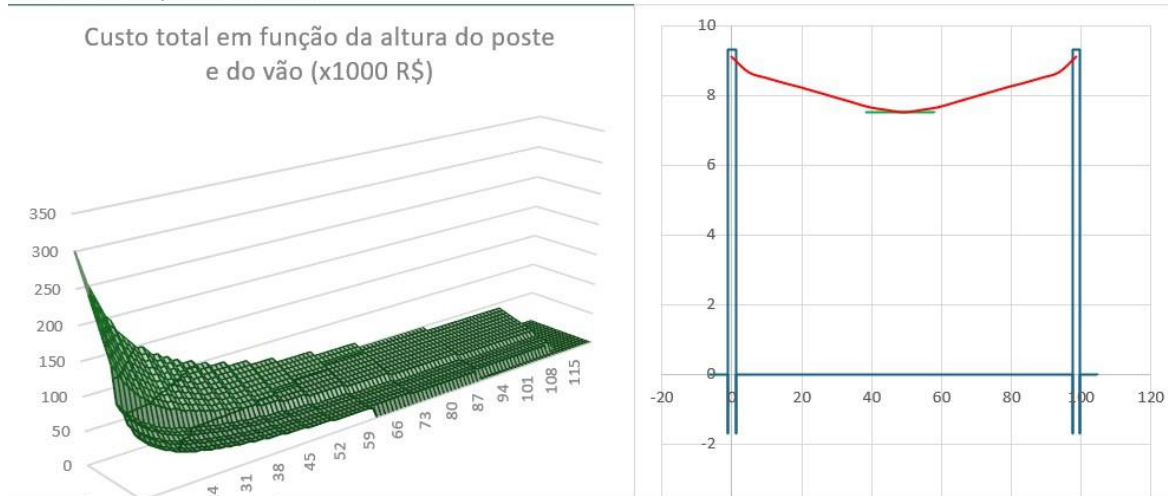
A execução da rede elétrica foi realizada de acordo com o projeto acima, utilizando 5 postes DT com comprimento nominal de 10 metros, instalados com 4 vãos, sendo 3 vãos de 89 metros e 1 vão de 88 metros, com um custo final com os postes, mão de obra e estruturas, de acordo com os preços de mercado de novembro de 2024, de R\$10.222,00.

Na figura 10 abaixo, são exemplificados a mesma rede acima, porém utilizando planilha:

Figura 10– Resultado planilha

Local	Cabo	Tração (daN)	Massa (kg/km)	Altura ao solo	Dist max
Rural convencional 34,5kV	34,5kV nu 1/0	2652	478,53396	6,5	110
Distância total (m)	Percentual do índice de ruptura				
355	10%				

A melhor combinação para uma linha com 355 metros com cabos 34,5kV nu 1/0 é utilizar 5 postes de 11 metros instalados com distância de 89-108 metros entre si. Flecha máxima de 1,80 metros. Custo total de instalação (incluindo postes, mão e obra e estrutura) de R\$ 10.222,0



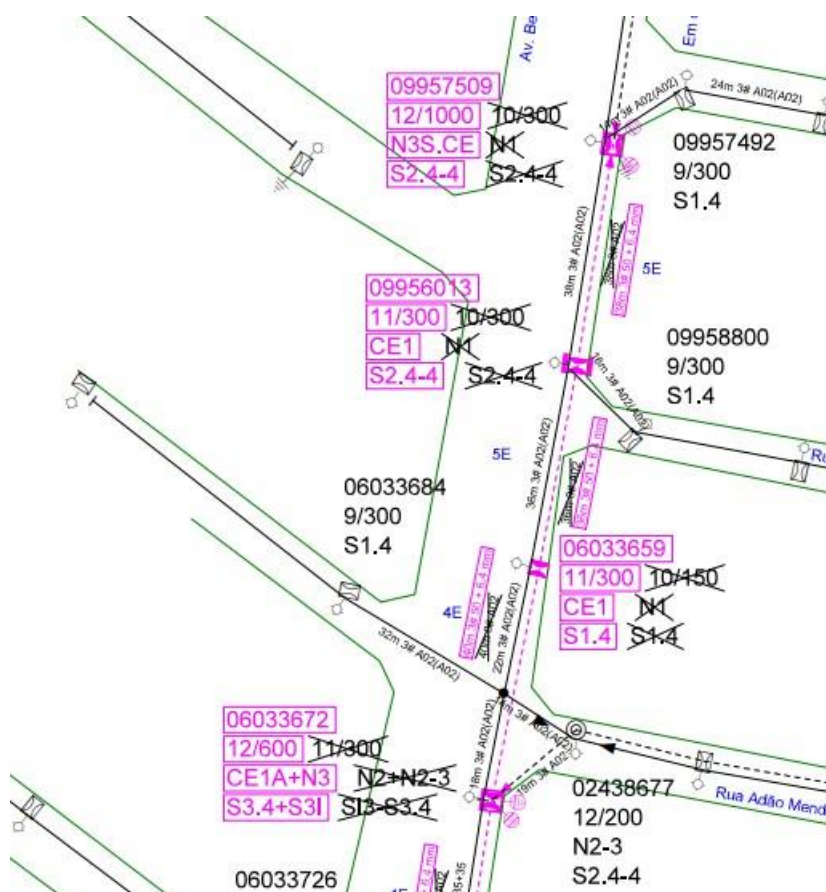
Fonte: Acervo da Autora

Logo, conclui-se que seria mais viável a instalação de 5 postes de 11 metros com vãos de 60 metros entre si, o que resultaria em uma flecha de 1,80 metros e um custo final com os postes, mão de obra e estruturas, de acordo com os preços de mercado de novembro de 2024, de aproximadamente R\$10.222,00.

5.2 URBANA COMPACTA 13,8KV/ 152 METROS

Como exemplo (Figuras 11 e 12), se enquadra uma rede urbana compacta de conexão de loteamento, com tamanho de 152 metros, utilizando condutor coberto de 50mm e tensão 13,8kv.

Figura 11- Projeto rede urbana compacta- trecho 1



Fonte: Acervo da Autora

Figura 12- Projeto rede urbana compacta - trecho 2

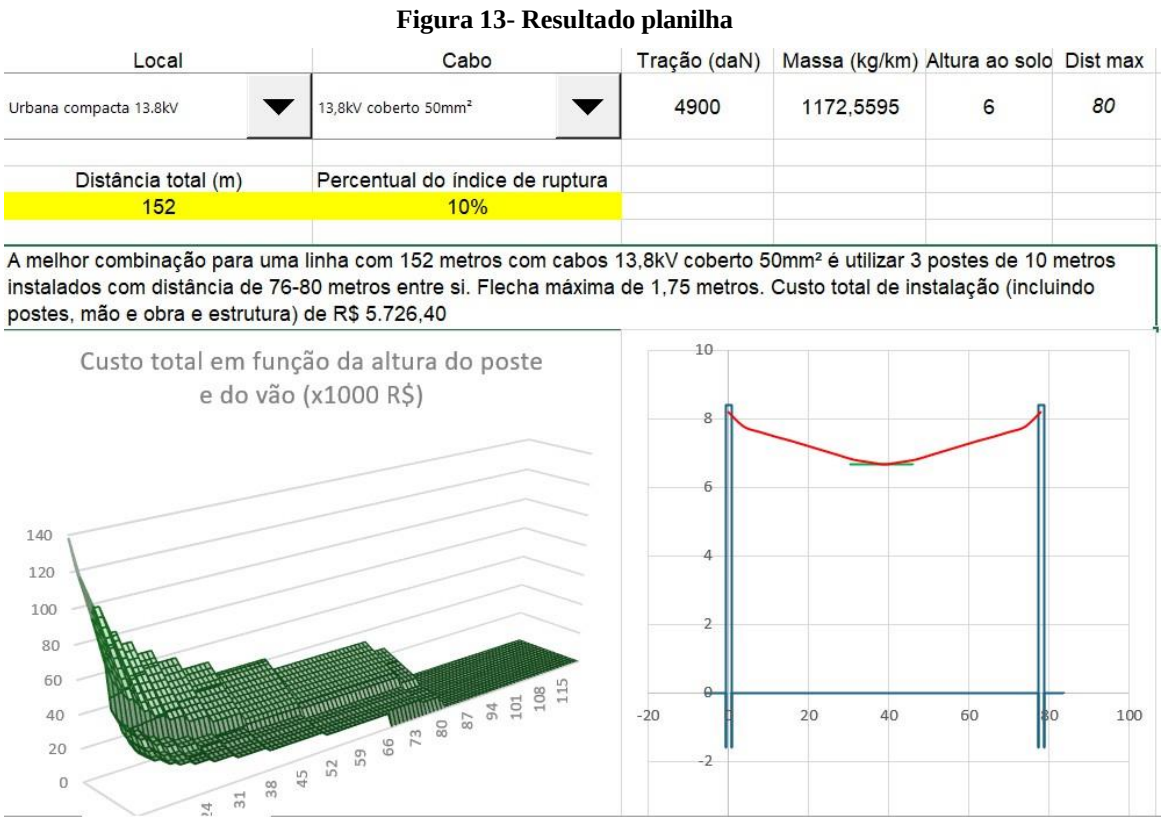


Fonte: Acervo da Autora

A execução da rede elétrica foi realizada de acordo com o projeto acima, utilizando 5

postes, sendo eles: três com comprimento nominal de 11 metros, dois de 12 metros, formando 4 vãos, sendo 2 vãos de 38 metros, 1 vão de 36 metros e 1 vão de 40 metros, com um custo final da rede completa, de acordo com os preços de mercado de novembro de 2024, de aproximadamente R\$ 8.225,00

Na figura 13 abaixo, são exemplificados a mesma rede acima, porém utilizando planilha:



Logo, conclui-se que seria mais viável a instalação de 3 postes de 10 metros com vãos de 76 a 80 metros entre si, o que resultaria em uma flecha de 1,75 metros e um custo final com a rede elétrica completa, de acordo com os preços de mercado de novembro de 2024, de aproximadamente R\$5.726,40.

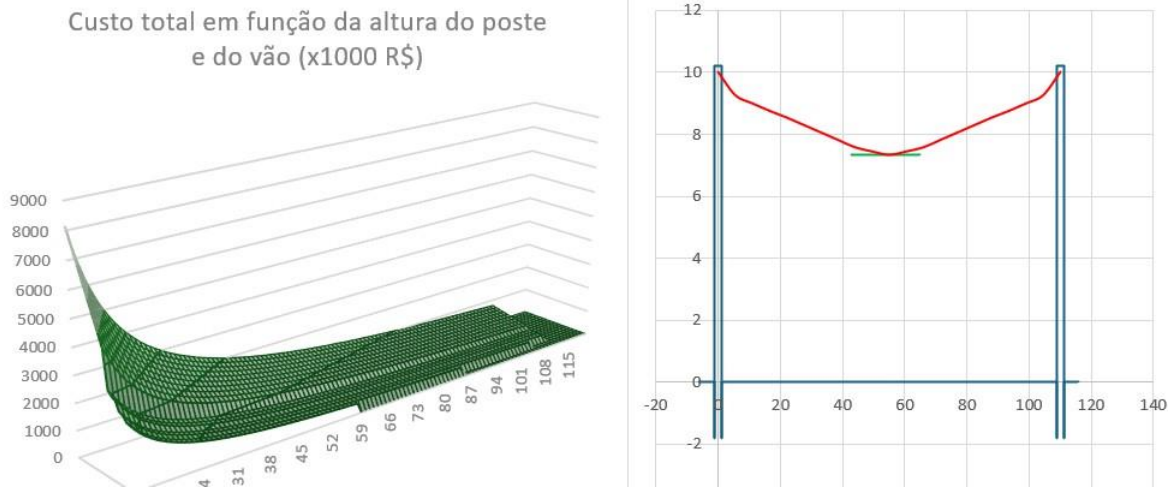
5.3 RURAL CONVENCIONAL 34,5KV/10.000 METROS

A figura 14, foi feita uma simulação com uma rede elétrica rural, de tamanho 10.000 (10 KM), de tensão 34,5kv e utilizando condutor NU 4/0CAA.

Figura 14- Resultado planilha

Local	Cabo	Tração (daN)	Massa (kg/km)	Altura ao solo	Dist max
Rural convencional 34.5kV	34,5kV nu 4/0	5103	959,98581	6,5	110
Distância total (m)		Percentual do índice de ruptura			
10000		10%			

A melhor combinação para uma linha com 10000 metros com cabos 34,5kV nu 4/0 é utilizar 92 postes de 12 metros instalados com distância de 110-110 metros entre si. Flecha máxima de 2,86 metros. Custo total de instalação (incluindo postes, mão e obra e estrutura) de R\$ 192.464,0



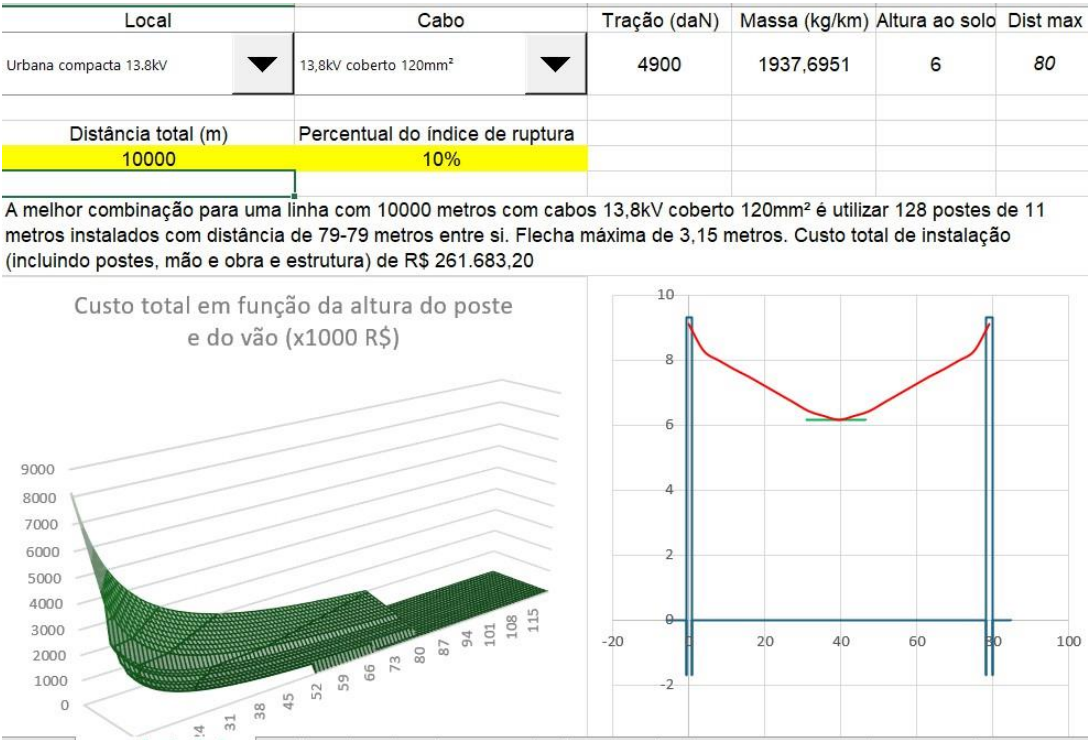
Fonte: Acervo da Autora

O resultado da planilha apresenta que é viável a instalação de 92 postes de 12 metros com vãos com comprimento de 110 metros, o que resultaria em uma flecha de 2,82 metros e um custo final com a rede completa, de acordo com os preços de mercado de novembro de 2024, de aproximadamente R\$ 192.464,00

5.4 URBANA COMPACTA 13,8KV/ 10.000 METROS

Como exemplo de utilização da planilha, a Figura 15, se enquadra uma rede urbana compacta, com tamanho de 10.000 metros, utilizando condutor coberto de 120mm e tensão 13,8 kv.

Figura 15- Resultado planilha



Fonte: Acervo da Autora

Logo, conclui-se que seria mais viável a instalação de 128 postes de 11 metros com vãos de 79 metros entre si, o que resultaria em uma flecha de 3,15 metros e um custo final com os a rede elétrica completa, de acordo com os preços de mercado de novembro de 2024, de aproximadamente R\$ 261.683,20.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de uma planilha de cálculo para servir como ferramenta ao projetista para o auxílio do dimensionamento de postes, quantidade e tamanho de vãos entre os postes em redes de média tensão, apresentando também o valor final da rede que a rede custará em relação aos postes, visto que a planilha será usufruída por uma fábrica de postes e construtora de redes de energia.

O dimensionamento é feito com base na viabilidade econômica, respeitando as normas de concessionária e utilizando postes e tamanho de vãos de forma com que o resultado final da rede elétrica fique mais acessível ao cliente.

Foram apresentados exemplos de projetos já executados com orçamento e dimensionamento feitos sem o auxílio da planilha, sendo analisadas quatro situações:

- Local: Rural convencional 34,5 kV, Cabo: NU 1/0 e distância total de 355 metros;
- Local: Urbana compacta 13,8 kV, Cabo: 50 mm coberto e distância total de 152 metros; Também foram feitas simulações de rede elétrica com 10.000 metros em diferentes situações:
- Local: Rural convencional 34,5 kV, Cabo: NU 4/0 e distância total de 10.000 metros;
- Local: Urbana compacta 13,8 kV, Cabo: 120 mm coberto e distância total de 10.000 metros;

A partir da análise dos resultados, pôde-se avaliar a diferença de valores e quantidade de postes em cada uma das duas situações propostas, mostrando graficamente o modelo da flecha em cada vão, e o custo total em razão da altura do poste e do vão.

Na rede rural convencional, nota-se que a quantidade de postes do projeto já existente se manterá o mesmo em relação ao resultado da planilha, demonstrando a precisão de dimensionamento, visto que o engenheiro projetista também utilizou o tamanho dos postes de acordo com a viabilidade econômica.

É possível visualizar que na rede urbana compacta a quantidade de postes diminuiu, de 5 postes para 3, e os postes também foram dimensionados de tamanho menor, o tamanho dos postes e dos vãos atendem as normas de concessionária e é conveniente a utilização dos resultados da planilha em razão da viabilidade econômica, o valor final da rede é viável.

Nas simulações feitas em situações distintas com redes de 10.000 metros, percebe-se que a quantidade de postes na rede urbana será maior devido as normas de concessionária de acordo com a largura permitida para vãos, onde na rede urbana é menor.

Deste modo, é possível concluir que a ferramenta executada apresentou resultados

significativos e será de grande auxílio ao projetista, construtor da rede elétrica e até mesmo vendedores de poste, no momento do orçamento, projeto e para vendas, o trabalho teve um bom aproveitamento e terá aproveitamento também para trabalhos futuros.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

- Abranger a ferramenta de cálculo para que também obtenha os mesmos resultados em redes de baixa e alta tensão.
- Considerar diferentes cenários de instalação, incluindo fatores como terrenos irregulares, travessias.
- Avaliar como as normas técnicas e regulamentações locais impactam no dimensionamento de postes e vãos e nos custos associados.
- Realizar uma análise comparativa entre redes de média tensão aéreas e subterrâneas, considerando os aspectos econômicos de instalação, manutenção e operação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Normas Regulamentadoras. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/regulamentadoras>. Acesso em: 17 nov. 2024.

AZEVEDO, Fernando Araujo de. Otimização de rede de distribuição de energia elétrica subterrânea reticulada através de algoritmos genéticos. 2010.

CAMPOS, Leonardo Barreto. Camada de Transporte. Disponível em: http://www.univasf.edu.br/~leonardo.campos/Arquivos/Disciplinas/Redes_I_2008_2/Redes_I_Aula_09.pdf, acesso em: 17 nov. 2024.

CARVALHO, Ramon Almeida de. Planilha para cálculo de esforço mecânico resultante em postes de redes aéreas de distribuição de energia elétrica. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

CIDESP. Otimizar significado: entenda o conceito e aplicações. Disponível em: <URL do site, se disponível>. Acesso em: 17 nov. 2024.

CRUZ, Pedro Miguel Ferreira et al. Linha MT: aspectos construtivos, projecto e manutenção. 2010.

DELGADO, Marcos André de Jesus. Otimização de sistemas de distribuição de energia elétrica radiais usando programação cônica de segunda ordem inteira mista. 2015.

EQUATORIAL GOIÁS. NORMA TÉCNICA NT.006: Padrão de Estruturas de Rede de Distribuição Aérea de Energia Elétrica para 13,8kV. Revisão 06, 2023.

EQUATORIAL GOIÁS. NORMA TÉCNICA NT.018: Rede De Distribuição Compacta. Revisão 02, 2023.

EQUATORIAL GOIÁS. NORMA TÉCNICA NT.022: Padrão de Estruturas de Rede de Distribuição Aérea de Energia Elétrica para 23,1 e 34,5kV. Revisão 02, 2023.

EQUATORIAL GOIÁS. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA ET.140-2:2020: Postes de Concreto.

2020.

FERREIRA, João Francisco Lopes. Os Órgãos de Corte de Rede de 3ª Geração nas Redes de Distribuição de Média Tensão. 2013.

KAGAN, Nelson; DE OLIVEIRA, Carlos César Barioni; ROBBA, Ernesto João. Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Editora Blucher, 2021.

LABEGALINI, P. R. Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão. 2ª ed. Ed. Edgard Blücher, 2009.

MORORÓ, Mariana Barros. Análise dos indicadores coletivos de continuidade de fornecimento de energia da rede elétrica de distribuição: um estudo na região norte do Ceará. 2023.

PROCEDIMENTO TÉCNICO LIGHT. PTL0426DT/18-R0: Dimensionamento de postes para redes de distribuição aérea de energia elétrica. Rio de Janeiro, 2018.

RIBEIRO, A. L. Benefícios da rede de Distribuição Aérea compacta 15 kV. Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, 2008.

ROMAGNOLE. Tendências para o futuro de smart grids: está mudando a forma de consumir e distribuir energia elétrica. 2020. Disponível em: <http://www.romagnole.com.br/noticias/tendencias-para-o-futuro-das-smart-grids-no-brasil-como-a-implementacao-de-smart-grids-esta-mudando-a-forma-de-consumir-e-distribuir-energia-eletrica/>. Acesso em: 05 nov. 2023.

SILVA, Bárbara Vieira. Análise dos esforços atuantes em postes de concreto armado devido a cabos. 2019.

SILVA, João da. O impacto da educação digital nas escolas. Rio de Janeiro: Editora Saber, 2018.

TECHCOM NEWS. Desafios na implementação de redes. Disponível em: <https://techcomnews.substack.com/p/desafios-na-implementacao-de-redes>. Acesso em: 17 nov. 2024.