

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

José Eduardo Gorges Silveira

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA CÁLCULO DE
ESFORÇO MECÂNICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO E
TELECOMUNICAÇÕES**

Florianópolis
2021

José Eduardo Gorges Silveira

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA CÁLCULO
DE ESFORÇO MECÂNICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO E
TELECOMUNICAÇÕES**

**Trabalho de Conclusão de Curso sub-
metido à Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito neces-
sário para obtenção do grau de Bacha-
rel em Engenharia Elétrica.**

Orientador: Prof. Mauricio Valencia Ferreira
da Luz, Dr.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gorges Silveira, José Eduardo
DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA CÁLCULO DE ESFORÇO
MECÂNICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES / José
Eduardo Gorges Silveira ; orientador, Mauricio Valencia
Ferreira da Luz, 2021.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Esforço mecânico. 3. Rede de
distribuição. 4. Tração de cabos elétricos. 5.
Compartilhamento de postes. I. Valencia Ferreira da Luz,
Mauricio. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

José Eduardo Gorges Silveira

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA CÁLCULO DE ESFORÇO MECÂNICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 22 de dezembro de 2021



Documento assinado digitalmente

Jean Viane Leite

Data: 02/02/2022 14:47:05-0300

CPF: 003.474.909-80

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Jean Viane Leite, Dr.

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Mauricio Valencia Ferreira da Luz

Data: 22/12/2021 08:53:07-0300

CPF: 960.926.969-91

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.

Orientador.

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

geovane.ribeiro

Data: 22/12/2021 08:45:54-0300

CPF: 066.838.499-94

Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Geovane Ribeiro

Instituto Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Cristhian Marcelo Becker Cares

Data: 01/02/2022 15:49:09-0300

CPF: 013.010.419-12

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Cristhian Marcelo Becker Cares, MSc

Universidad de Santiago de Chile

Dedico este trabalho a minha família, noiva, amigos e professores, os quais foram fundamentais no meu processo de formação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus e as dádivas que tem colocado em meu caminho durante todo o trajeto, como minha família, minha noiva, meus amigos e todas as pessoas que fizeram parte desta trajetória.

Agradeço aos meus pais, José e Marcelita, por todo o empenho depositado para que meus estudos ocorressem nas melhores condições possíveis. Meu pai como técnico em eletrotécnica, sendo a inspiração para seguir na engenharia e minha mãe, como pedagoga, sempre incentivando os estudos e a aquisição de conhecimento.

As minhas irmãs, Marília e Mayara, que me acompanharam por todo esse tempo de aprendizado sempre me apoiando, assim como meus cunhados, Ricardo e Helder, que auxiliaram muito na minha formação moral.

Agradeço aos meus amigos, tanto os amigos de infância, quanto os amigos de graduação, que foram essenciais para o controle emocional durante todo o curso. Em especial, agradeço os amigos do grupo Atlético Thevenin e aos moradores do apartamento 505, Murilo, Matheus, Guilherme, Henrique, Gabriel e Daniel, os quais proporcionaram-me excelentes horas de descontração e de felicidade.

Ao professor Maurício, orientador deste trabalho, por todo o incentivo para o desenvolvimento de projetos no ramo e por toda sua experiência, dedicação e comprometimento aos alunos do curso.

Agradeço imensamente a minha noiva e futura esposa, Luisiana, que enfrentou comigo desde o começo todas as etapas estudantis e contribuiu intensamente para o meu amadurecimento como cidadão, estudante, profissional e empreendedor. Sou muito grato em poder retribuir todo o amparo em sua graduação em engenharia civil, reforçando ainda mais o nosso laço afetivo. Também ao nosso cachorro zico, que está sempre lá pronto para dar um afago, independente da situação.

"O ontem é história, o amanhã é um mistério, mas hoje é uma dádiva, por isso chama-se presente".
(Mestre Oogway)

RESUMO

Com a otimização do tempo em produção de projetos sendo cada vez mais essencial, as ferramentas digitais são grandes aliadas na agilidade de processos matemáticos e de organização. Este trabalho descreve um estudo realizado sobre a tração mecânica que uma rede de distribuição de energia e de telecomunicação exerce sobre uma estrutura de fixação e elaboração de uma ferramenta digital para cálculo do momento de esforço sobre a estrutura. A realização deste estudo é motivada pela necessidade do projeto de esforço mecânico, exigido pelas concessionárias de energia ao compartilhar suas estruturas de sustentação de rede com empresas de telecomunicações, interessadas em utilizar esses pontos para a instalação de redes próprias, destinadas a criar um enlace entre empresas provedoras de internet e consumidores. A ferramenta elaborada, abrange as redes de média tensão, baixa tensão e de telecomunicações. Expõe as diferentes características dos cabos adotados, atendendo as normativas relacionadas as redes de distribuição fornecidas principalmente pela concessionária CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina. Os resultados encontrados permitiram validar que a ferramenta está apta a ser utilizada para medição de esforços mecânicos de redes de distribuição e telecomunicações.

Palavras-chave: Esforço mecânico; Rede de distribuição; Tração de cabos elétricos; Tração de cabos óticos; Compartilhamento de postes.

ABSTRACT

With the optimization of time in project production being increasingly essential, digital tools are great allies in the agility of mathematical and organizational processes. This final paper describes a study carried out on the mechanical traction that energy distribution and telecommunication networks exert on fastening structures, as well as the development of a digital tool to calculate the effort moment on the structure. What motivates this study is the need for a mechanical effort project required by concessionaires when telecommunication companies are interested in using the concessionaires' networks support structures for the installation of their own networks, which would create a link between internet providers and consumers. The elaborated tool covers medium voltage, low voltage and telecommunications networks. It exposes the different characteristics of the defined cables, in accordance with the regulations related to the distribution networks determined mainly by the concessionaire CELESC. The results found allowed us to validate that the tool is able to be used to evaluate the mechanical efforts of distribution and telecommunications networks.

Keywords: Mechanical effort; Distribution network; Traction of electrical cables; Traction of optical cables; Sharing structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema Energético.	21
Figura 2 – Soma Vetorial - Regra do paralelogramo.	26
Figura 3 – Soma Vetorial - Regra do poligonal.	26
Figura 4 – Decomposição Vetorial.	27
Figura 5 – Poste Circular de Concreto.	28
Figura 6 – Poste Duplo T de Concreto.	28
Figura 7 – Poste de Madeira.	29
Figura 8 – Redes em poste (ilustração).	29
Figura 9 – Redes em poste.	30
Figura 10 – Cruzeta para sustentação de rede de média tensão.	33
Figura 11 – Rede de média tensão e rede compacta.	34
Figura 12 – Layout Média Tensão - Geral.	36
Figura 13 – Layout Média Tensão - Cabo.	37
Figura 14 – Layout Baixa Tensão - Geral.	40
Figura 15 – Layout Baixa Tensão - Cabo.	40
Figura 16 – Layout Telecomunicação - Geral.	42
Figura 17 – Fixação cabo óptico.	43
Figura 18 – Layout Telecomunicação - Cabo.	43
Figura 19 – Layout do Resumo.	44
Figura 20 – Cordoalha.	46
Figura 21 – Vão entre postes.	47
Figura 22 – Carga do Vento.	48
Figura 23 – Flecha.	48
Figura 24 – Efeito do ângulo no cálculo do esforço.	51
Figura 25 – Representação de um vetor nos eixos x e y.	52
Figura 26 – Trações de Projeto.	52
Figura 27 – Esforços Horizontais.	54
Figura 28 – Geração de Vetores.	56
Figura 29 – Geração de PDF.	57
Figura 30 – Manual do usuário - Etapa 01.	58
Figura 31 – Manual do usuário - Etapa 02.	59
Figura 32 – Manual do usuário - Etapa 03.	60
Figura 33 – Manual do usuário - Etapa 04.	61
Figura 34 – Campo de Treinamento CELESC.	63
Figura 35 – Tração de Montagem para $-5^{\circ}C$	65
Figura 36 – Sistema de tracionamento com uso de catraca.	66

Figura 37 – Dinamômetro no cabo tensionado.	67
Figura 38 – Simulação do treinamento.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações de cabos CA.	34
Tabela 2 – Informações de cabos CAA.	35
Tabela 3 – Informações de cabos CU.	35
Tabela 4 – Informações do Cabo Coberto de Média Tensão para rede compacta.	36
Tabela 5 – Informações do Cabo Coberto de Média Tensão para rede rural.	36
Tabela 6 – Altura de fixação dos níveis de Média Tensão.	37
Tabela 7 – Informações de cabos Multiplexados de Baixa Tensão.	39
Tabela 8 – Cabo de telecomunicação de 12 pares de fibra óptica.	41
Tabela 9 – Cabo de telecomunicação de 24 pares de fibra óptica.	41
Tabela 10 – Cabo de telecomunicação de 48 pares de fibra óptica.	42
Tabela 11 – Cabo de telecomunicação de 72 pares de fibra óptica.	42
Tabela 12 – Flechas - 35mm ² CAA Coberto.	64
Tabela 13 – Tração de Montagem - 35mm ² CAA Coberto.	65
Tabela 14 – Dados Práticos - Treinamento CELESC.	67

SUMÁRIO

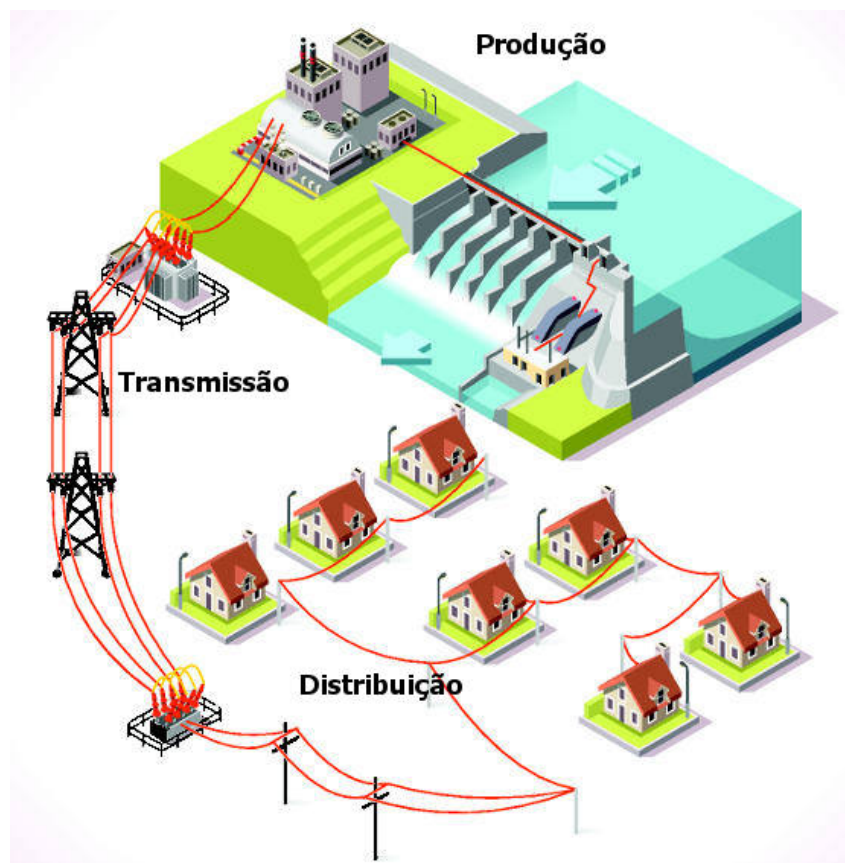
1	INTRODUÇÃO	21
1.1	MOTIVAÇÃO	22
1.2	OBJETIVO GERAL	22
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	23
1.4	METODOLOGIA	24
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2	FUNDAMENTAÇÃO E CONCEITOS	25
2.1	UNIDADE DE MEDIDA	25
2.2	GRANDEZA VETORIAL	25
2.2.1	Soma Vetorial	26
2.2.2	Decomposição Vetorial	27
2.3	POSTES	27
2.4	REDES	29
3	DESENVOLVIMENTO	33
3.1	DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT	33
3.1.1	Layout de Média Tensão	33
3.1.2	Layout de Baixa Tensão	38
3.1.3	Layout de Telecomunicação	40
3.1.4	Layout do Resumo	44
3.2	VALIDAÇÃO MATEMÁTICA	44
3.2.1	Carga de Cordoalha	45
3.2.2	Vão Regulador	46
3.2.3	Carga do Vento	47
3.2.4	Flecha	48
3.2.5	Tração de Projeto	49
3.2.5.1	<i>Tração do Cabo</i>	50
3.2.5.2	<i>Tração do Vento</i>	50
3.2.5.3	<i>Tração da Cordoalha</i>	51
3.2.6	Esforço	51
3.2.7	Momento de Esforço	53
3.3	GERAÇÃO DE VETORES	56
3.4	GERAÇÃO DE PDF	57
3.5	MANUAL DE USO DA PLANILHA	58
4	VALIDAÇÃO PRÁTICA	63
4.1	MODO DE OPERAÇÃO ATUAL DA CELESC	64

4.2	VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA	66
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

O sistema de fornecimento de energia elétrica constitui-se de uma série de etapas e processos que tem por finalidade conduzir energia desde o local de sua produção, por exemplo fonte hidroelétrica, até o seu consumidor final, como visto na [Figura 1](#). Esse sistema conecta unidades geradoras, vias de transmissão e distribuição e consumidores finais da energia elétrica [Brasil Escola].

Figura 1 – Sistema Energético.



Fonte: Brasil Escola

Focando na parte de distribuição de energia, em Santa Catarina, a CELESC é a empresa com maior atuação no ramo, sendo responsável pela distribuição de energia elétrica para mais de três milhões de unidades consumidoras, numa área de concessão que contempla 286 municípios, além de parte do município de Rio Negro, no Paraná. A empresa ainda supre energia elétrica para o atendimento de quatro concessionárias e vinte permissionárias, que atuam nos demais municípios catarinenses [CELESC 2020].

As redes de distribuição, contemplam os trajetos de abastecimento de energia

desde as subestações até as unidades consumidoras. Trajeto esse que é de largo interesse à empresas de telecomunicações, que por sua vez, precisam levar suas redes até os consumidores.

Em poucos casos a rede de telecomunicação possui um poste próprio para interligação, dessa forma, geralmente compartilha-se com a rede de distribuição. Como grande parte da distribuição de energia em Santa Catarina é executada pela CELESC, baseia-se as tratativas e convenções de acordo com as normas da mesma.

1.1 MOTIVAÇÃO

Com o constante crescimento da utilização da internet, as redes de fibra óptica chegaram para solucionar problemas de velocidade, estabilidade de conexão e ampliação do mercado de telecomunicações. Com isso a expansão da rede se torna inevitável, fazendo com que a conexão alcance todos as regiões do País.

Para acompanhar esse crescimento, novas redes de telecomunicações são construídas todos os dias e essas redes precisam ser projetadas. Um desses projetos, é o projeto de compartilhamento de infraestrutura, onde as empresas de telecomunicações utilizam a infraestrutura existente das concessionárias de distribuição de energia locais, para instalar e conseguir chegar até seus clientes com o produto final.

Uma parte crucial desse projeto é o cálculo de esforço que essa rede exerce sobre a infraestrutura já disposta. Esse cálculo exige informações de inúmeras variáveis tanto da rede de distribuição quanto da rede de telecomunicação. Para isso uma solução para agilizar o processo são as ferramentas digitais utilizadas para auxílio do cálculo.

Portanto o objetivo deste trabalho consta em criar uma ferramenta digital, a qual, através de informações pré-cadastradas, obtidas de informações padrões de concessionárias e de catálogos técnicos sobre fibra óptica e de cálculos relacionados ao esforço mecânico, crie um breve relatório sobre o esforço resultante em um determinado poste, onde será feito o compartilhamento.

Por fim, outras motivações de realizar esse trabalho, são ampliar o conhecimento em redes de distribuição de energia elétrica, compreender melhor o esforço mecânico sobre sua infraestrutura e aprender como criar uma ferramenta que agilize a produção de projetos em larga escala.

1.2 OBJETIVO GERAL

Como objetivo principal desse Trabalho de Conclusão de Curso, deve-se realizar um estudo técnico de redes de distribuição e elaborar uma ferramenta digital para o auxílio do

cálculo de esforço mecânico de uma rede de telecomunicação ou FTTH (*Fiber-to-the-home*) sobre uma rede de distribuição existente ou projetada.

O cálculo de esforço mecânico de uma rede de distribuição é algo minucioso, que leva em conta diversos aspectos físicos da rede e do ambiente no qual a rede se encontra. Esse cálculo tem como finalidade garantir a integridade física da rede contra diferenças climáticas e sustentação estável dos cabos e estruturas instaladas.

Para o compartilhamento de infraestrutura, as concessionárias de distribuição de energia, comumente, exigem um projeto da rede de telecomunicação a ser implantada. Nesse projeto um ponto crucial é o cálculo do esforço mecânico resultante entre a rede de distribuição já instalada e a rede de telecomunicação projetada. Com a finalidade de analisar a estabilidade das estruturas, em função dos esforços atuantes.

Para esse cálculo, a concessionária dispõe as informações sobre os itens necessários para tal, como, postes, cabos de média e baixa tensão, estruturas de suporte e ancoragem e uma base georreferenciada, onde observa-se informações importantes como angulação da rede, localização e distância dos vãos. Com essas informações, possibilita-se o cálculo do vetor resultante da força que a rede de distribuição exerce sobre o poste. Esse vetor será usado para somar com o vetor resultante do esforço que a rede de telecomunicação exerce sobre o mesmo. Esforço esse que é calculado com as informações e especificidades do cabo de fibra óptica adotado e suas devidas estruturas de fixação.

A execução de um projeto passará por uma migração de tecnologias, buscando tornar o processo mais produtivo, mais ágil, com menos retrabalho e com a geração do relatório final de forma automática.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Para atingir o sucesso na solução como um todo, tem-se como objetivo do projeto especificar, modelar e implementar uma ferramenta de cálculo de esforço de rede de média tensão, rede de baixa tensão e rede de telecomunicação. Como objetivos específicos do trabalho, cita-se:

- Revisão dos principais métodos de cálculos de esforço para compartilhamento de postes;
- Criação de diagrama de vetores;
- Geração de um relatório de esforço para cada poste;
- Aprendizado e aperfeiçoamento no uso de novas ferramentas de engenharia elétrica;
- Aprendizado das normas brasileiras relacionadas ao tema deste trabalho.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia empregada para realizar este trabalho consiste em uma etapa de revisão teórica da literatura bem difundida sobre o tema a fim de prover amplo conhecimento sobre redes de distribuição e suas estruturas físicas, assim como em projetos de redes de telecomunicação.

Serão colhidos dados e informações técnicas sobre a rede de distribuição junto a CELESC, assim como normativas e metodologias de elaboração de projetos de redes. Também serão obtidos dados de equipamentos da rede de telecomunicação junto as fabricantes dos mesmos.

Com base na literatura e nas metodologias de projetos de construção de rede, estabelecer um cálculo para encontrar o vetor resultante do esforço mecânico da rede e em seguida, implementar esse cálculo através de códigos matemáticos no *Microsoft Excel*.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos, os quais serão descritos a seguir. O primeiro capítulo traz uma breve introdução ao tema do trabalho, bem como apresenta a motivação para o seu desenvolvimento, os objetivos que deseja-se alcançar e a metodologia utilizada. Em seguida, no segundo capítulo, é apresentada a fundamentação teórica do trabalho, onde expõe-se os fundamentos de momento de esforço horizontal e compartilhamento de postes. Por sua vez, o terceiro capítulo trata do detalhamento do desenvolvimento do trabalho, desde o desenvolvimento do *layout* até o manual do usuário. O quarto capítulo apresenta a validação prática dos resultados obtidos na ferramenta. Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais do trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros na área.

2 FUNDAMENTAÇÃO E CONCEITOS

Nesta seção, objetiva-se a demonstração de todos componentes de uma rede que compartilham o poste, elucidando todas as características importantes de um compartilhamento de poste, para um melhor entendimento na demonstração dos cálculos posteriormente.

2.1 UNIDADE DE MEDIDA

As unidades de medida são representações das grandezas físicas utilizadas em diversas áreas do conhecimento com o intuito de quantificar uma matéria. Para esforços horizontais em estruturas, utiliza-se comumente as unidades:

- **kgf**: Quilograma-força
- **daN**: Decanewton

Considerando-se que o valor da gravidade na superfície da terra é de aproximadamente $9,81 \frac{m}{s^2}$, tem-se então, na [Equação 2.1](#), o valor de 1 quilograma-força em newton.

$$1 \text{ kgf} = 9,80665 \text{ N} \quad (2.1)$$

Já a unidade de decanewton, é a própria unidade de newton (N) com o prefixo deca (da) que tem o valor de 10. Assim, na [Equação 2.2](#), tem o valor de 1 decanewton em newton.

$$1 \text{ daN} = 10 \text{ N} \quad (2.2)$$

2.2 GRANDEZA VETORIAL

Na física, tem-se duas representações de grandezas, as grandezas vetoriais e grandezas escalares. Para que uma grandeza seja escalar, necessita-se do conhecimento do seu módulo e a unidade de medida. Para que uma grandeza seja vetorial, necessita-se além do módulo e unidade medida, sua direção e sentido [USP].

Para execução da solução proposta, utiliza-se as operações vetoriais, dessa forma, exemplifica-se cada uma delas a seguir.

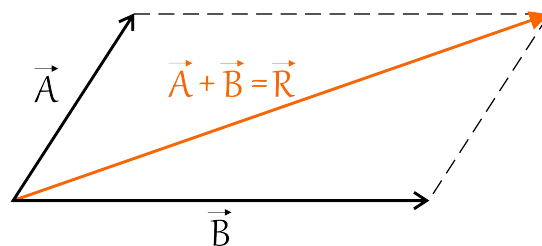
2.2.1 Soma Vetorial

Existem duas formas comuns de realizar uma soma vetorial, que são regra do paralelogramo e regra do poligonal [ASTH, Rafael].

- **Regra do Paralelogramo**

Nesta regra, possibilita-se a soma de apenas dois vetores de cada vez. Para desenvolver essa regra, junta-se as origens dos vetores, traça-se, partindo da ponta da seta do outro vetor, uma linha paralela de cada um dos vetores e por fim, traça-se um vetor conectando a origem com a terminação das setas paralelas, obtendo assim o vetor resultante, como visto na [Figura 2](#).

Figura 2 – Soma Vetorial - Regra do paralelogramo.

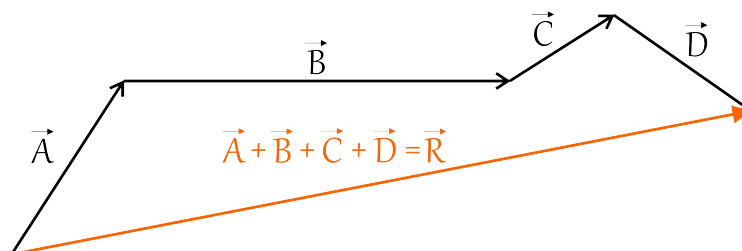


Fonte: Arquivo pessoal.

- **Regra do Poligonal**

Nesta regra, possibilita-se a soma de mais do que dois vetores por vez. Para desenvolver essa regra, fixa-se o primeiro vetor, fixa-se a origem do próximo vetor na terminação do vetor anterior, faz-se isso até que não hajam mais vetores e por fim, traça-se um vetor conectando a origem do primeiro vetor com a terminação do último vetor, obtendo assim o vetor resultante, como visto na [Figura 3](#).

Figura 3 – Soma Vetorial - Regra do poligonal.



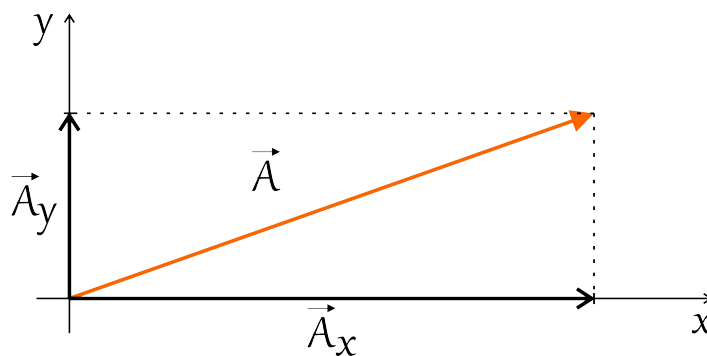
Fonte: Arquivo pessoal.

2.2.2 Decomposição Vetorial

Nesta situação, como um vetor é situado no plano 2D, possibilita-se a decomposição desse vetor em suas componentes em cada uma das direções do espaço, uma componente no eixo x e outra componente no eixo y [Brasil Escola].

Para descobrir a direção e sentido dos dois vetores que compõem um vetor em questão, como citado na [Figura 4](#), inicialmente posiciona-se a origem do vetor na origem dos eixos x e y , traça-se uma reta perpendicular ao eixo x que conecte o eixo a terminação do vetor, traça-se uma reta perpendicular ao eixo y que conecte o eixo a terminação do vetor e por fim, tem-se os vetores decompostos no eixo x através na conexão entre a origem dos eixos com a interseção do eixo com a reta traçada anteriormente e y através na conexão entre a origem dos eixos com a interseção do eixo com a reta traçada anteriormente.

Figura 4 – Decomposição Vetorial.



Fonte: Arquivo pessoal.

2.3 POSTES

Existem diversos modelos de postes, dessa forma, cita-se os principais e mais comuns tipos de postes utilizados em rede de distribuição. Todos os postes são projetados para a instalação de cabos de média tensão, baixa tensão e fibra óptica.

- **Poste Circular de Concreto**

O poste circular de concreto possui resistência a tração igualmente distribuída em todos os sentidos, pois é uma estrutura uniforme e circular. Esse poste é comumente encontrado com alturas entre 7 metros e 24 metros e possui o interior vazado, ou seja, esse modelo de poste não é maciço, conforme mostrado na [Figura 5](#).

Figura 5 – Poste Circular de Concreto.

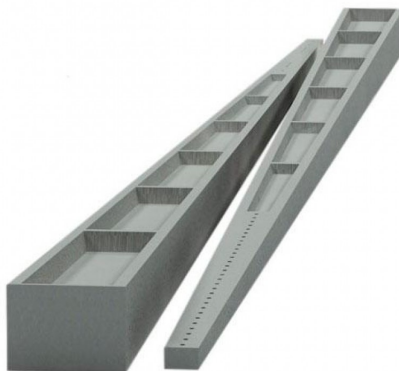


Fonte: [IPT Elétrica]

- **Poste Duplo T de Concreto**

Diferente do poste circular, o poste duplo T não possui a resistência a tração igualmente distribuída em todos os sentidos, dessa forma o poste possui na direção de menor resistência, uma resistência igual a 50% da indicada para a direção de maior resistência [NBR 8451]. Esse poste é comumente encontrado com alturas entre 9 metros e 21 metros e possui o interior maciço, com formato visto na [Figura 6](#).

Figura 6 – Poste Duplo T de Concreto.



Fonte: [TX Elétrica]

- **Poste de Madeira**

O poste de madeira, normalmente eucalipto, é comumente encontrado com alturas entre 7 metros e 12 metros e possui o interior maciço, com formato visto na [Figura 7](#). Este por sua vez é classificado, em relação ao esforço de carga nominal, através da densidade

do poste, dependendo de sua altura e peso [NBR 8456]. Por ser circular, possui resistência a tração igualmente distribuída em todas as direções.

Figura 7 – Poste de Madeira.



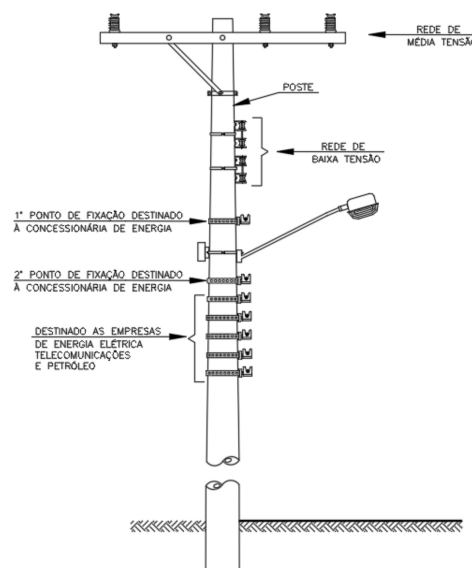
Fonte: [GLOBAL Pedras]

2.4 REDES

O poste pode ter até três tipos distintos de redes em sua estrutura, a rede de média tensão que fornece tensão primária, a rede de baixa tensão que fornece tensão secundária e a rede de telecomunicação que fornece comunicações telefônicas e de internet.

Na [Figura 8](#), demonstra-se as três principais redes que compartilham a estrutura de um poste e na [Figura 9](#) tem-se uma rede real para melhor visualização, onde:

Figura 8 – Redes em poste (ilustração).



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 9 – Redes em poste.



Fonte: Arquivo pessoal.

- **Rede de Média tensão :** A rede de média tensão possui tensão elétrica entre 2,3 kV e 440 kV e limita-se em até quatro níveis de rede [Mundo da Elétrica]. Defini-se como níveis de rede a quantidade de redes fixas ao poste, nesse caso, é possível mais do que um nível, desde que sejam separados por uma distância segura referente a sua classe de tensão e que o nível mais baixo esteja no mínimo a 7,35 metros do chão [CELESC E-313.0002 2014].
- **Rede de Baixa tensão :** A rede de baixa tensão possui tensão elétrica entre 110 V e 440 V e contém um nível de rede, já que a mesma deriva de um transformador local e serve para atendimento de curto alcance [Mundo da Elétrica]. Conforme essa concessionária, o nível correspondente a instalação da rede de baixa tensão, é de aproximadamente 7,10 metros em relação ao chão, podendo variar em relação ao tipo de rede utilizado, mas tendo esse valor comumente adotado [CELESC E-313.0002 2014].
- **Rede de Telecomunicação :** A rede de telecomunicação é composta por cabos de fibra óptica e cabos metálicos de telecomunicação e no caso dessa concessionária, sendo que a mesma é detentora de duas posições para uso próprio e o restante destinado a empresas interessadas em compartilhar a estrutura. Assim como na baixa tensão, na rede de telecomunicações temos um valor fixo estimado para instalação dos cabos, esse valor por sua vez geralmente é de 5,50 metros, podendo sofrer alterações conforme ocorre em travessias de alguns tipos de rodovias [CELESC I-313.0015].

Independente dos diversos tipos de redes e estruturas de fixação, o que difere nos cálculos de esforços horizontais, são apenas a informação do diâmetro e peso do cabo referente a cada tipo de rede, sendo o diâmetro em milímetros e o peso em quilograma por quilômetro.

3 DESENVOLVIMENTO

Dividiu-se esta seção em três etapas, inicialmente o desenvolvimento do *layout* da planilha, da forma que será apresentada para uso em elaboração de projetos, posteriormente a validação matemática de todas as equações utilizadas e por fim, a finalização da planilha de acordo com o desenvolvimento da mesma.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT

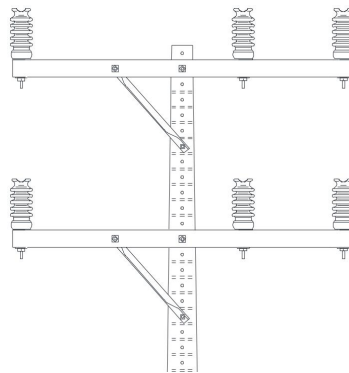
Levantou-se inicialmente todas as informações relacionadas aos cabos da rede de média tensão, baixa tensão e telecomunicação, que compartilham o poste, para então desenvolver o *layout* personalizado para cada tipo de rede.

Existem divergências entre as redes, porém construiu-se a planilha com o foco nos itens análogos, mantendo essas informações posicionadas na mesma célula de todas as planilhas. Dessa forma, a transição entre páginas é mais agradável e a experiência do usuário maximizada.

3.1.1 Layout de Média Tensão

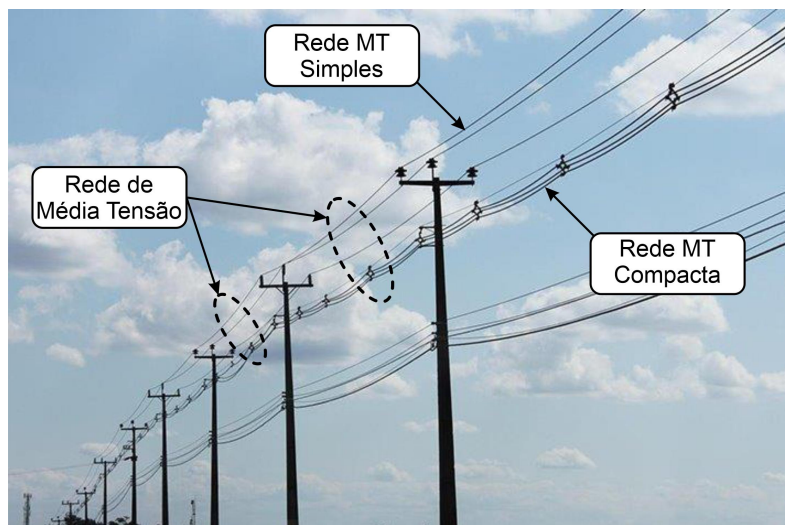
Para o desenvolvimento do *layout* de média tensão, coletou-se primeiro as informações dos principais cabos utilizados em uma rede de média tensão, segundo manual de procedimento da concessionária e de acordo com cada bitola, o seu respectivo diâmetro e peso para os cálculos de esforços. Na [Figura 10](#), tem-se a exemplificação de uma cruzeta para sustentação da rede.

Figura 10 – Cruzeta para sustentação de rede de média tensão.



Utilizam-se cabos nus fixados em isoladores instalados diretamente na lateral do poste, ou suportados por cruzetas, instaladas na parte superior do poste. Para vãos maiores ainda com cabos sem qualquer camada de isolamento, são usados os cabos com alma de aço, para possibilitar um maior vão autossustentado. Também são comumente usados os cabos cobertos para média tensão, com uma camada isolante que permite uma menor distância entre fases e leves contatos sem desarmar o sistema, como um galho de árvore por exemplo, sendo assim, usados em regiões com muita vegetação próxima a rede e em redes compactas [CELESC E-313.0032 2019], conforme mostrado na [Figura 11](#).

Figura 11 – Rede de média tensão e rede compacta.



Fonte: [Click Guarulhos]

- CA - Cabo de Alumínio

O primeiro cabo citado será o cabo de alumínio nu, que possui comercialmente as bitolas apresentadas na [Tabela 1](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 1 – Informações de cabos CA.

Bitola (AWG)	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)
2	7,41	92,5
4	5,88	58,2
1/0	9,36	147,6
2/0	10,50	185,7
4/0	13,26	296,1
336,4	16,90	470,0

Fonte: [CELESC E-313.0018 2019]

- CAA - Cabo de Alumínio com Alma de aço

O segundo cabo citado será o cabo de alumínio nu com alma de aço, que possui comercialmente as bitolas apresentadas na [Tabela 2](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 2 – Informações de cabos CAA.

Bitola (AWG)	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)
2	8,01	135,8
4	6,36	85,6
1/0	10,11	216,2
2/0	11,34	272,0
4/0	14,31	433,2
336,4	18,29	689,9

Fonte: [CELESC E-313.0018 2019]

- CU - Cabo de Cobre

O terceiro cabo citado será o cabo de cobre, que possui comercialmente as bitolas apresentadas na [Tabela 3](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 3 – Informações de cabos CU.

Bitola (AWG)	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)
25	6,18	212,0
35	7,50	312,0
50	9,00	449,0
120	14,50	1138,0

Fonte: [CELESC E-313.0032 2019]

- Cabo Coberto para rede compacta

O quarto cabo citado será o cabo coberto para rede compacta, que possui comercialmente as bitolas apresentadas na [Tabela 4](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

- Cabo Coberto para rede rural

E por fim, a última citação será o cabo coberto rural, que possui comercialmente as bitolas apresentadas na [Tabela 5](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 4 – Informações do Cabo Coberto de Média Tensão para rede compacta.

Bitola (mm^2)	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)
3x50 + 9,5 - CaboCoberto - 15kV	17,3	235,0
3x185 + 9,5 - CaboCoberto - 15kV	25,1	695,0
3x50 + 9,5 - CaboCoberto - 25kV	19,4	385,0
3x150 + 9,5 - CaboCoberto - 25kV	25,4	650,0
3x185 + 9,5 - CaboCoberto - 35kV	34,5	1150,0

Fonte: [CELESC E-313.0075 2021]

Tabela 5 – Informações do Cabo Coberto de Média Tensão para rede rural.

Bitola (mm^2)	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)
35	16,20	260,0
70	19,50	525,0

Fonte: [CELESC NE-166E]

Após levantamento das informações dos principais cabos utilizados pela concessionária na média tensão, iniciou-se o desenvolvimento do *layout* da planilha, objetivando o maior número de informações pertinentes ao projeto e clareza na exposição dos dados.

Na [Figura 12](#), observa-se que a planilha possui um bloco central na cor cinza, ilustrando o poste, vários blocos na cor laranja que ilustram cada nível de estrutura de média tensão instalada junto ao poste e suas informações e na parte superior direita o resultado do momento do esforço resultante de todas as estruturas referentes a média tensão.

Figura 12 – Layout Média Tensão - Geral.

Fonte: Arquivo pessoal.

Ainda na [Figura 12](#), explica-se os seguintes itens importantes da planilha:

- **1. Informação da altura do poste:** Nesse campo deve-se preencher a altura do poste e caso não seja preenchido, os valores de esforços mantêm-se sempre nulos.
- **2. Informações do cabo:** Nesse campo deve-se preencher todas as informações do cabo, comprimento dos vãos e ângulo entre cabos. Na [Figura 13](#), explica-se esse bloco com mais detalhes.

Figura 13 – Layout Média Tensão - Cabo.

Fonte: Arquivo pessoal.

- **3. Níveis de Média Tensão:** Os blocos envoltos pelo retângulo ilustram o segundo nível de média tensão, num total de quatro níveis por poste, separados por uma distância padronizada pela concessionária de energia.
- **4. Altura de Fixação:** Este campo não necessita de preenchimento, pois é feito de forma automática, de acordo com a altura do poste e a quantidade de níveis. Dependendo da altura do poste, o número máximo de níveis pode ser menor, por conta da insuficiência de espaço para alocação dos níveis, como visto na [Tabela 6](#). Para exemplificar a planilha, caso o poste possua 11 m de altura, poderá ser alocado apenas dois níveis de média tensão, que serão fixados o 1º nível em 9,15 m e o 2º nível em 8,25 m.

Tabela 6 – Altura de fixação dos níveis de Média Tensão.

Altura do Poste (m)	1º nível (m)	2º nível (m)	3º nível (m)	4º nível (m)
9	7,35	x	x	x
10	8,25	x	x	x
11	9,15	8,25	x	x
12	10,05	9,15	8,25	x
13	10,95	10,054	9,15	8,25
14	11,85	10,95	10,05	9,15
15 ou +	12,75	11,85	10,95	10,05

Fonte: [CELESC E-313.0002 2014]

- **5. Momento de Esforço Resultante, para média tensão:** Nestes campos exibe-se o momento de esforço resultante de todos os cabos fixados ao poste, em daN e kgf .
- **6. Ângulo do Esforço Resultante, para média tensão:** Neste campo exibe-se o ângulo de esforço resultante de todos os cabos fixados ao poste.

De forma mais específica, cita-se na [Figura 13](#) os campos com as informações do cabo.

- **7. Tipo de Cabo:** Nessa caixa deve-se escolher entre os cabos citados anteriormente, que são CA, CAA, CU ou cabo coberto.
- **8. Número de cabos:** Nessa caixa deve-se escolher a quantidade de cabos que a rede possui, para CA, CAA, CU e Cabo Coberto para rede rural escolhe-se 1, 2 ou 3 cabos e Cabo Coberto para rede compacta escolhe-se obrigatoriamente 3 cabos para representação da rede compacta, com uma cordoalha de aço adicional de sustentação do cabo.
- **9. Bitola do cabo:** Nessa caixa deve-se escolher a bitola do cabo selecionado, atentando-se sempre na unidade de medida.
- **10. Vãos adjacentes:** Nesses campos são preenchidos os valores dos vãos entre os postes a partir do poste em questão, até o próximo poste onde ocorre a ancoragem do cabo novamente.
- **11. Ângulo entre cabos:** Antes de preencher este campo, deve-se escolher um cabo ou conjunto de cabos no mesmo sentido para ser o ângulo de referência. Qualquer cabo que não esteja no mesmo sentido da referência, deve ser preenchido com o valor no ângulo, considerando a contagem no sentido anti-horário. Para os demais cabos no mesmo sentido, deixa-se o campo sem preenchimento ou com valor igual a zero.
- **12. Informação do cabo:** Neste campo exibe-se o peso e o diâmetro total do cabo ou conjunto de cabos fixados no poste.
- **13. Esforço do cabo:** Neste campo exibe-se o esforço total do cabo ou conjunto de cabos fixados no poste.

3.1.2 Layout de Baixa Tensão

Para o desenvolvimento do *layout* de baixa tensão, levantou-se primeiro as informações dos principais cabos utilizados em uma rede de baixa tensão, segundo manual de procedimento da concessionária e de acordo com cada bitola, o seu respectivo diâmetro e peso para os cálculos de esforços.

- CA - Cabo de Alumínio

O primeiro cabo citado será o cabo de alumínio nu, mesmo cabo citado na rede de média tensão, que possui comercialmente as bitolas mostradas na [Tabela 1](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

- CAA - Cabo de Alumínio com Alma de aço

O segundo cabo citado será o cabo de alumínio nu com alma de aço, mesmo cabo citado na rede de média tensão, que possui comercialmente as bitolas mostradas na [Tabela 2](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

- CU - Cabo de Cobre

O terceiro cabo citado será o cabo de cobre, mesmo cabo citado na rede de média tensão, que possui comercialmente as bitolas mostradas na [Tabela 3](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

- Multiplexado

E por fim, o último cabo citado será o cabo multiplexado, que possui comercialmente as bitolas mostradas na [Tabela 7](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 7 – Informações de cabos Multiplexados de Baixa Tensão.

Bitola (mm^2)	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)
(1x1x35+35)	18,00	235,0
(3x1x35+35)	23,00	551,0
(3x1x50+35)	25,00	679,0
(3x1x70+50)	31,00	941,0
(3x1x120+70)	39,00	1491,0

Fonte: [CELESC E-313.0052]

Na [Tabela 7](#), nota-se que as bitolas possuem uma discrepância em relação aos cabos anteriores, isso porque o cabo multiplexado é na realidade um conjunto de cabos.

Para exemplificar como lê-se as bitolas, utiliza-se dois exemplos, o primeiro é a bitola (1x1x35+35) que significa que o cabo possui um cabo de fase e um cabo de neutro, sendo o fase de 35 mm^2 e o neutro também de 35 mm^2 , o segundo exemplo é a bitola (3x1x50+50) que significa que o cabo possui três cabos de fase e um cabo de neutro, sendo o fase de 50 mm^2 e o neutro também de 50 mm^2 .

Após levantamento das informações de todos os cabos de baixa tensão, iniciou-se o desenvolvimento do *layout* da planilha. Na [Figura 14](#), observa-se que o *layout* de baixa tensão possui uma estrutura bem semelhante ao *layout* de média tensão, com as divergências citadas a seguir:

- **Níveis de baixa tensão:** Baixa tensão possui apenas dois níveis, que dispõem-se como derivações para lados distintos.
- **Altura de fixação:** Ao contrário da média tensão, a altura de fixação da baixa tensão é considerada a mesma para todos os níveis, com o valor estipulado de 7,1 m.

Figura 14 – Layout Baixa Tensão - Geral.

Fonte: Arquivo pessoal.

A informação do cabo segue o padrão de média tensão, apenas com a adição do cabo de neutro, conforme mostrado na [Figura 15](#).

Figura 15 – Layout Baixa Tensão - Cabo.

Fonte: Arquivo pessoal.

3.1.3 Layout de Telecomunicação

Para o desenvolvimento do *layout* de telecomunicação, levantou-se primeiro as informações dos principais cabos utilizados em projetos realizados para redes de fibra óptica.

Os cabos citados a seguir, são apenas alguns dos cabos comumente utilizados em rede de telecomunicações, porém existem inúmeros modelos de cabos, sendo possível incluí-los posteriormente na planilha.

- 12FO - Cabos com 12 pares de fibra óptica

Os primeiros cabos citados serão os cabos com 12 pares de fibra óptica, que possuem comercialmente os vãos máximos autossustentados citados na [Tabela 8](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 8 – Cabo de telecomunicação de 12 pares de fibra óptica.

Código	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)	Vão máxima (m)
CFOA-SM-AS80-S-12FO	8,1	50	80
CFOA-SM-AS120-S-12FO	8,1	51	120
CFOA-SM-AS200-S-12FO	8,4	55	200

Fonte: [FURUKAWA ELECTRIC]

- 24FO - Cabos com 24 pares de fibra óptica

O segundo cabo citado será o cabo com 24 pares de fibra óptica, que possui comercialmente os vãos máximos autossustentados citados na [Tabela 9](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 9 – Cabo de telecomunicação de 24 pares de fibra óptica.

Código	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)	Vão máxima (m)
CFOA-SM-AS80-S-24FO	8,1	50	80
CFOA-SM-AS120-S-24FO	8,1	51	120
CFOA-SM-AS200-S-24FO	8,4	55	200

Fonte: [FURUKAWA ELECTRIC]

- 48FO - Cabos com 48 pares de fibra óptica

O terceiro cabo citado será o cabo com 48 pares de fibra óptica, que possui comercialmente os vãos máximos autossustentados citados na [Tabela 10](#), junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

- 72FO - Cabos com 72 pares de fibra óptica

Tabela 10 – Cabo de telecomunicação de 48 pares de fibra óptica.

Código	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)	Vão máxima (m)
CFOA-SM-AS80-S-48FO	8,9	55	80
CFOA-SM-AS120-S-48FO	9,0	55	120
CFOA-SM-AS200-S-48FO	10,0	76	200

Fonte: [FURUKAWA ELECTRIC]

E por fim o último cabo citado será o cabo com 72 pares de fibra óptica, que possui comercialmente os vãos máximos autossustentados citados na Tabela 11, junto ao diâmetro e peso correspondente a um cabo com a bitola especificada.

Tabela 11 – Cabo de telecomunicação de 72 pares de fibra óptica.

Código	Diâmetro (mm)	Peso (kg/km)	Vão máxima (m)
CFOA-SM-AS80-S-72FO	9,3	65	80
CFOA-SM-AS120-S-72FO	9,3	65	120
CFOA-SM-AS200-S-72FO	10,0	76	200

Fonte: [FURUKAWA ELECTRIC]

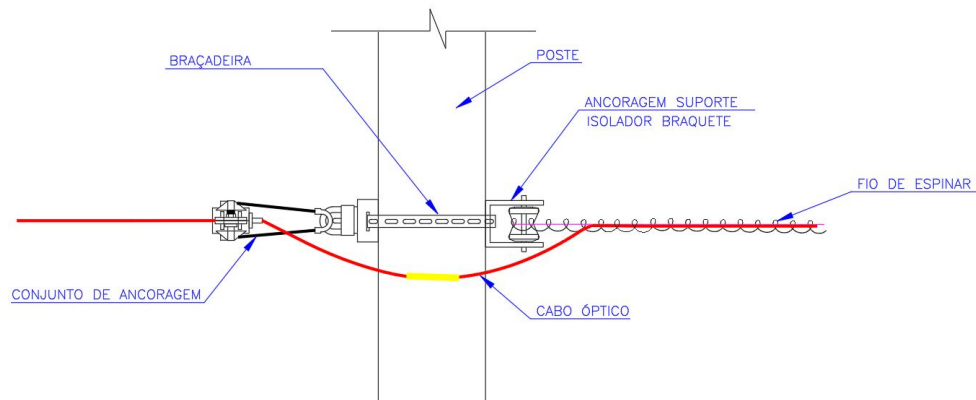
Após levantamento das informações de todos os cabos de telecomunicação, iniciou-se o desenvolvimento do *layout* da planilha. Na Figura 16, observa-se que o *layout* de telecomunicação possui uma estrutura bem semelhante ao *layout* de média tensão e baixa tensão, com as divergências citadas a seguir:

Figura 16 – Layout Telecomunicação - Geral.

Fonte: Arquivo pessoal.

- **Níveis de telecomunicação:** Segundo o manual [CELESC I-313.0015], na faixa destinada a telecomunicação limita-se o compartilhamento de poste para um máximo de 5 empresas. Na parte inferior da imagem nota-se o grupo dos cabos existentes e na parte superior, na cor laranja mais forte, o cabo a ser projetado. O cabo a projetar possui 3 blocos para informação de uma possível derivação, basta inserir as informações do cabo e informação do ângulo que o cabo faz com a referência.
- **Altura de fixação:** Assim como na rede de baixa tensão, apesar de que a faixa disponibilizada seja de 50 cm, é considerado um valor fixo para instalação de todos os níveis de telecomunicações em 5,5 m. Na [Figura 17](#), tem-se a demonstração que como é fixado o cabo óptico no poste.

Figura 17 – Fixação cabo óptico.



Fonte: Arquivo pessoal.

A informação do cabo segue o padrão das outras redes, porém com a adição da cordoalha de sustentação, comum para inúmeras funções em instalações de cabos de telecomunicações, como por exemplo para uma curva em trevo entre 4 postes, conforme mostrado na [Figura 18](#).

Figura 18 – Layout Telecomunicação - Cabo.

Cabos Projetados	
Esforço (daN)	Cabo <input type="text"/>
0,00	Ângulo <input type="text"/> °
	Vão <input type="text"/> m
	Codoalha <input type="text"/> m
	Peso: 0 kg/km
	Diâmetro: 0,0 mm

Fonte: Arquivo pessoal.

3.1.4 Layout do Resumo

Para o desenvolvimento da *layout* do resumo objetivou-se uma planilha simples e clara, contendo poucas informações, porém as mais importantes de cada rede encontra-se na [Figura 19](#).

Para distinguir o cálculo de cada poste, deve-se inserir na parte superior da planilha as informações do nome do projeto e o número do poste onde aplicou-se a planilha de cálculo de esforço.

Citando-se as informações mais importantes do projeto, tem-se momento de esforço resultante, ângulo do esforço resultante, altura do poste e altura de fixação, bem como essas informações de cada nível, informações de cada rede e informações resultantes de todas as redes.

Figura 19 – Layout do Resumo.

Projeto:			Nº Poste:		
Rede	Nível	Momento de Esforço Resultante	Ângulo Esforço Resultante	Altura Poste	Altura Fixação
Média Tensão	1° Nível				
	2° Nível				
	3° Nível				
	4° Nível				
	Total				
Baixa Tensão	1° Nível				
	2° Nível				
	Total				
Telecomunicação	1° Nível				
	2° Nível				
	3° Nível				
	4° Nível				
	5° Nível				
	Total				
Esforço Resultante Total		0 daN	0°		
Poste Sugerido					
Gerar PDF					

Fonte: Arquivo pessoal.

3.2 VALIDAÇÃO MATEMÁTICA

Para validação dos cálculos, utilizou-se como base a planilha de esforço mecânico para rede de telecomunicação fornecida pela CELESC. Como a planilha objetiva o cálculo do esforço horizontal que os cabos exercem sobre o poste, com a validação da rede de telecomunicação, as redes de baixa tensão e média tensão também estarão validadas,

considerando-se que a diferença entre as redes são as alturas de fixação e as características dos cabos.

A alteração de esforço mecânico que os distintos tipos de estruturas de fixação do cabo junto ao poste que as determinadas redes podem trazer, não foram levadas em consideração para fins de cálculo de esforço mecânico horizontal, visto que as mesmas estruturas fazem no determinado ponto de fixação a aproximação do somatório dessas forças. Portanto estão sendo considerados para fins de cálculos, cabos fixados a uma determinada altura pré-estabelecida pela concessionária de energia.

O cálculo do momento de esforço resultante segue uma determinada premissa para que a elaboração, correção e a compreensão dos cálculos seja intuitiva para todas as partes envolvidas no projeto. A seguir, cita-se os passos fundamentais para elaboração do cálculo consolidado:

- **Passo 1. Esforço unitário do cabo:** Calcula-se o esforço que um único cabo exerce sobre o poste e junto com o ângulo transforma-se essas informações em vetores, para posteriormente executar a soma vetorial de todos os esforços.
- **Passo 2. Esforço projetado em um ponto comum:** Após obter-se o vetor de cada cabo, projeta-se esse vetor para um único ponto de fixação, possibilitando-se a soma vetorial de todos os esforços.
- **Passo 3. Momento de esforço resultante:** Após todos os vetores projetados em um único ponto de fixação, soma-se os vetores e determina-se o momento de esforço resultante e ângulo resultante, de todas as redes que estão fixadas ao poste.

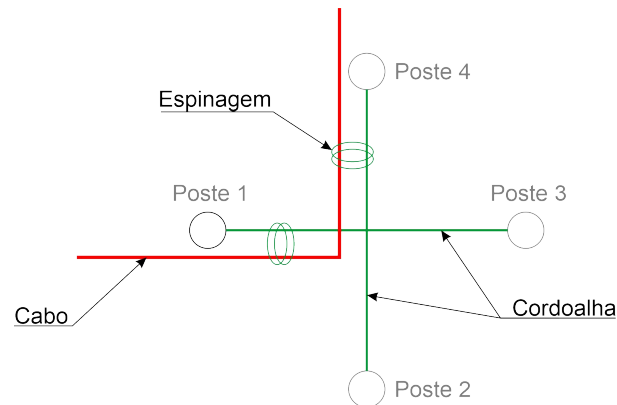
A seguir, detalha-se cada um dos passos fundamentais para a elaboração do cálculo consolidado.

3.2.1 Carga de Cordoalha

Inicia-se pela cordoalha, recurso utilizado na rede de telecomunicação. Cordoalha é o elemento de sustentação utilizado em redes aéreas para fazer a fixação dos cabos de telecomunicação e de alguns acessórios e equipamentos. Utiliza-se comumente a cordoalha quando o cabo faz curva em cruzamento de estradas, onde não é possível ter um poste no ponto crítico da curva. Nesse caso, utiliza-se a cordoalha, em três ou quatro postes, para sustentar o cabo.

Na [Figura 20](#), tem-se um exemplo de cordoalha com quatro postes, a cordoalha, o cabo e a espinagem, elemento de fixação do cabo na cordoalha.

Figura 20 – Cordoalha.



Fonte: Arquivo pessoal.

Denomina-se como carga de cordoalha o esforço que a cordoalha, dielétrica ou de aço, exerce sobre a estrutura de sustentação. a equação que simplifica a força exercida pela cordoalha dielétrico é demonstrada na [Equação 3.1](#).

$$F_c = 0,0375 C_p \quad (3.1)$$

Onde:

- F_c - Carga de cordoalha (daN)
- C_p - Comprimento da cordoalha (m)

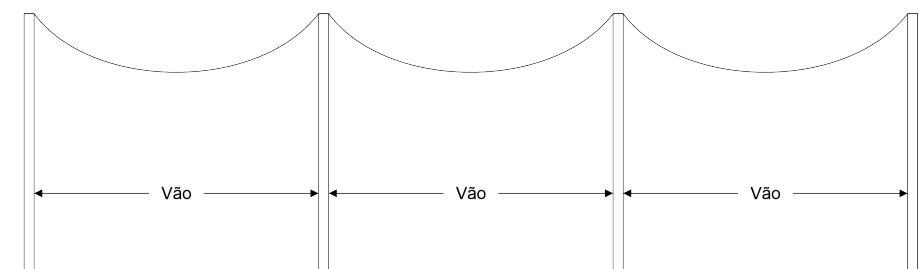
3.2.2 Vão Regulador

Denomina-se como vão a distância entre postes que compartilham a mesma rede, como visto na [Figura 21](#). O cálculo do esforço é aplicado apenas em postes com ancoragens, porém não são todos os postes que possuem ancoragem. Assim, em muitos casos, a distância entre duas ancoragens é composta por mais de um vão e então utiliza-se uma equação para criar um vão mecanicamente equivalente a uma série de vãos contínuos, compreendidos entre estruturas ancoradas, denominado como **vão regulador**.

Obtém-se o vão regulador [NTD-07], através da [Equação 3.2](#):

$$V_r = \sqrt{\frac{\sum V_n^3}{\sum V_n}} \quad (3.2)$$

Figura 21 – Vão entre postes.



Fonte: Arquivo pessoal.

Expandindo-a para uma melhor visualização, tem-se a [Equação 3.3](#):

$$V_r = \sqrt{\frac{V_1^3 + V_2^3 + V_3^3 + \dots + V_n^3}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}} \quad (3.3)$$

Onde:

- V_r - Vão regulador (m)
- V_1 - Vão 1 (m)
- V_2 - Vão 2 (m)
- V_n - Vão n (m)

Defini-se n como o número total de vãos entre ancoragens.

3.2.3 Carga do Vento

Carga de vento é o esforço que o vento soprando lateralmente exerce sobre os condutores e sobre os suportes, conforme mostrado na [Figura 22](#). A força do vento não deve ser desconsiderada, pois é extremamente importante para definição do poste.

A pressão do vento sobre superfícies circulares [Copel 1995], é dada pela equação [Equação 3.4](#):

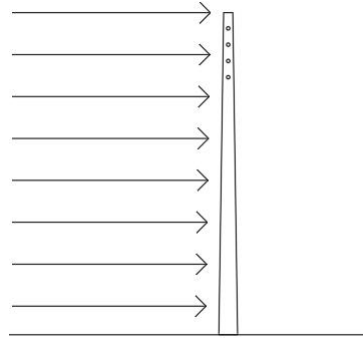
$$F_v = \frac{0,00471 v^2 V_r D_c \cos 45^\circ}{1000} \quad (3.4)$$

Onde:

- F_v - Carga do vento (daN)
- v - Velocidade máxima do vento na região (km/h)

- V_r - Vão regulador (m)
- D_c - Diâmetro do cabo (mm)

Figura 22 – Carga do Vento.

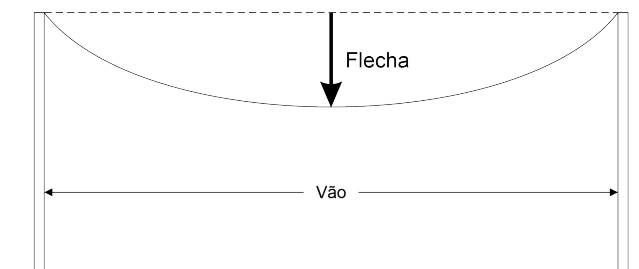


Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.4 Flecha

Define-se como flecha, 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, como visto na [Figura 23](#).

Figura 23 – Flecha.



Fonte: Arquivo pessoal.

Para cálculo da flecha, utiliza-se comumente como referência o vão regulador, pois torna-se inviável o cálculo da flecha para cada vão entre postes [CELESC I-313.0003]. Então denomina-se flecha através da seguinte [Equação 3.5](#), equação comumente utilizada em rede telecom.

$$F = V_r V_{\%} \quad (3.5)$$

Onde:

- F - Flecha (m)
- V_r - Vão regulador (m)
- $V_{\%}$ - Variável de porcentagem em relação ao vão regulador (Exemplo $F = V_r 1\%$)

Outra forma de calcular a flecha é com a [Equação 3.6](#) através de [CELESC I-313.0003], utilizando com referência a tração que o cabo exerce na estrutura, medida comumente com auxílio de uma dinamômetro.

$$F = \frac{P V_r^2}{8 T} \quad (3.6)$$

Onde:

- F - Flecha (m)
- P - Peso do cabo (kg/m)
- V_r - Vão regulador (m)
- T - Tração dos vãos (m)

3.2.5 Tração de Projeto

Tração de projeto é a soma de todas trações na qual o poste é submetido. Exemplifica-se as trações como tração de todos cabos que estão fixados no poste, tanto de telecomunicação como de energia, tração que o vento exerce sobre o cabo e quando possuir cordoalha, a tração que a mesma exerce sobre o poste.

Na [Equação 3.7](#) demonstra-se a fórmula base para o cálculo das trações de projeto.

$$F_p = F_{cabo} + F_{vento} + F_{cordoalha} \quad (3.7)$$

Onde:

- F_p - Tração de projeto (daN)
- F_{cabo} - Tração do cabo (daN)
- F_{vento} - Tração do vento (daN)
- $F_{cordoalha}$ - Tração da cordoalha (daN)

3.2.5.1 Tração do Cabo

Tração do cabo é a tração que o cabo de telecomunicação ou distribuição exerce sobre o poste e resume-se na [Equação 3.8](#):

$$F_{cabo} = 0,980665 T \quad (3.8)$$

Onde:

- F_{cabo} - Tração do cabo (daN)
- T - Tração dos vãos (kgf)
- 0,980665 - Razão de transformação de kgf para daN

Calcula-se a Tração dos vãos com a [Equação 3.9](#) através de [CELESC I-313.0003]:

$$T = \frac{P V_r^2}{8 F} \quad (3.9)$$

Onde:

- P - Peso do cabo (kg/m)
- V_r - Vão regulador (m)
- F - Flecha (m)

O Peso do cabo é disponibilizado pelo fabricante do próprio cabo.

3.2.5.2 Tração do Vento

Tração do vento é a tração que o vento exerce sobre o cabo e resume-se na [Equação 3.10](#):

$$F_{vento} = \frac{F_v}{2} \quad (3.10)$$

Onde:

- F_{vento} - Tração do vento (daN)
- F_v - Carga do vento (daN)

Quando fixa-se um cabo contínuo ao poste, calcula-se isoladamente o esforço de cada lado do poste, por isso necessita-se da divisão da carga do vento pela metade.

3.2.5.3 Tração da Cordoalha

Tração da cordoalha, quando houver cordoalha, é a tração que a cordoalha exerce sobre o poste e resume-se na [Equação 3.11](#):

$$F_{\text{cordoalha}} = \frac{F_c}{2} \quad (3.11)$$

- $F_{\text{cordoalha}}$ - Tração da cordoalha (daN)
- F_c - Carga da cordoalha (daN)

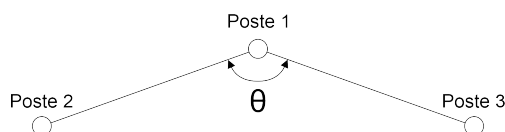
Assim como na tração do vento, calcula-se isoladamente o esforço de cada lado do poste, por isso necessita-se da divisão da carga da cordoalha pela metade.

3.2.6 Esforço

Denomina-se como esforço a tração exercida pela rede no poste.

Na [Figura 24](#), tem-se uma estrutura modelo para cálculo do esforço. Nesta imagem, simula-se o esforço no *Poste 1*, que forma um ângulo θ entre o *Poste 2* e o *Poste 3*. O ângulo θ é muito importante para o cálculo do esforço, pois quanto mais próximo de 180° for o valor do ângulo, menor será o esforço horizontal no poste, levando em consideração que as forças opostas anulariam-se, em contrapartida, quanto mais próximo de 0° for valor do ângulo, maior será o esforço horizontal no poste, levando em consideração que com ângulo 0° as forças somariam-se em um mesmo sentido.

Figura 24 – Efeito do ângulo no cálculo do esforço.



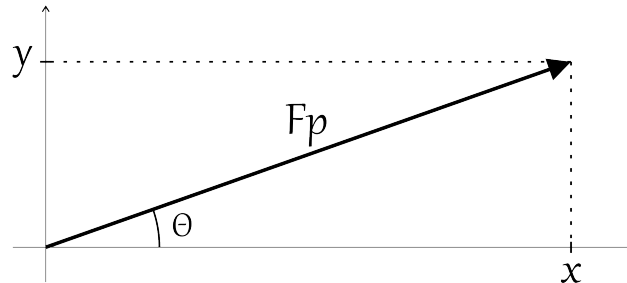
Fonte: Arquivo pessoal.

Utiliza-se o exemplo da [Figura 24](#) apenas para elucidar o cálculo do esforço, pois normalmente tem-se mais do que dois cabos fixados em um poste, necessitando-se assim de outro método de cálculo. Assim, escolheu-se a soma de vetores como cálculo do esforço.

Utilizando-se soma de vetores, possibilita-se a conversão de um vetor com um ângulo em eixos x e y de um plano cartesiano, como visto na [Figura 25](#). O ângulo do vetor é inserido na planilha e o vetor significa a tração de projeto de cabo. Dessa forma, independente da quantidade de cabos, transformam-se todas trações de projeto e ângulo em eixos x e y , executa-se a soma de todos valores no eixo x e todos valores no eixo y e por

fim, transforma-se os eixos novamente em um vetor com seu respectivo ângulo, obtendo-se assim o esforço F_p .

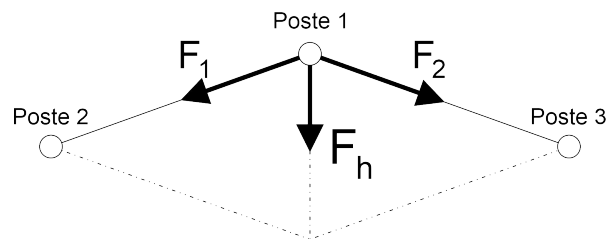
Figura 25 – Representação de um vetor nos eixos x e y.



Fonte: Arquivo pessoal.

Agora, compõe-se ao modelo da [Figura 24](#) as Trações de Projeto que envolvem o *Poste 1*, através da [Figura 26](#). Pode-se determinar então o esforço resultante F_h através da lei dos cossenos.

Figura 26 – Trações de Projeto.



Fonte: Arquivo pessoal.

Exemplifica-se a lei dos cossenos através da [Equação 3.12](#):

$$F_h^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos(\alpha) \quad (3.12)$$

Através da lei dos cossenos, substituindo-se apenas $\alpha = \frac{\theta}{180} \pi$ para cálculo do cosseno em radianos, torna-se possível o cálculo do esforço. Após a substituição, isola-se F_r e obtém-se a [Equação 3.13](#).

$$F_h = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos\left(\frac{\theta}{180} \pi\right)} \quad (3.13)$$

Onde, através da [Figura 26](#), tem-se:

- F_h - Força resultante do exemplo (*daN*)

- F_1 - Força do cabo entre os *Postes* 1 e 2 (*daN*)
- F_2 - Força do cabo entre os *Postes* 1 e 3 (*daN*)

Por fim, substituindo-se os valores, tem-se:

$$E = \sqrt{F_{p1}^2 + F_{p2}^2 + 2 F_{p1} F_{p2} \cos\left(\frac{\theta}{180} \pi\right)} \quad (3.14)$$

Onde:

- E - Esforço total do cabo (*daN*)
- F_{p1} - Tração de projeto do cabo 1 (*daN*)
- F_{p2} - Tração de projeto do cabo 2 (*daN*)
- θ - Ângulo entre os cabos 1 e 2 ($^\circ$)

Até essa parte dos cálculos, calcula-se o esforço de cada cabo individualmente.

3.2.7 Momento de Esforço

O momento de esforço é o esforço horizontal resultante no topo do poste e segundo [ELETROPAULO 2003], os esforços horizontais derivam das tensões resultantes dos cabos e ao contrário dos esforços verticais, não são paralelos ao eixo do poste e geram apenas esforços de momentos máximos na base do poste junto ao solo e mínimos no ponto de aplicação da carga.

Quando se tem várias forças horizontais aplicadas em diversas alturas do poste, deve-se transferi-las para o ponto virtual de aplicação de esforços horizontais no topo do poste e assim encontra-se a Força Horizontal Resultante que seja equivalente aos diversos momentos provocados por todas as forças horizontais equivalentes.

Neste trabalho, objetiva-se o cálculo do esforço dos cabos de telecomunicação e distribuição, assim transfere-se os esforços correspondentes e resultantes de cada linha para o topo do poste, pois assim determina-se um ponto padrão de aplicação de todas as forças que incidem sobre o poste.

Na [Figura 27](#) observa-se um esquemático das forças atuantes sobre o poste que serão calculadas e explicadas nessa subseção.

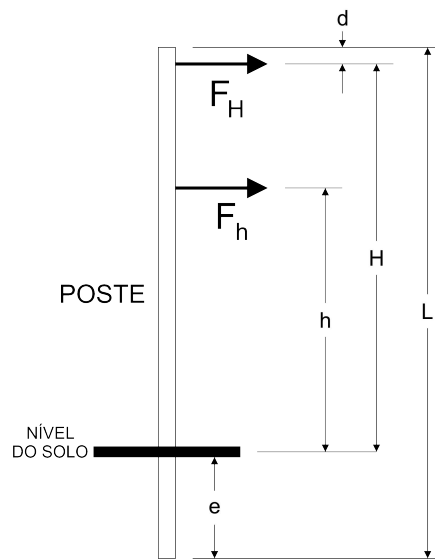
Inicialmente, encontra-se a razão entre as forças aplicadas no poste com a sua altura em relação ao nível do solo, como descrito na [Equação 3.15](#).

$$F_H H = F_h h \quad (3.15)$$

Onde:

- F_H - Esforço de aplicação das resultantes dos esforços horizontais (daN)
- H - Altura de aplicação das resultantes dos esforços horizontais (m)
- F_h - Esforço de aplicação dos esforços dos cabos (daN)
- h - Altura de aplicação dos esforços dos cabos (m)

Figura 27 – Esforços Horizontais.



Fonte: Arquivo pessoal.

Assim, manipula-se a [Equação 3.15](#) a fim de isolar a variável do momento de esforço F_H , como descrito na [Equação 3.16](#):

$$F_H = \frac{F_h h}{H} \quad (3.16)$$

A partir do modelo da [Equação 3.16](#), faz-se algumas manipulações da equação para torná-la útil para a aplicação. O esforço F_h é conhecido e será exemplificado a seguir, assim como h , porém a altura de aplicação das resultantes dos esforço horizontais H não é fornecido, pois depende da altura do poste.

Então, determina-se o valor do comprimento H através do comprimento total do poste e o engastamento do poste, como citado na [Equação 3.17](#):

$$H = L - e - d \quad (3.17)$$

Onde:

- L - Comprimento total do poste (m)
- e - Engastamento do poste (m)
- d - Distância de aplicação da resultante dos esforços horizontais em relação ao topo do poste (m)

Para realização do cálculo da [Equação 3.17](#) obtém-se os valores de L a partir da concessionária de energia ou até mesmo através de inspeção visual de gravuras no próprio poste, d também é fornecido pela concessionária de energia, sendo a distância entre o topo do poste e o primeiro ponto de fixação da rede e por fim, basta definir o engastamento do poste, ou seja, o quanto do comprimento do poste encontra-se enterrado [CELESC I-313.0004].

$$e = \frac{L}{10} + 0,6 \quad (3.18)$$

A partir da [Equação 3.18](#), nota-se que o engastamento do poste é 10% do comprimento do poste somado a um valor fixo de 0,6 metros.

Por fim, de acordo com a [Figura 27](#), obtém-se uma equação modelo para o cálculo do momento de esforço em um poste, como descrito na [Equação 3.19](#):

$$F_H = \frac{F_h h}{L - \left(\frac{L}{10} + 0,6\right) - d} \quad (3.19)$$

Utiliza-se a altura de fixação no cálculo final do momento de esforço, porém tem-se vários cabos em diferentes alturas de fixação, dessa forma, necessita-se nesse cálculo muita cautela. Cita-se a seguir os critérios utilizados em cada rede:

- **Rede de telecomunicação**

A rede de telecomunicação possui uma altura de fixação convenientemente adotada para todos os níveis, dessa forma, para cálculo do momento de esforço dessa rede, aplica-se a [Equação 3.19](#), utilizando-se $h = 5,5$.

- **Rede de baixa tensão**

Assim como na rede de telecomunicação, a rede de baixa tensão possui uma altura de fixação convenientemente adotada para todos os níveis, dessa forma, aplica-se também a [Equação 3.19](#), porém utilizando-se $h = 7,1$.

- Rede de média tensão

A rede de média tensão necessita de maior espaço de isolamento entre os níveis, assim cada nível possui uma altura de fixação distinta, conforme mostrado na [Tabela 6](#). Dessa forma, calcula-se inicialmente o momento de esforço de cada nível, obtendo-se a projeção dos esforços para o topo do poste de cada rede separadamente. Após, transforme-se todos os momentos de esforço e ângulo em eixos x e y , executa-se a soma de todos valores no eixo x e todos valores no eixo y e por fim, transforma-se os eixos em vetor e ângulo novamente, obtendo-se assim o momento de esforço resultante da rede.

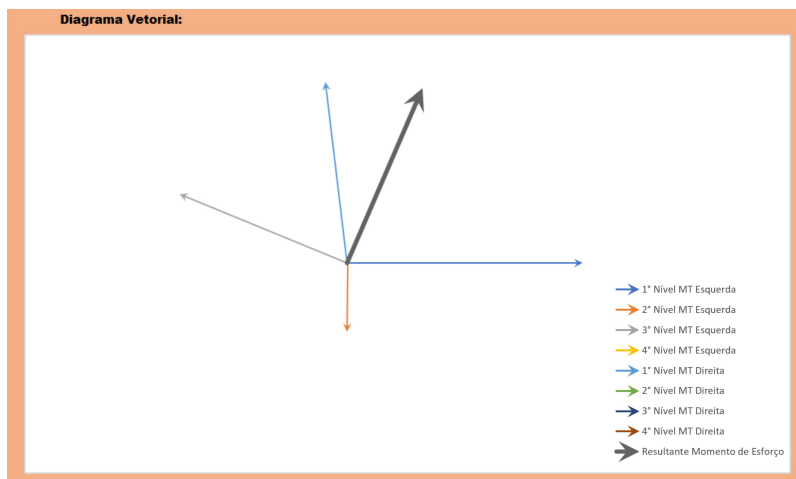
- Momento de esforço resultante de todas as redes

De acordo com os itens anteriores, tem-se até essa etapa o momento de esforço resultante de cada rede, assim, decompondo-se o momento de esforço nos eixos x e y , executa-se a soma de todos os valores e por fim, transforma-se os eixos em vetor e ângulo novamente, obtendo-se assim o momento de esforço resultante de todas as redes sobre o poste.

3.3 GERAÇÃO DE VETORES

Como forma de agregar valor para a planilha, criou-se um gráfico de vetores para melhor compreensão do projetista no uso da ferramenta. Dessa forma, além de todas informações numéricas, tem-se essas informações em forma de vetores simulando o ambiente real onde está inserido o poste, como visto na [Figura 28](#).

Figura 28 – Geração de Vetores.



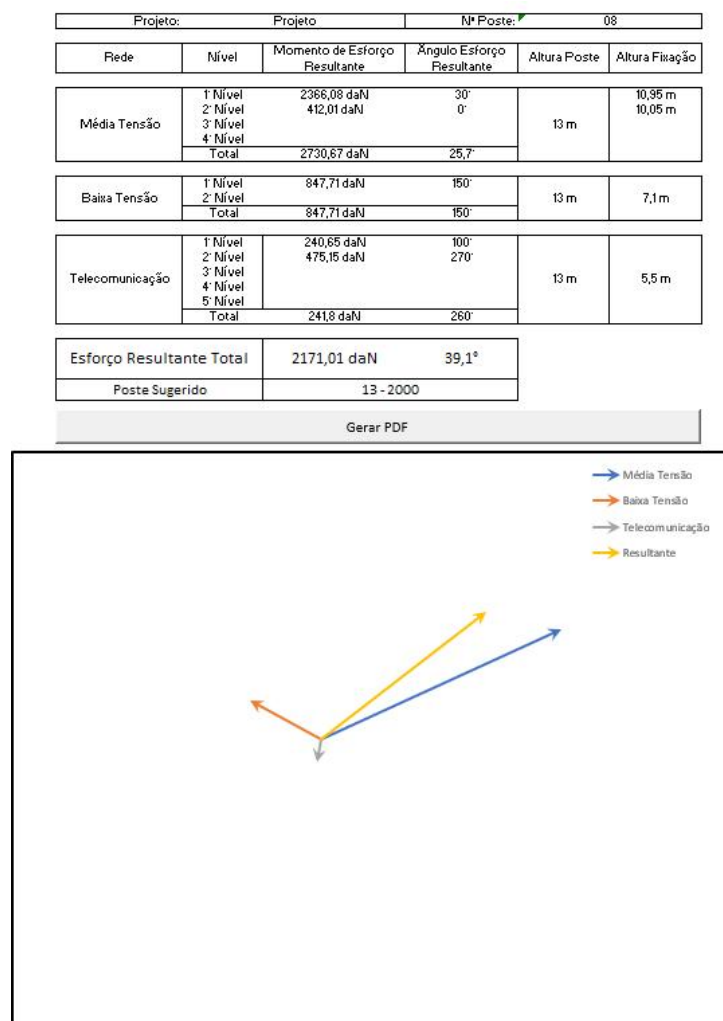
Fonte: Arquivo pessoal.

Na [Figura 28](#) nota-se os vetores de redes de média tensão, onde possui quatro vetores correspondentes aos quatro níveis e também o vetor correspondente ao momento de esforço resultante. Como citado na [subseção 3.2.6](#), sabe-se os valores de x e y de cada vetor, criando outro ponto em $x = 0$ e $y = 0$, constrói-se um vetor correspondente ao esforço aplicado no poste.

3.4 GERAÇÃO DE PDF

Após o preenchimento de todas as redes, redireciona-se o usuário para a aba de catalogação das informações. Cita-se essa aba na [subseção 3.1.4](#), porém adiciona-se os vetores de cada rede junto ao vetor de momento de esforço resultante, conforme mostrado na [Figura 29](#). Essa aba possui as dimensões de uma folha A4 e a extensão do tipo .PDF, formato de arquivo mais comum para essa impressão ou armazenamento.

Figura 29 – Geração de PDF.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.5 MANUAL DE USO DA PLANILHA

A primeira ação tomada, inicia-se antes mesmo do preenchimento da planilha. Analisa-se as redes que compartilham o poste e decide-se qual segmento de rede será a referência para os cálculos angulares. Por questões de simplicidade, sugere-se escolher o segmento de rede que possui o maior número de redes no mesmo ângulo, diminuindo a quantidade de cálculos relacionados a esse passo.

Após a análise angular, inicia-se os trabalhos na ferramenta que possui, caso o poste esteja compartilhando todas as redes, quatro etapas de processo. Cita-se a seguir cada uma das etapas.

Durante todas as etapas, utiliza-se como forma de validação dos cálculos os vetores de cada rede e os vetores resultantes. Caso o projeto possua alguma incongruência, ficará nítida no diagrama de vetores.

- **Etapa 1:** Preenchimento dos dados da rede de média tensão - [Figura 30](#)

Figura 30 – Manual do usuário - Etapa 01.

Fonte: Arquivo pessoal.

Inicialmente, a primeira informação que deve ser inserida é a altura do poste. Caso essa informação não seja preenchida, o valor do momento de esforço resultante continuará em zero.

No segundo passo, analisa-se a rede de média tensão e identifica-se se a mesma é considerada rede contínua ou se a rede possui início ou fim do trajeto no poste. Caso nesse poste a rede seja contínua, deve-se preencher os dois retângulos destinados ao 1º nível de média tensão, caso contrário preenche-se apenas um dos retângulos.

No terceiro passo, preenche-se os dados de cada segmento de rede, iniciando pelo **Tipo de Cabo**, após **Nº Cabos** e por fim a **bitola** do cabo. Após o preenchimento dos valores do cabo, preenche-se os valores dos vãos até a próxima ancoragem e caso o cabo tenha um ângulo diferente da referência, preenche-se o valor do ângulo que o cabo faz com a referência. Por fim, quando tem-se cabo contínuo, segue-se esse mesmo passo a

passo para o outro cabo do mesmo nível. Caso a rede de média tensão possua mais níveis, preenche-se os próximos níveis de acordo com o preenchimento do primeiro nível.

Após inserir os valores de todos os cabos de média tensão, analisa-se de forma sucinta se os dados de altura, fixação e ângulo do esforço resultante estão dentro da normalidade de valores.

A planilha possui dois botões com programações automatizadas para facilitar o uso da ferramenta. Caso ocorra algum erro ou equívoco, possibilita-se o uso do botão **Apagar todos os dados**, fazendo com que a planilha volte ao estado inicial. O outro botão denominado como **Próxima Etapa** faz a mudança de planilha, para a próxima rede a ser preenchida.

- **Etapa 2:** Preenchimento dos dados da rede de baixa tensão - [Figura 31](#)

Figura 31 – Manual do usuário - Etapa 02.

Fonte: Arquivo pessoal.

Caso a informação de altura do poste tenha sido inserida na etapa 1, a planilha preenche automaticamente, não necessitando inseri-la novamente.

No próximo passo, analisa-se a rede de baixa tensão e identifica-se se a mesma é considerada rede contínua ou se a rede possui início ou fim do trajeto no poste. Caso nesse poste a rede seja contínua, deve-se preencher os dois retângulos destinados ao 1º nível de baixa tensão, caso contrário preenche-se apenas um dos retângulos.

No terceiro passo, preenche-se os dados de cada segmento de rede, iniciando pelo **Tipo de Cabo**, após **Nº Cabos** e por fim a **Bitola Fase** e **Bitola Neutro** do cabo. Após o preenchimento dos valores do cabo, preenche-se os valores dos vãos até a próxima ancoragem e caso o cabo tenha um ângulo diferente da referência, preenche-se o valor do ângulo que o cabo faz com a referência. Por fim, quando tem-se cabo contínuo, segue-se esse mesmo passo a passo para o outro cabo do mesmo nível. Caso a rede de baixa tensão possua derivações, preenche-se os próximos níveis de acordo com o preenchimento do primeiro nível.

Após inserir os valores de todos os cabos de baixa tensão, analisa-se de forma sucinta se os dados de altura e ângulo do esforço resultante estão dentro da normalidade de valores.

Como já citado anteriormente, a planilha possui os mesmos botões automatizados da média tensão.

- **Etapa 3:** Preenchimento dos dados da rede de telecomunicação - [Figura 32](#)

Figura 32 – Manual do usuário - Etapa 03.

Fonte: Arquivo pessoal.

Caso a informação de altura do poste tenha sido inserida na etapa 1 ou etapa 2, a planilha preenche automaticamente, não necessitando inseri-la novamente.

No próximo passo, analisa-se a rede de telecomunicação e identifica-se se a mesma é considerada rede contínua ou se a rede possui início ou fim do trajeto no poste. Caso nesse poste a rede seja contínua, deve-se preencher os dois retângulos destinados ao cabo projetado de telecomunicação, caso contrário preenche-se apenas um dos retângulos. Caso a rede possua um cabo contínuo e mais uma derivação, preenche-se o terceiro retângulo.

No terceiro passo, preenche-se os dados de cada segmento de rede, indicando qual cabo será utilizado no projeto. Após o preenchimento do cabo, preenche-se os valores dos vãos até a próxima ancoragem e caso o cabo tenha um ângulo diferente da referência, preenche-se o valor do ângulo que o cabo faz com a referência. Por fim, caso o cabo possua codoalha, insere-se a informação no campo especificado.

Após inserir os valores de todos os cabos, analisa-se de forma sucinta se os dados de altura e ângulo do esforço resultante estão dentro da normalidade de valores.

- **Etapa 4:** Preenchimento dos dados do projeto - [Figura 33](#)

A última etapa possui apenas três passos, então inicialmente insere-se as informações do nome do projeto e o número do poste.

No próximo passo, confere-se todas as informações resumidas do projeto, validando as informações de cada cabo e cada rede, assim como as informações totais.

Por fim, clica-se no botão **Gerar PDF**, escolhe-se o nome do arquivo e o projeto será salvo na mesma pasta onde encontra-se a planilha.

Figura 33 – Manual do usuário - Etapa 04.

Projeto:		Nº Poste:			
Rede	Nível	Momento de Esforço Resultante	Ângulo Esforço Resultante	Altura Poste	Altura Fixação
Média Tensão	1° Nível				
	2° Nível				
	3° Nível				
	4° Nível				
	Total				
Baixa Tensão	1° Nível				
	2° Nível				
	Total				
Telecomunicação	1° Nível				
	2° Nível				
	3° Nível				
	4° Nível				
	5° Nível				
	Total				
Esforço Resultante Total		0 daN	0°		
Poste Sugerido					
Gerar PDF					

Fonte: Arquivo pessoal.

4 VALIDAÇÃO PRÁTICA

A ferramenta desenvolvida tem como objetivo abordar todos os processos de forma totalmente teórica, sem interferência de como diferentes métodos são utilizados na prática no momento de instalação dos cabos. Deste modo, desenvolveu-se uma ferramenta pronta para uso padrão ou, com pequenas alterações, capaz de atender processos com algumas divergências específicas de métodos da empresa ou organização interessada.

Para isso, realizou-se um treinamento com a equipe da CELESC, responsável pela distribuição de energia na maior parte do estado de Santa Catarina e levantou-se todos os dados para comparação. O treinamento ocorreu na central da CELESC em Florianópolis, onde se tem toda a estrutura necessária para os testes dos esforços dos cabos em postes. O ambiente conta com diversos postes a céu aberto, simulando uma instalação padrão da empresa, como mostrado na [Figura 34](#).

Figura 34 – Campo de Treinamento CELESC.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.1 MODO DE OPERAÇÃO ATUAL DA CELESC

Para um melhor entendimento da validação prática ocorrida no treinamento realizado na CELESC, primeiramente será explicado em um breve resumo, o modo de operação da CELESC na realização de instalação de cabos de distribuição em suas ancoragens. Esse método pode variar de acordo com cada empresa e seus objetivos.

O método utilizado pela CELESC visa obter uma tração reduzida em contraponto de uma flecha reduzida em longos vãos, então elaborou-se uma lista com todos os passos utilizados para a execução do projeto, a fim de validar o método analítico usado neste trabalho.

De acordo com o técnico, inicialmente observa-se o tipo de rede, média tensão, baixa tensão ou rede de telecomunicação, e o tipo de cabo utilizado, CA, CAA, CU, Multiplexado ou Coberto e por fim calcula-se o vão regulador. Até esse ponto de análise das redes as etapas são congruentes.

Na definição da flecha, iniciam-se as incongruências de ciclo de projeto. Neste documento, determinou-se que a flecha é comumente calculada como sendo um percentual do valor do vão regulador, em muitos casos adota-se o valor de flecha igual a 1 % do vão regulador. Porém na CELESC, consulta-se o [CELESC NE-166E] e através da [Tabela 12](#), recorte da tabela original, defini-se o comprimento da flecha em relação ao vão e temperatura média do local. Utilizando-se dos valores da validação da ferramenta, mediu-se uma temperatura de 25 °C e um vão de 107 m e como a tabela especifica os vãos com uma diferença de 5 m, escolhe-se o vão de 110 m. Dessa forma, através da [Tabela 12](#), o valor de flecha para o caso é de 1,61 m.

Tabela 12 – Flechas - 35mm² CAA Coberto.

FLECHAS (m)												
VÃOS (m)	TEMPERATURAS (°C, Sem Vento)											
	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	0,60	0,66	0,74	0,81	0,90	0,98	1,06	1,15	1,23	1,31	1,39	1,47
90	0,67	0,75	0,82	0,90	0,99	1,08	1,16	1,25	1,34	1,42	1,50	1,58
95	0,75	0,83	0,91	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,53	1,62	1,70
100	0,84	0,92	1,01	1,10	1,19	1,28	1,38	1,47	1,56	1,65	1,74	1,82
110	1,02	1,11	1,21	1,31	1,41	1,51	1,61	1,70	1,80	1,90	1,99	2,08
120	1,23	1,33	1,43	1,53	1,64	1,75	1,85	1,95	2,06	2,16	2,25	2,35
130	1,45	1,56	1,67	1,78	1,89	2,00	2,11	2,22	2,33	2,43	2,53	2,63
140	1,69	1,80	1,92	2,04	2,16	2,27	2,39	2,50	2,61	2,72	2,83	2,93
150	1,95	2,07	2,19	2,32	2,44	2,56	2,68	2,80	2,91	3,03	3,14	3,25

Fonte: [CELESC NE-166E]

Após, define-se a tração de montagem também através de [CELESC NE-166E], porém com uso da Tabela 13, recorte da tabela original.

Tabela 13 – Tração de Montagem - 35mm² CAA Coberto.

TRAÇÕES DE MONTAGEM (daN)													
VÃOS (m)	TEMPERATURAS (°C)												
	C/ V.MÁX.	SEM VENTO											
	15	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	309	309	289	270	253	237	223	210	198	188	178	169	162
90	312	312	293	275	258	243	228	216	204	194	184	176	168
95	315	315	297	279	263	248	234	221	210	200	190	182	174
100	319	319	300	283	267	252	239	227	215	205	196	188	180
110	324	324	306	290	275	261	248	237	226	216	207	199	191
120	329	329	312	297	282	269	257	245	235	226	217	209	201
130	336	333	317	303	289	276	265	254	244	234	226	218	211
140	346	337	322	308	295	283	272	261	252	243	234	227	219
150	355	340	326	312	300	289	278	268	259	250	242	235	228

Fonte: [CELESC NE-166E]

Faz-se o processo de tração em duas etapas, na primeira etapa traciona-se o cabo para o valor de temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, para levar o cabo em um limite máximo de tração, que nesse caso foi de 324 kgf , conforme mostrado na Figura 35. Na segunda etapa, destraciona-se o cabo para o valor de temperatura ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, que segundo a tabela é de 237 kgf e na prática, atingiu-se 232 kgf , a diferença se dá pelo equipamento de medição ser analógico e as limitações que o sistema de catraca consegue aplicar, como visto na Figura 36.

Figura 35 – Tração de Montagem para $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 36 – Sistema de tracionamento com uso de catraca.



Fonte: Arquivo pessoal.

Questionou-se o técnico acerca do modo de operação da CELESC e entendeu-se que a concessionária opta por uma flecha um pouco maior do que o convencional, em relação ao 1% de flecha em relação ao vão regulador, objetivando um menor esforço nas estruturas na qual os cabos são fixados.

Por fim, por mais que a concessionária tenha valores pré-definidos de esforços para certas situações, foi comentado que o cálculo da soma desses esforços ainda é feito com calculadora pela maioria dos projetistas, fazendo com que, com alguns ajustes a ferramenta se encaixe perfeitamente também para os cálculos de esforços segundo o método de instalação utilizado pela concessionária.

4.2 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

Para realização dos testes, utilizou-se um cabo coberto rural, de alumínio com alma de aço, utilizado em grandes vãos, de 35 mm^2 , com massa nominal igual a $285 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$ e diâmetro igual $16,2 \text{ mm}^2$, pesado e medido no local, respectivamente. As demais variáveis serão mostradas na [Tabela 14](#) para uma melhor visualização de todos os dados levantados no treinamento.

Após desenvolver todas as medições e aplicar todas as características necessárias, utilizou-se um dinamômetro para medir a tração do cabo. Fixou-se o cabo entre dois postes e colocou-se o dinamômetro entre o cabo e uma das ancoragens. Após todos procedimentos padrões, tracionou-se o cabo até uma tração desejada de aproximadamente 232 kgf para alcançar a flecha de aproximadamente $1,66 \text{ m}$, como visto na [Figura 37](#).

Assim, para validar os cálculos desenvolvidos na ferramenta, aplicou-se as mesmas características do treinamento para observar os resultados. Na [Figura 38](#), tem-se o cálculo

Tabela 14 – Dados Práticos - Treinamento CELESC.

Característica	Medição
Bitola	35,00mm ²
Massa Nominal	285kg/km
Diâmetro Nominal	16,2mm ²
Altura de Fixação	1,93m
Flecha	1,66m
Vão Regulador	107m
Temperatura	25°C

Figura 37 – Dinamômetro no cabo tensionado.



Fonte: Arquivo pessoal.

da tração exercida pelo cabo e observa-se o valor de 245,54 *kgf*, aproximadamente 5,84% maior do que o valor medido em campo.

Figura 38 – Simulação do treinamento.

Fonte: Arquivo pessoal.

Deste modo, certifica-se que a ferramenta está devidamente calibrada e justifica-se a divergência pequena de 5,84% devido as condições climáticas ou possível falta de exatidão da visualização do mostrador do dinamômetro analógico. Vale ressaltar que a ferramenta

apresentou um valor de tração superior ao medido em campo, tornando o resultado mais conservador e assim mais seguro para as estruturas.

Cita-se como ponto importante a não utilização, por parte da CELESC, de nenhuma ferramenta para auxílio nos cálculos. Atualmente utiliza-se apenas tabelas e calculadora e com isso, nota-se que o processo torna-se muito mais suscetível a erros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento do projeto e de inúmeros testes na ferramenta, constatou-se os benefícios e a eficiência que a mesma trará quando aplicada. Foi possível acompanhar o trabalho das equipes da CELESC em relação ao resultado final, pois graças ao empenho dos envolvidos a finalização da ferramenta foi alcançada com grande satisfação.

Todos os objetivos do projeto foram alcançados com êxito, especificou-se, modelou-se e implementou-se uma ferramenta de cálculo de esforço de rede de média tensão, rede de baixa tensão e rede de telecomunicação. Outros objetivos alcançados foram a criação de um diagrama de vetores e a geração de um relatório de esforço para cada poste.

Ao longo deste documento foram apresentadas as etapas do projeto relativas ao desenvolvimento dos cálculos. Do ponto de vista acadêmico, o trabalho tem como característica a multidisciplinaridade, envolvendo diversos conceitos vistos ao longo do curso da graduação em Engenharia Elétrica, tais como: álgebra linear, materiais elétricos, princípios de sistema de comunicação, instrumentação eletrônica, fenômenos de transporte e toda a base em cálculo e física. O projeto também proporcionou a oportunidade de adquirir conhecimentos nas normas de engenharia da atualidade, utilizando-as para a solução de um problema real.

O projeto foi bastante motivador e desafiador. Motivador por ser algo novo até mesmo para a CELESC, onde colocou-se em prática todo o conhecimento adquirido na graduação e desafiador por proporcionar o uso de normas e manuais sem uma experiência anterior, sempre prezando pela qualidade do projeto e cumprimento dos prazos. Apesar da estrutura parecer simples, necessitou-se de vários dias de testes para chegar na versão final sem erros ou gargalos.

Como perspectivas futuras, possibilita-se a inserção de novos cabos na ferramenta analítica e objetiva-se que a ferramenta, com pequenas ajustes, possa adequar-se a qualquer demanda de empresas do ramo. A divergência entre os resultados obtidos com a ferramenta analítica e as medições da CELESC é uma possível necessidade de atualização da ferramenta, onde os valores de flecha e tração de projeto são adquiridos por meio de tabelas pré definidas e não pelas equações citadas no texto.

Desta forma, conclui-se que através das tecnologias disponíveis no mercado e a contínua busca por novos conhecimentos, torna possível o desenvolvimento de sistemas aptos a otimizar processos, acarretando maior produtividade com menor custo e, conseqüentemente, tornando os processos mais eficientes.

Sugere-se, para trabalhos futuros, uma validação paralela em software de análise

mecânica de estruturas, como o *SolidWorks*. Assim também como a análise de influência em esforço mecânico de estruturas físicas instaladas em postes como transformadores, religadores e equipamentos semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ASTH, Rafael. [S.l.]: Vetores: soma, subtração e decomposição. <<https://www.todamateria.com.br/vetores-fisica-matematica/>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado na página 26.
- BRASIL Escola. [S.l.]: Amarolina Ribeiro. <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-energia-eletrica-no-brasil.htm>>. [Acesso em 23 de Dezembro de 2020]. Citado na página 21.
- BRASIL Escola. [S.l.]: Decomposição vetorial. <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/decomposicao-vetorial.htm>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado na página 27.
- CELESC. [S.l.]: Centrais Elétricas de Santa Catarina, 2020. <<https://www.celesc.com.br/>>. [Acesso em 23 de Dezembro de 2020]. Citado na página 21.
- CELESC E-313.0002. [S.l.]: ESTRUTURAS PARA REDES AÉREAS CONVÊNCIONAIS DE DISTRIBUIÇÃO, 2014. <www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-rede/e3130002.pdf>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado 3 vezes nas páginas 30, 33 e 37.
- CELESC E-313.0018. [S.l.]: CABO DE ALUMÍNIO NU - CA E CAA, 2019. <<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/e3130018.pdf>>. [Acesso em 22 de dezembro de 2021]. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- CELESC E-313.0032. [S.l.]: ESPECIFICAÇÃO DE CONDUTORES DE COBRE NU, 2019. <<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/e3130032.pdf>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- CELESC E-313.0052. [S.l.]: ESPECIFICAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO E COBRE MULTIPLEXADOS AUTO-SUSTENTADOS COM ISOLAÇÃO EXTRUDADA DE POLIETILENO TERMOFIXO. <<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/E3130052.pdf>>. [Acesso em 22 de dezembro de 2021]. Citado na página 39.
- CELESC E-313.0075. [S.l.]: CABOS COBERTOS PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA COMPACTA EM ESPAÇADORES, 2021. <<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/E3130075.pdf>>. [Acesso em 22 de dezembro de 2021]. Citado na página 36.
- CELESC I-313.0003. [S.l.]: TRAÇÕES E FLECHAS DE CABOS CONDUTORES. Citado 3 vezes nas páginas 48, 49 e 50.
- CELESC I-313.0004. [S.l.]: ENGASTAMENTO DE POSTES. Citado na página 55.
- CELESC I-313.0015. [S.l.]: COMPARTILHAMENTO DE POSTES. <http://compartilhamento.celesc.com.br/painel/downloads/arquivos/I3130015_Compartilhamento_Postes_2020.pdf>. [Acesso em 22 de dezembro de 2021]. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 43.

CELESC NE-166E. [S.l.]: ESTRUTURAS PARA REDES AÉREAS CONVÊNCIONAIS DE DISTRIBUIÇÃO COM CABO PROTEGIDO ATÉ 25kV – REDE COMPACTA SIMPLES – CS. Citado 3 vezes nas páginas 36, 64 e 65.

CLICK Guarulhos. [S.l.]: Foto rede de distribuição. <<https://www.clickguarulhos.com.br/wp-content/uploads/2016/08/poste-de-luz.jpg>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado na página 34.

COPEL. “dimensionamento de estruturas”. NTC 850 001, 1995. Citado na página 47.

ELETROPAULO. [S.l.]: dimensionamento de poste de concreto com seção circular, utilizado em rede de distribuição, 2003. <<https://www.eneldistribuicao.com.br/Padroes%20Normas%20Tecnicas%20Espec/RT-2003.pdf>>. [Acesso em 02 de novembro de 2020]. Citado na página 53.

FURUKAWA ELECTRIC. [S.l.]: CABO OPTICO CFOA-AS CT (ABNT CL), COMPACTO E AUTOSUSTENTADO E PADRÃO DE COR DE TUBOS ABNT COLORIDO. <https://www.furukawalatam.com/pt_BR/versao-et-pdf/cabo-optico-cfoas-ct-abnt-clcompacto-e-autosustentado-e-padrao-de-cor-de-tubos-abnt-colorido>. [Acesso em 22 de dezembro de 2021]. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

GLOBAL Pedras. [S.l.]: Poste de madeira. <<https://www.globalpedras.com.br/mourao-eucalipto-tratado-3-m>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado na página 29.

IPT Elétrica. [S.l.]: Poste Circular. <<http://iptteixeira.com.br/>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado na página 28.

MUNDO da Elétrica. [S.l.]: Redes de energia elétrica, tipos e características. <<https://www.mundodaeletrica.com.br/redes-de-energia-eletrica-tipos-e-caracteristicas/>>. [Acesso em 22 de dezembro de 2021]. Citado na página 30.

NBR 8451. [S.l.]: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Citado na página 28.

NBR 8456. [S.l.]: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Citado na página 29.

NTD-07. [S.l.]: CRITÉRIOS BÁSICOS PARA PROJETOS DE REDES AÉREAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL. Citado na página 46.

TX Elétrica. [S.l.]: Poste Duplo T de Concreto. <<https://www.txeletrica.com.br/poste-de-concreto-duplo-t-200-dan?search=poste>>. [Acesso em 21 de dezembro de 2021]. Citado na página 28.

USP. [S.l.]: Roberto A. Salmeron. <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/eletricidade/basico/cap00_intr/cap00intr_04.htm#:~:text=Grandeza%20vetorial%20%C3%A9%20aquela%20que,de%20uma%20velocidade%2C%20por%20exemplo.> [Acesso em 26 de Dezembro de 2020]. Citado na página 25.