

**INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA  
CAMPUS JOÃO PESSOA  
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**EDMILA DE MACÊDO GOMES**

**ALTERNATIVAS PARA MELHORIA DO NÍVEL DE TENSÃO EM REDES DE  
DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO**

**JOÃO PESSOA – PB**

**2024**

**EDMILA DE MACÊDO GOMES**

**ALTERNATIVAS PARA MELHORIA DO NÍVEL DE TENSÃO EM REDES DE  
DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia  
Elétrica do Instituto Federal da Paraíba, campus João  
Pessoa, como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do Grau de Bacharelado em Engenharia  
Elétrica.*

Professor: Dr. Alvaro de Medeiros Maciel

Orientador

**JOÃO PESSOA – PB**


**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP  
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

G633a	<p>Gomes, Edmila de Macêdo. Alternativas para melhoria do nível de tensão em redes de distribuição de baixa tensão / Edmila de Macêdo Gomes. – 2024. 45 f. : il.</p> <p>TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB / Coordenação de Engenharia Elétrica. Orientador: Prof. Dr. Álvaro de Medeiros Maciel.</p> <p>1. Distribuição energia elétrica. 2. Redes de baixa tensão. 3. Correção do nível de tensão. 4. Qualidade da energia elétrica. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.3.05</p>
-------	--

**EDMILA DE MACÊDO GOMES**

**Relatório aprovado em 15 de Agosto de 2024.**


Documento assinado digitalmente  
 **ALVARO DE MEDEIROS MACIEL**  
Data: 27/08/2024 18:03:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Alvaro de Medeiros Maciel**

**Orientador**

Documento assinado digitalmente


 **JOSE ARTUR ALVES DIAS**  
Data: 02/09/2024 15:03:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Jose Artur Alves Dias**

**Avaliador**

Documento assinado digitalmente

 **FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA**  
Data: 28/08/2024 15:52:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Franklin Martins Pereira Pamplona**

**Avaliador**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, força e perseverança para poder vir alcançando meus objetivos e conseguindo passar por todas as dificuldades da vida. Agradeço aos meus pais, irmã e amigos por todo o apoio, palavras de conforto e conselhos que foram de grande importância e, por fim, ao meu orientador, Alvaro, por ter me auxiliado tanto na execução desse trabalho quanto nas disciplinas da graduação, nos projetos de pesquisa e na monitoria.

## RESUMO

O presente trabalho abordará um tema recorrente no nosso sistema de distribuição de energia elétrica, que é o desequilíbrio dos níveis de tensão em redes de baixa tensão que, se não for tratado corretamente, pode acarretar em prejuízos tanto para os consumidores em forma de baixa qualidade na entrega de energia, devido a danos em equipamentos, quanto para as concessionárias, que podem acabar tendo prejuízos financeiros significativos e, se não for resolvido de forma adequada, podem apenas postergar o problema. Serão abordadas algumas alternativas utilizadas para correção do nível da tensão, para que por meio de um circuito específico obtido através de reclamação das unidades consumidoras junto à Energisa seja analisado e constatado, com o auxílio de cálculos, a melhor forma para correção da tensão, dentro dos padrões exigidos e pensando no menor custo para as concessionárias.

Palavras-chave: Distribuição de Energia Elétrica. Menor Custo. Níveis de Tensão. Qualidade.

## ABSTRACT

This present work will address a recurring issue in our electrical power distribution system, which is the imbalance of voltage levels in low-voltage networks. If not properly addressed, this imbalance can lead to losses for both consumers, in the form of poor energy delivery and potential equipment damage, and for the utilities, which may end up facing significant financial losses. If not resolved appropriately, the problem may only be postponed. This work will explore some alternatives used to correct voltage levels. Through a specific circuit obtained through complaints from consumer units to Energisa, it will be analyzed and determined, with the help of calculations, the best way to correct the voltage within the required standards and considering the lowest cost for the utilities.

Keywords: Electrical Power Distribution. Lowest Cost. Voltage Levels. Quality.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b>	Consumo de energia elétrica no país.....	11
<b>FIGURA 2:</b>	Esquema unifilar de um SEP.....	13
<b>FIGURA 3:</b>	Configuração (a) em malha e (b) radial.....	14
<b>FIGURA 4:</b>	Faixa de tensão em relação à de referência.....	17
<b>FIGURA 5:</b>	Transformador ideal.....	20
<b>FIGURA 6:</b>	Esquema do tap do transformador.....	21
<b>FIGURA 7:</b>	Comutador interno.....	22
<b>FIGURA 8:</b>	Comutador externo.....	22
<b>FIGURA 9:</b>	Circuito com o trafo fora do centro de carga.....	25
<b>FIGURA 10:</b>	Circuito com o trafo no centro de carga.....	26
<b>FIGURA 11:</b>	Circuito antes de uma divisão de área.....	28
<b>FIGURA 12:</b>	Circuito após uma divisão de área.....	29
<b>FIGURA 13:</b>	Resultado do processo de medição.....	31
<b>FIGURA 14:</b>	Curva de tensão.....	32
<b>FIGURA 15:</b>	Circuito analisado.....	33
<b>FIGURA 16:</b>	Recorte do circuito analisado.....	34
<b>FIGURA 17:</b>	Tensões apuradas.....	35
<b>FIGURA 18:</b>	Circuito para a queda de tensão.....	37
<b>FIGURA 19:</b>	Recorte do circuito após o recondutoramento.....	40
<b>FIGURA 20:</b>	Circuito após o recondutoramento.....	41



## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b>	Tensão de Referência.....	17
<b>TABELA 2:</b>	Seção do condutor e seus respectivos coeficientes.....	27
<b>TABELA 3:</b>	Seção mínima do tronco secundário.....	30
<b>TABELA 4:</b>	Carregamento do transformador.....	34
<b>TABELA 5:</b>	Preenchimento da planilha de queda de tensão.....	38
<b>TABELA 6:</b>	Planilha de queda de tensão.....	38
<b>TABELA 7:</b>	Planilha de queda de tensão reconduzindo o trecho B-D.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

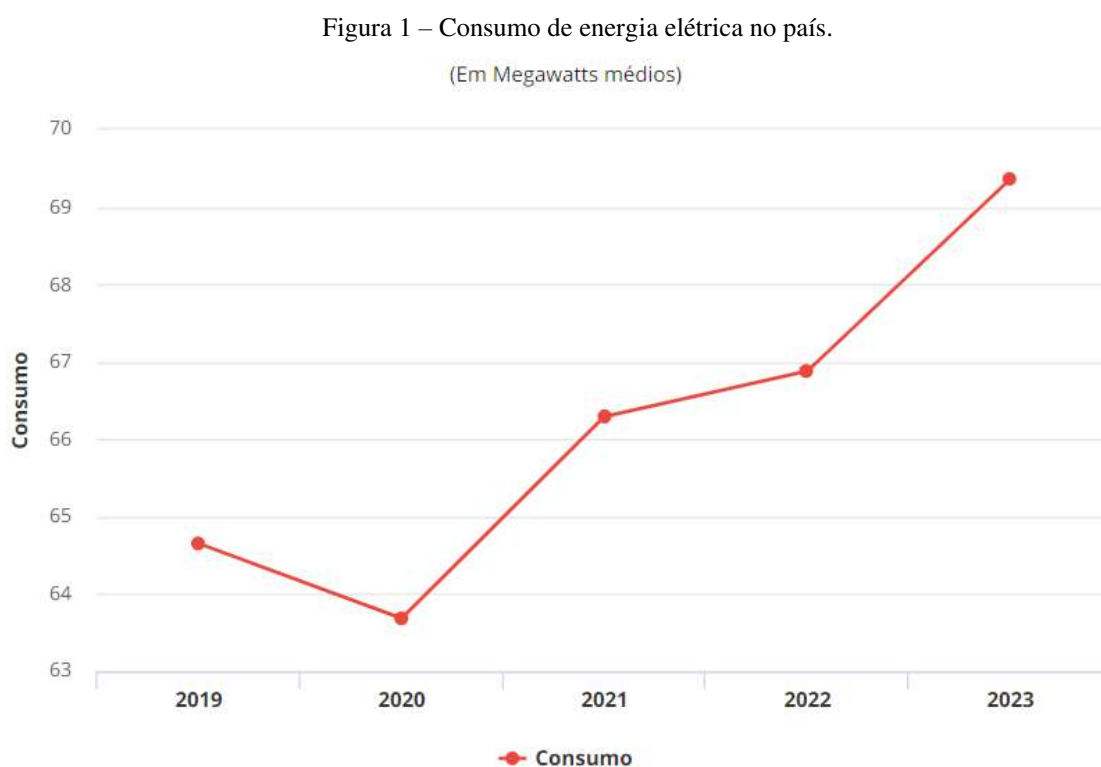
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
DRC	Tensão Relativa da Transgressão de Tensão Crítica
DRP	Tensão Relativa da Transgressão de Tensão Precária
FCEM	Força Contra Eletromotriz
FEM	Força Eletromotriz
FLY-TAP	Espaçador Vertical de Cruzamento Aéreo
LD	Linha de Distribuição
NDU	Norma de Distribuição Unificada
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
Prodist	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
UC	Unidade Consumidora

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	13
2.1	SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA.....	13
2.2	REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO.....	14
2.3	QUEDA DE TENSÃO EM LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DE BT.....	15
2.4	ORGÃOS E NORMAS REGULATÓRIAS.....	16
3	<b>TÉCNICAS PARA REGULAÇÃO DA TENSÃO.....</b>	19
3.1	COMUTAÇÃO DE DERIVAÇÕES – TAP DO TRANSFORMADOR.....	19
3.2	BALANCEAMENTO DAS FASES.....	23
3.3	SUBSTITUIÇÃO E DESLOCAMENTO DE TRANSFORMADORES.....	23
3.4	REDIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES.....	26
3.5	DIVISÃO DE CIRCUITO.....	28
4	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	31
4.1	CARTA DE MEDIÇÃO DE QUEDA DE TENSÃO.....	31
4.2	CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO.....	33
4.3	FORMAS DE ATENDIMENTO.....	35
4.4	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	37
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	42
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	43
	<b>ANEXO A - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO POR RECLAMAÇÃO DE UNIDADE CONSUMIDORA.....</b>	44
	<b>ANEXO B - FORMULÁRIO PARA O CÁLCULO DE QUEDA DE TENSÃO.....</b>	45

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo os dados levantados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Brasil encerrou o ano de 2023 com um aumento de 3,7% no consumo de energia elétrica em comparação com o ano de 2022. O consumo de megawatts chegou a 69.363, o maior dos últimos anos. Desde o ano da pandemia de Covid-19, que houve uma queda no consumo, os números só vêm aumentando. Somente entre os anos de 2020 e 2023 foi constatado um crescimento no consumo de 5,676 MW, conforme apresentado na Figura abaixo:



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE (2024).

O aumento no consumo tem sido um grande desafio para as concessionárias de energia elétrica, no que se diz respeito ao fornecimento de tensão com qualidade e dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente. Esse aumento da demanda está relacionado com fatores econômicos, políticos e ambientais, com destaques para a ausência de planejamento estratégico por parte do poder público e as fortes ondas de calor que o país vem enfrentando, que acaba tendo grandes impactos na produção de energia elétrica do país devido a dependência da matriz hidráulica.

Dentre os fatores que mais geram preocupação está o desequilíbrio de tensão no sistema de distribuição de baixa tensão, que está presente em diversos circuitos existentes. Tendo em vista que o consumo varia conforme a necessidade e horário, com o aumento da demanda surge a necessidade da expansão da rede.

Neste trabalho, são apresentadas algumas das diversas técnicas existentes para manter os níveis de tensão dentro da faixa adequada e um caso para estudo para que seja posto em prática, juntamente com os cálculos necessários para resolução do problema, a melhor forma de atender uma unidade consumidora no Estado de Rondônia, almejando a sua melhoria na qualidade de energia e com o menor custo possível para a concessionária.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Demonstrar as técnicas existentes para correção nos níveis de tensão em redes de distribuição de baixa tensão, buscando a melhor forma de atendimento em conjunto com o menor custo de execução para as concessionárias.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Obter um maior conhecimento a respeito das técnicas de regulação de tensão;
- II. Conhecer as normas e regulamentos vigentes que são responsáveis por estabelecer os padrões de energia;
- III. Analisar um circuito de distribuição de baixa tensão com problemas de subtensão e/ou sobretensão;
- IV. Analisar o carregamento do transformador existente para o circuito que se encontra a unidade consumidora;
- V. Realizar medições de queda de tensão nos condutores no circuito existente;
- VI. Analisar e determinar a solução mais viável que poderá ser adotada;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

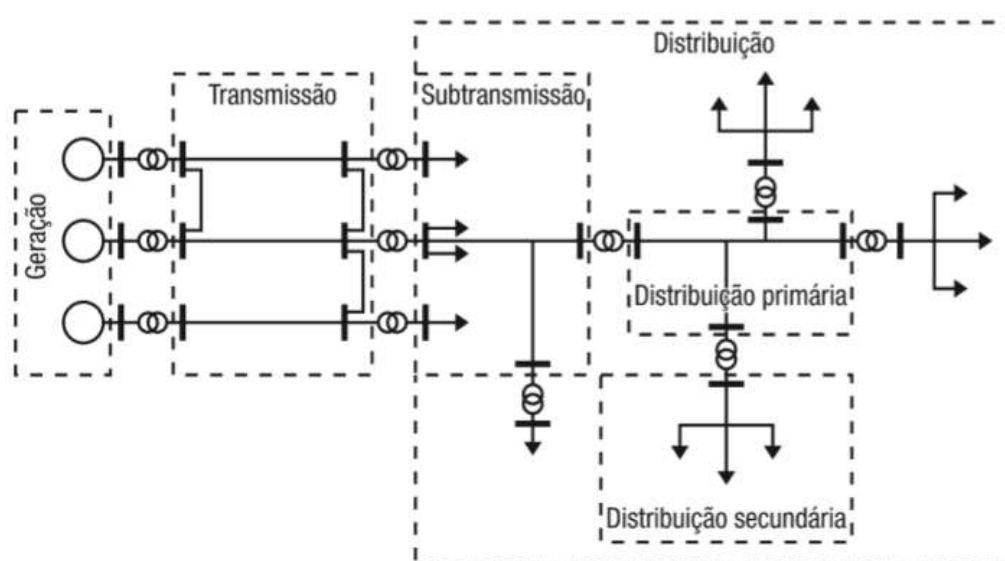
O sistema elétrico de potência (SEP) engloba todo o conjunto de componentes necessários para a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica em larga escala.

Segundo Kagan (2000, p.1), 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. Deve-se, pois, dispor de sistemas de controle da produção de modo que a cada instante seja produzida a energia necessária a atender à demanda e às perdas na produção e no transporte.

Kagan (2000) descreve que, em um sistema elétrico de potência, o primeiro abaixamento do nível de tensão é feito através das subestações de subtransmissão que são supridas através de linhas de transmissão, suprindo, por sua vez, linhas que operam em nível de tensão mais baixo, como é o caso da alta tensão. E as subestações de distribuição são responsáveis por um novo abaixamento para a tensão de distribuição primária, que supre transformadores de distribuição dos quais deriva a rede de distribuição secundária.

Na Figura 2 é demonstrada todas as características do processo.

Figura 2 – Esquema unifilar de um SEP.



Fonte: Kagan (2000, p.3).

Para Zanetta (2006, p.2), inúmeros problemas técnicos devem ser superados para que a energia elétrica possa ser transportada atendendo aos requisitos de segurança das instalações e das pessoas envolvidas. Aspectos cruciais como confiabilidade, flexibilidade e custos envolvidos no transporte estabelecem o núcleo das ações das equipes técnicas encarregadas da operação e planejamento dos sistemas elétricos de potência.

## 2.2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO

As redes de baixa tensão (BT) estão padronizadas nos valores de 220/127 V para os Estados das regiões sul e sudeste e no restante do país 380/220 V. Essas redes suprem, desde a iluminação pública das vias e consumidores residenciais até pequenos comércios e indústrias. (Kagan, 2000).

As redes aéreas são fixadas nos postes por meio das estruturas responsáveis por sustentar os cabos de alumínio, que podem ser nus ou multiplexados (isolados), levando energia aos consumidores através dos ramais de ligação conectados ao padrão de entrada.

Os circuitos de Baixa Tensão, geralmente apresentam configuração inicial em malha e, quando alcançado o seu limite de carregamento, evolui para a configuração radial, por meio do seccionamento da malha nos pontos A e A' e instalação de outro transformador, como apresentado na Figura 3. (Kagan, 2000).

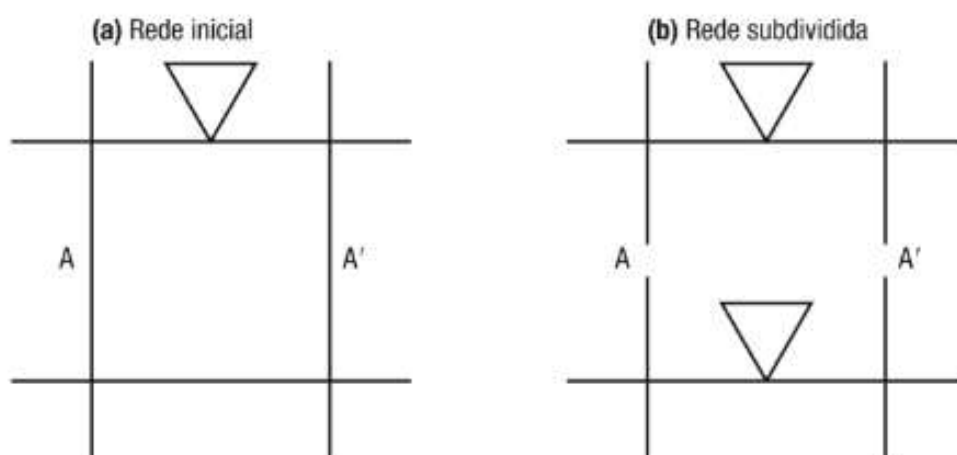


Figura 3 – Configuração (a) em malha e (b) radial.

### 2.3 QUEDA DE TENSÃO EM LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DE BT

Um dos fatores que as distribuidoras de energia devem estar atentas em um sistema elétrico de distribuição é com relação às tensões fora dos limites padronizados, que podem gerar inúmeros impactos negativos, como sobrecarga de equipamentos e até penalizações aplicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Podemos calcular a queda de tensão em uma linha de distribuição (LD) por meio da lei Kirchhoff:

$$V_{LD} = V_C + V_Q \quad (1)$$

Ou seja: a queda de tensão em uma linha de distribuição  $V_{LD}$  é igual à soma da tensão do consumidor  $V_C$  acrescida da queda de tensão no trecho  $V_Q$ .

A maior dificuldade está em encontrar o valor para a queda de tensão no trecho. Felber (2010, p.42) demonstra uma forma simplificada que ela pode ser encontrada:

$$V_Q = R \cdot I_R + X \cdot I_X \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), temos:

$$V_{LD} = V_C + (R \cdot I_R + X \cdot I_X) \quad (3)$$

Onde:

- $R$  Resistência da LD;
- $X$  Reatância da LD;
- $I_R$  Corrente referente a potência ativa;
- $I_X$  Corrente referente a potência reativa.

Desse modo, podemos constatar que a reatância possui relação direta com as quedas de tensão, que em altos níveis pode gerar distúrbios como aumento nos custos de energia para os consumidores, e no caso da resistência da LD, pode causar aquecimento excessivo, reduzindo a vida útil dos equipamentos. (Felber, 2010).



## 2.4 ORGÃOS E NORMAS REGULATÓRIAS

A distribuição de energia elétrica no Brasil é um serviço prestado por concessionárias e distribuidoras dedicado a fornecer energia elétrica para os consumidores e é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (maior ou igual a 69 kV e menor que 230 kV), média tensão (maior ou igual a 2,3 kV e menor que 69 kV) e baixa tensão (menor que 2,3 kV). (ANEEL, 2022).

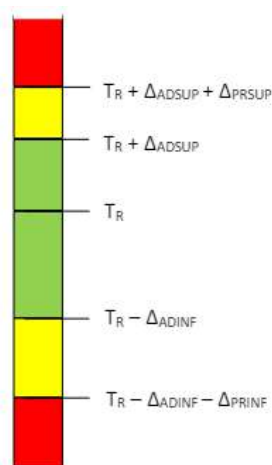
Dentre os principais órgãos cruciais para o sistema elétrico, está o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS que é o órgão responsável por coordenar e controlar as operações das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – SIN, de forma a garantir a segurança do suprimento contínuo no país.

Já o órgão responsável pela fiscalização, regulação, implementação de políticas e diretrizes do governo federal e estabelecimentos de tarifas é a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, que por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist, responsável por normatizar e padronizar as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição.

Dentre os 11 módulos que o Prodist possui, no módulo 8 é possível obter os padrões de qualidade do fornecimento de energia elétrica, que tem como objetivo estabelecer e definir os fenômenos relacionados à qualidade do serviço, do produto e à qualidade comercial.

A conformidade da tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras obtidas por uma medição apropriada. A tensão de atendimento que chega nas unidades consumidoras (UC's) deve estar dentro da faixa aceitável, a depender da sua tensão de referência  $T_R$ , conforme demonstrado na Figura 4 a seguir:

Figura 4 – Faixa de tensão em relação à de referência.



Fonte: ANEEL (2021).

em que:

- Tensão de Referência:  $T_R$ ;
- Faixa adequada de Tensão: intervalo entre  $(T_R - \Delta_{ADINF})$  e  $(T_R + \Delta_{ADSUP})$ ;
- Faixa Precária de Tensão: intervalo entre  $(T_R + \Delta_{ADSUP})$  e  $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$  ou intervalo entre  $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$  e  $(T_R - \Delta_{ADINF})$ ;
- Faixas Críticas de Tensão: valores acima de  $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$  ou abaixo de  $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$ .

Tomando como base o estudo que será apresentado de um caso junto à Energisa Rondônia, e considerando as tensões de referência para as tensões de linha de 220 V e de fase 127 V, temos as seguintes faixas de tensão:

Tabela 1 – Tensão de referência (220/127V).

Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231)/(117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)/$ $(110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)/(TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Fonte: ANEEL (2021).

De posse desses dados é possível obter uma avaliação da qualidade da tensão em regime permanente que é determinada a partir de indicadores, chamados de Duração Relativa da

Transgressão de Tensão Precária – DRP e Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica – DRC, os quais estão associados a um mês civil.

Para o cálculo dos indicadores deve-se obter o registro de 1008 leituras válidas em intervalos consecutivos de 10 min cada, como mostram as seguintes equações:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100\% \quad (4)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100\% \quad (5)$$

Em que *nlp* representa a maior quantidade de leituras (entre as fases) situada na faixa precária e *nlc* representa a maior quantidade de leituras (entre as fases) situada na faixa crítica. É admitido o limite de permanência nas faixas de 3% para o DRP e de 5% para o DRC.

O Anexo A demonstra o fluxograma do processo de medição por reclamação das unidades consumidores sem medição permanente. Uma vez constatada a violação dos indicadores DRP e DRC é feita a compensação ao titular da unidade consumida no mês de referência que foi constatada a violação, até que a seja feita a regularização da tensão.

### 3 TÉCNICAS PARA REGULAÇÃO DA TENSÃO

A regulação de tensão em redes de BT é crucial para o fornecimento de uma energia elétrica confiável, eficiente e segura para que os consumidores possam recebê-la dentro dos limites aceitáveis e sem flutuações de tensão que possam representar riscos à segurança ou, até mesmo, provocar incêndios em casos extremos.

Quando uma tensão é mantida dentro dos limites adequados, há uma redução nas perdas ao longo da rede. Nos casos em que a geração dos sistemas se dá de forma centralizada, os níveis de tensão costumam ser mais elevados junto ao gerador e vão decaindo conforme se aproxima das cargas. Para que seja possível manter essa tensão na faixa adequada, são utilizadas diversas técnicas que aprimoram a regulação.

Este capítulo irá abordar algumas dessas técnicas que são comumente utilizadas nas concessionárias e que constam na Norma de Distribuição Unificada - NDU 006 que rege os critérios básicos para elaboração de projetos de redes de distribuição aéreas urbanas, além de uma breve contextualização a respeito dos equipamentos necessários para a sua execução.

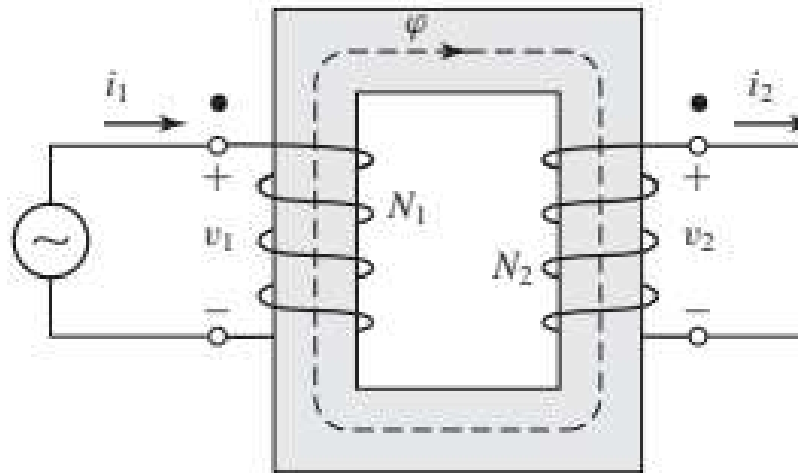
#### 3.1 COMUTAÇÃO DE DERIVAÇÕES – TAP DO TRANSFORMADOR

Basicamente um transformador é composto por dois ou mais enrolamentos, ou seja, bobinas feitas de cobre, verniz e um material de ferromagnético em seu núcleo. Se conectarmos um desses enrolamentos a uma fonte de tensão alternada, então será produzido um fluxo alternado, cuja amplitude irá depender dos valores diretos de tensão, frequência e número de espiras existentes no primário. Uma parte desse fluxo, chamada de fluxo mútuo, se concatena com o segundo enrolamento, induzindo nele uma tensão cujo valor irá depender do número de espiras, frequência e magnitude do fluxo no secundário. Realizando uma proporção entre os números de espiras existentes no primário e secundário é possível obter qualquer relação de tensão.

Ao analisarmos o esquema do transformador ideal da figura 5 é possível enxergar como essa relação pode ser obtida: considerando um transformador com o enrolamento primário e secundário respectivamente de  $N_1$  e  $N_2$  espiras, desprezando as resistências nos enrolamentos e as perdas no núcleo, quando a tensão  $v_1$  variável é aplicada nos terminais do primário, então o fluxo  $\phi$  deve ser estabelecido no núcleo de modo que a força contra eletromotriz (FCEM)  $e_1$  seja igual a tensão  $v_1$ . (Fitzgerald, p-70,2014). Desse modo,

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (6)$$

Figura 5 – Transformador ideal.



Fonte: FITZGERALD (2014).

O fluxo do núcleo também enlaça o secundário produzindo uma força eletromotriz (FEM) induzida  $e_2$  e uma outra tensão igual  $v_2$  nos terminais do secundário, dadas por

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (7)$$

Da razão entre as Equações (6) e (7), temos

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (8)$$

Assim, um transformador ideal transforma tensões na razão direta das espiras de seus enrolamentos.

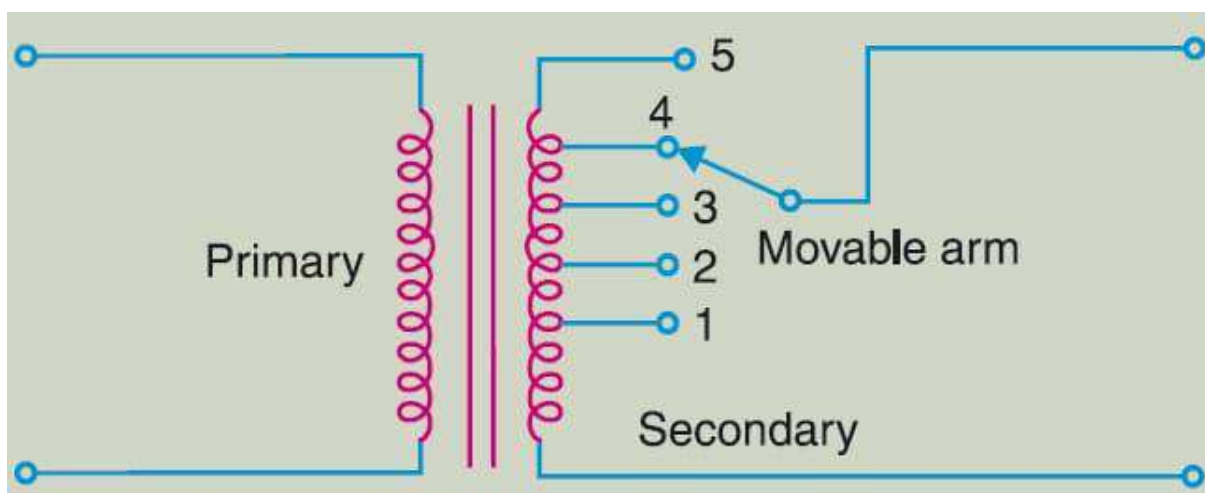
Da equação (8) ainda é possível obter uma relação de transformação no transformador, comumente denominada de “a”. Sendo assim, ao reescrevermos a Equação (8) temos

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (9)$$

Essa relação de transformação é utilizada para os cálculos no ajuste no tap do transformador para que mesmo diante de variações como uma queda de tensão, do próprio carregamento do trafo ou até em casos de uma melhoria nos condutores do circuito que acabe deixando os valores da tensão acima do esperado, a tensão no circuito se mantenha o mais próximo possível da adequada.

O TAP do transformador funciona como uma chave seletora que permite que sejam feitas conexões elétricas no enrolamento do transformador, aumentando ou diminuindo a relação de tensão e ajustando a tensão nominal que é entregue aos consumidores. Geralmente, são nos finais do circuito que a tensão é mais prejudicada, sendo necessário realizar uma modificação no TAP para que os níveis da tensão fiquem mais elevados. Na Figura 6 é possível observar como funciona a comutação de derivações.

Figura 6 - Esquema do TAP do transformador.



Fonte: Engineering articles.

É importante estar atento quanto ao TAP e o comutador. Quando a tensão no secundário for menor que tensão nominal para aquela região, o comutador deverá ser operado de modo que sejam adicionadas espiras ao rolamento, então, desse modo, a posição do comutador irá aumentar e o TAP irá diminuir para poder ajustar a tensão do secundário de acordo com a nominal.

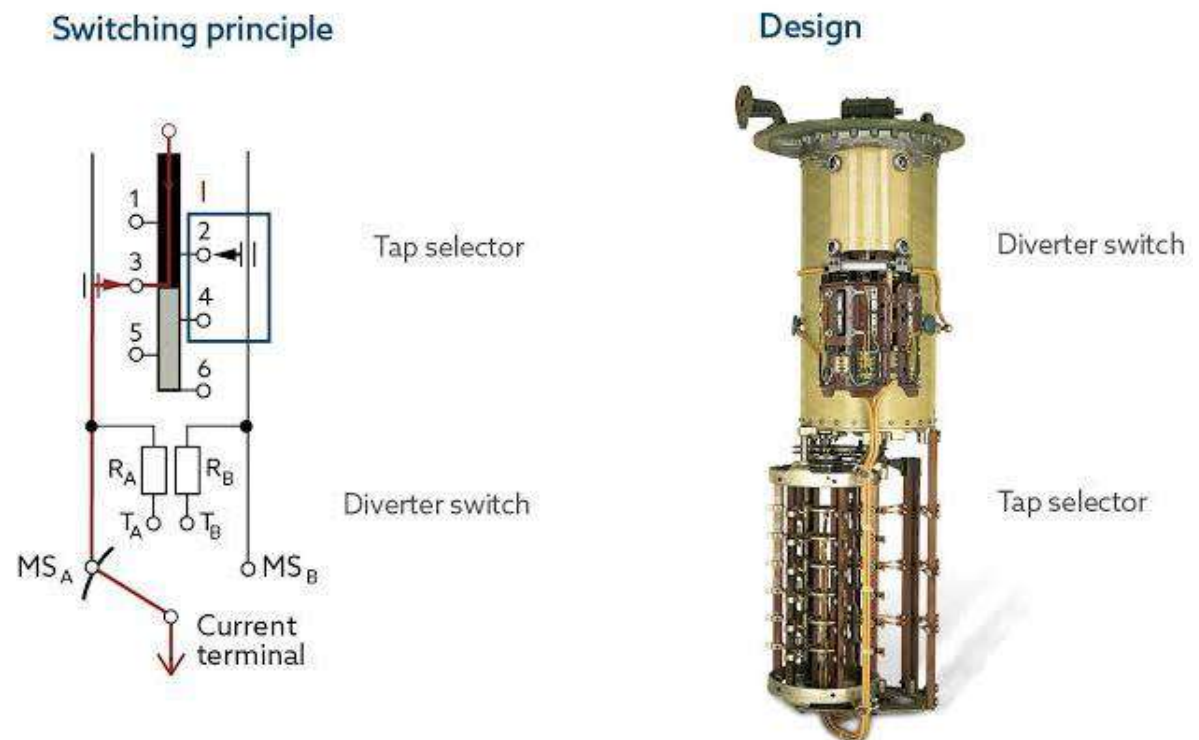
As Figuras 7 e 8 mostram os comutadores mais comuns que podem ser encontrados nos transformadores instalados nas redes de baixa tensão são os comutadores internos e externos.

Figura 7 – Comutador interno.



Fonte: Termoblog.

Figura 8 – Comutador externo.



Fonte: Reinhausen.

### 3.2 BALANCEAMENTO DAS FASES

Em áreas urbanas é comum a necessidade de realizar extensões em um circuito para atender novos consumidores. Com isso, os circuitos podem ficar desbalanceados devido a forma que as cargas estão conectadas, que pode ser monofásica, bifásica ou trifásica. Esse desbalanceamento pode acarretar vários problemas, como sobretensões, disparos nos sistemas de proteção sem necessidade, aumento das perdas, entre outros. (Felber, 2010).

Uma forma de evitar essas complicações é por meio do balanceamento das cargas, realizado pelas empresas de distribuição que operam de modo a distribuir as cargas de forma igualitária nas três fases para minimizar o desequilíbrio.

Como foi visto anteriormente, existe um nível de tensão aceitável para cada região, e esses valores devem estar dentro do padrão em todas as fases, ou seja, todas as cargas devem estar distribuídas entre as fases sem que ultrapassem a faixa de tensão estabelecida. Porém, é preciso lembrar que em um sistema de distribuição existem diversos tipos de classes de consumidores, que são: residenciais, comerciais, industriais, iluminação pública, serviços públicos, etc. O que dificulta que as redes elétricas possuam correntes igualitárias, o que acaba alterando as tensões dos consumidores.

Para buscar a melhor solução é necessário que seja feito um estudo mais aprofundado e com o auxílio de programas que possuam um banco de dados georreferenciados e com os dados atualizados corretamente, a exemplo do software Genesis, que ajudem a encontrar a melhor forma de equilibrar as cargas nas fases nas redes elétricas, tendo em vista que quanto mais balanceadas as cargas estiverem, menor será o desequilíbrio de tensão da rede e menores serão as perdas de potência, já que assim, as correntes serão corretamente distribuídas. (Roberto, 2021).

### 3.3 SUBSTITUIÇÃO E DESLOCAMENTO DE TRANSFORMADORES

Com o aumento de ramificações na rede, aumenta também a demanda exigida para suprir todos os clientes. Nos casos em que há uma grande demanda de energia é provável que comece a ocorrer problemas no transformador que alimenta o circuito, por isso, é importante estar atento se o transformador não está operando acima da sua capacidade nominal.

A sobrecarga de um transformador de distribuição ocorre quando há um fluxo de corrente nos enrolamentos do secundário acima do esperado, aumentando a temperatura interna,



podendo provocar uma avaria no equipamento, diminuindo a sua vida útil e podendo vir a causar quedas de tensão e instabilidade no sistema. (Azevedo, 2023).

Algumas formas de detectar a sobrecarga podem ser por meio de softwares de simulação que estão ligados a uma base de dados permitindo o monitoramento da quantidade de clientes ligados ao circuito existente e a sua demanda mensal. Outra forma de detecção se dá pela medição feita em campo no transformador para poder confirmar a sobrecarga.

Quando há a constatação de uma sobrecarga no transformador, algumas soluções mais viáveis são:

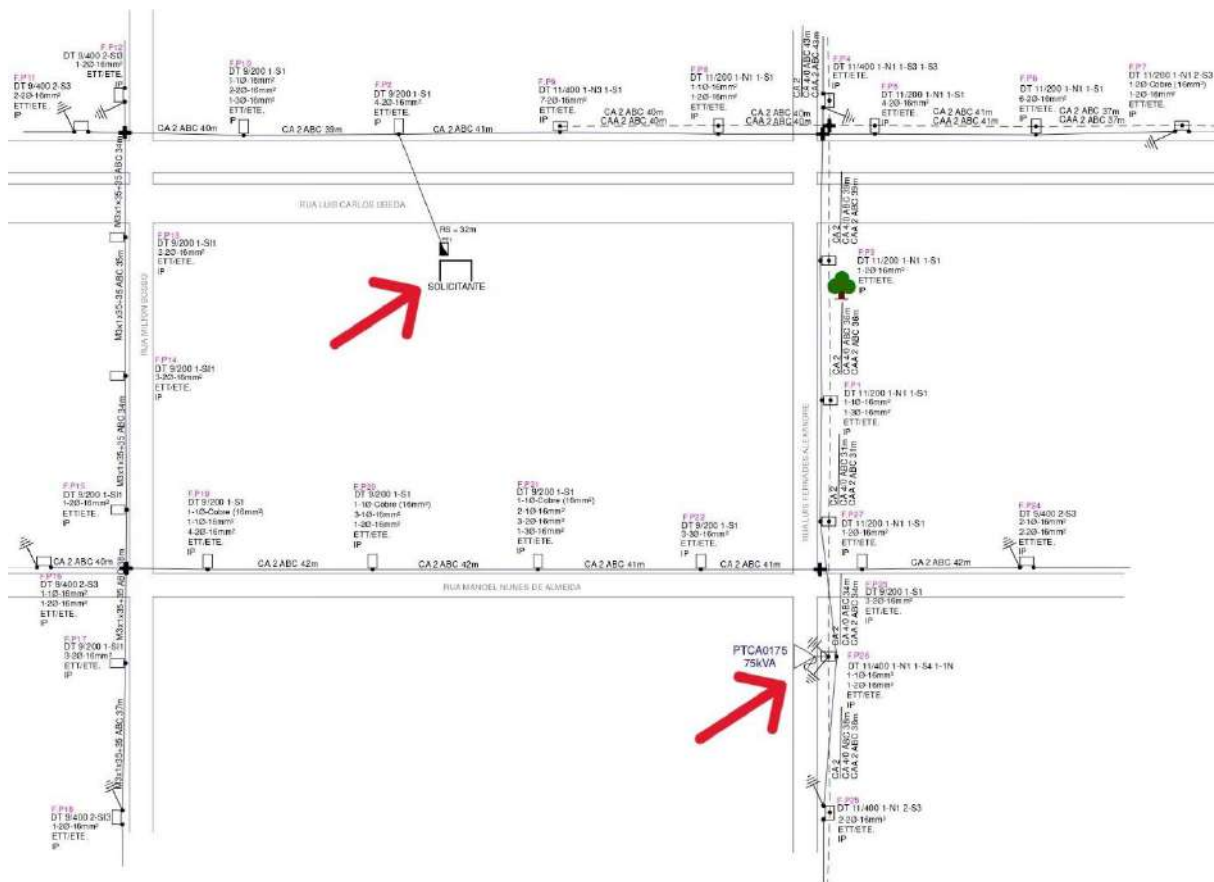
- Quando possível, realizar a troca do transformador sobrecarregado por um de potência maior que possa atender aos consumidores do circuito;
- Fazer uma redistribuição de carga para os transformadores adjacentes que não estão sobrecarregados;
- Realizar uma divisão no circuito para que uma parte seja atendida por um transformador instalado em um ponto específico que supra a demanda exigida, retirando o excedente da demanda do transformador existente.

Ainda há casos em que o transformador não está sobrecarregado mas apresenta defeitos. Nesses casos, após verificada a procedência da falha (que pode ser por meio de defeitos nos enrolamentos, no material dielétrico ou no núcleo, contaminação do óleo com impurezas ou partículas metálicas e contaminação por humidade, diminuindo a rigidez dielétrica), o transformador pode ser substituído por outro de mesma potência de modo a manter a sua eficiência para o circuito. (Azevedo, 2023).

Com a expansão de um circuito elétrico, também é comum que o transformador acabe ficando fora do centro de carga, ficando posicionado de uma forma que a tensão necessária não chegue nos níveis esperados nas casas dos consumidores, vindo a gerar uma queda de tensão mais acentuada nos finais do circuito.

Como uma forma de contornar esse problema, pode ser realizado um deslocamento no transformador. As Figuras 9 e 10 demonstram, respectivamente, um circuito que se encontra fora do centro de carga e após o deslocamento do trafo para o ponto central do circuito. (Mamede, 2002).

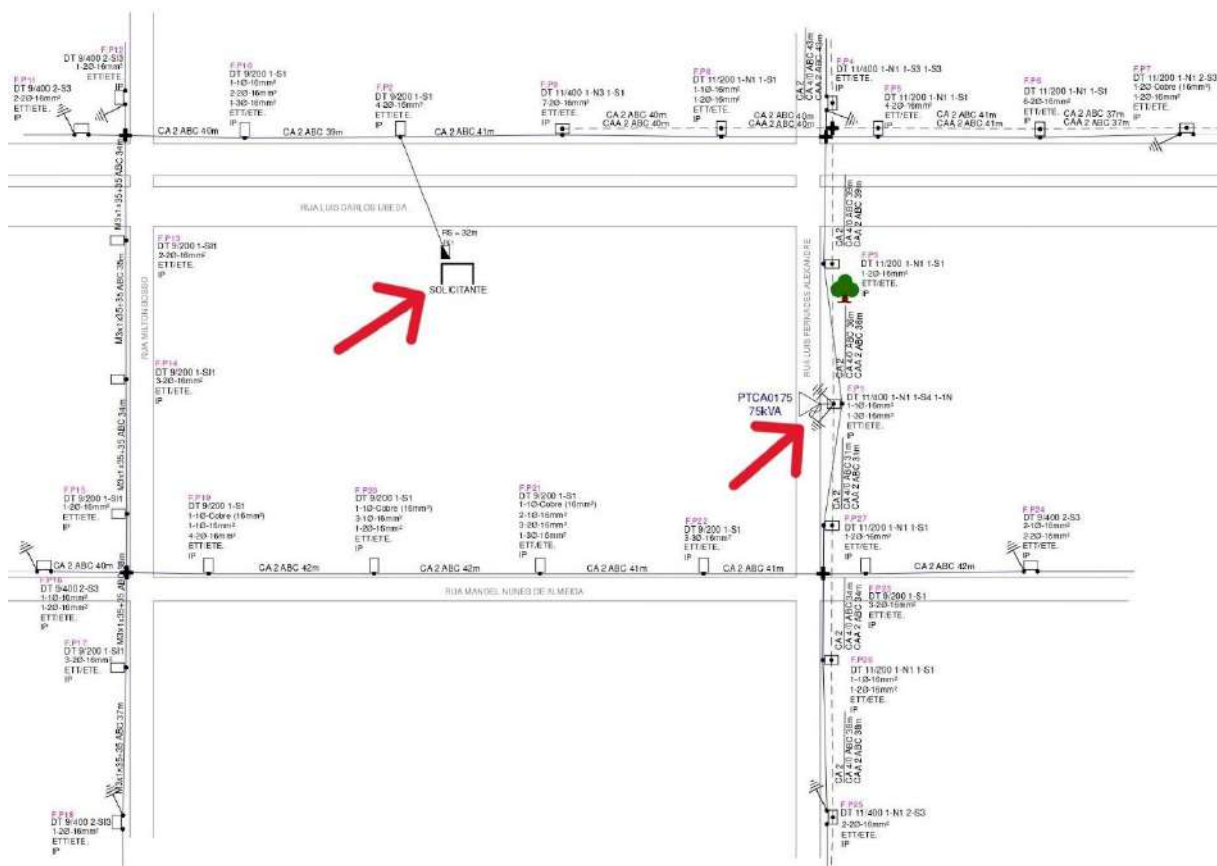
Figura 9 – Circuito com o trafo fora do centro de carga.



Fonte: Autora, 2024.

Podemos perceber na Figura 9 que o ponto que se encontra o transformador está muito distante do solicitante, além de estar já no final do circuito, e as cargas não estão bem distribuídas. Neste tipo de circuito pode haver quedas na tensão que chega no solicitante, como uma consequência do trafo não estar no centro de carga.

Figura 10 – Circuito com o trafo no centro de carga.



Fonte: Autora, 2024.

A Figura 10 mostra o mesmo circuito, mas com o trafo no centro de carga. Observe que desse modo, a distribuição das cargas ocorre de forma que a distância para o final do circuito é praticamente a mesma de ambos os lados e como o circuito está em anel, a tensão que flui de um lado do trafo é a mesma que vai para o outro.

### 3.4 REDIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES

A troca de condutores em uma rede elétrica é uma alternativa bastante utilizada quando há uma expansão no circuito, fazendo com que haja um crescimento elevado de carga, ou para reduzir a impedância do circuito em pontos críticos, já que quanto maior for o comprimento do condutor maior será o aumento de resistência elétrica devido a quantidade maior de material necessária para fazê-los, aumentando também a queda de tensão.

Segundo a NDU 006 a máxima queda de tensão admissível na rede secundária (circuito secundário acrescido do ramal de ligação) é de 4%. O processo de cálculo elétrico utilizado para fins de projeto de redes secundárias é o dos coeficientes de queda de tensão em %/kVA x 100 m sendo a carga sempre considerada equilibrada.

Para o cálculo de queda de tensão em uma rede trifásica de 220/127 V deve ser usado o formulário próprio, conforme ANEXO B adotando os coeficientes da Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Seção do condutor e seus respectivos coeficientes.

Seção Transversal do Condutor.	V = 220/127 V - Rede de Baixa tensão.			
	Sem Alma (CA)		Condutor de Cobre	
	COS Ø = 1	COS Ø = 0,8	COS Ø = 1	COS Ø = 0,8
<b>3 Fases</b>				
3 # 6(6) (*)	-	-	0,529	0,311
3 # 4(4) (*)	0,333	0,311	0,207	0,211
3 # 2(2) (*)	0,209	0,211	0,131	0,147
3 # 1/0(1/0) (*)	0,123	0,146	0,084	0,107
3 # 4/0(1/0) (*)	0,066	0,090	0,042	0,070
3x1x35+35	0,231	0,198	-	-
3x1x70+70	0,118	0,106	-	-
3x1x120+70	0,071	0,068	-	-
3x1x185+120	0,044	0,050	-	-

Fonte: NDU 006, 2024.

Para os cálculos são utilizados o comprimento ( $\ell$ ) em hectômetro, a distribuição da carga no trecho e a acumulada no fim do trecho em kVA. De posse desses valores é realizado o cálculo da carga total, pela seguinte Equação:

$$S_{total} = \left( S_{trecho} / 2 + S_{acumulada} \right) \ell \quad (10)$$

Onde:

- $S_{total}$  Carga total;
- $S_{trecho}$  Carga do trecho;
- $S_{acumulada}$  Carga acumulada;
- $\ell$  Comprimento em hm;

Com a seção do condutor em cada trecho que se está analisando é possível ter seu coeficiente (k) equivalente e assim definir a porcentagem de queda de tensão total ( $\Delta V_{\%}$ ), como mostra a equação abaixo:

$$\Delta V_{\%} = k S_{total} \quad (11)$$

### 3.5 DIVISÃO DE CIRCUITO

Depois de esgotadas todas as alternativas possíveis, tais como remanejamento de cargas, balanceamento das fases, troca dos transformadores, recondutoramento, etc., faz-se necessário realizar uma divisão no circuito para que uma parte seja atendida por um transformador instalado em um ponto específico que supra a demanda exigida, retirando o excedente da demanda do transformador existente.

Essa técnica consiste em analisar a quantidade de clientes no circuito, onde se encontra o solicitante que apresentou a reclamação junto à concessionária e buscar o melhor ponto para abertura do circuito existente e instalação do transformador da forma mais econômica possível.

Nas Figuras 11 e 12 é demonstrado um circuito antes e após a divisão de área.

Figura 11 – Circuito antes de uma divisão de área.



Fonte: Autora, 2024.



Tabela 3 –Seção mínima do tronco secundário.

Transformador trifásico (kVA)	Tronco de Circuito Secundário	
	Fase	Neutro
	(mm <sup>2</sup> )	
30	70	70
45		
75	120	70
112,5		
150	Exclusivo	
225		
300		

Fonte: NDU 006, 2024.

Vale ressaltar que antes da divisão do circuito é feito um cálculo de queda de tensão para constatar que estava acima do limite permitido e após realizada a divisão, um novo cálculo pode ser feito, como explicado no tópico 3.4 deste trabalho, para comprovação que a porcentagem agora se encontra nos níveis aceitáveis.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será abordada uma situação atual do sistema de distribuição de energia elétrica de baixa tensão da Energisa Rondônia, utilizada como objeto de estudo para esse trabalho. Será analisado um circuito que possui cargas tipicamente residenciais e, por meio de uma reclamação feita por um consumidor que apresentava queda de energia em sua residência, foi feita uma medição para verificação da conformidade do nível de tensão de fornecimento de energia elétrica na unidade consumidora em questão, que servirá como base para os estudos.

Serão abordados tópicos como: informações sobre os dados obtidos pela concessionária, o circuito em que o cliente se encontra e o procedimento que será utilizado para resolução. Diante do problema apresentado, será apontada a melhor técnica para a correção, considerando o melhor custo-benefício para o cliente e empresa.

### 4.1 CARTA DE MEDIÇÃO DE QUEDA DE TENSÃO

A verificação da conformidade do nível de tensão se dá por meio de um documento que contém os resultados do processo de medição, que é feito instalando um equipamento de medição no ponto de entrega de energia elétrica na unidade consumidora, atendendo às exigências da ANEEL de acordo com a Prodist e suas respectivas revisões. Na Figura 13 é apresentado o resultado do processo de medição que será o objeto de estudo.

Figura 13 – Resultado do processo de medição.

**Resultado do Processo de Medição**  
 Tensão Nominal /Contratada: 127 V      Tipo de Ligação: Bifásica      N° de Leituras: 1008  
 Intervalo de Medição: 10 em 10 minutos      Período de Medição: DE 28/02/2024 A 06/03/2024

Limites definidos pela ANEEL - Prodist - Módulo 8					
Tensão Mínima Permitida (Volts)	Tensão Máxima Permitida (Volts)	Número Permitido de Leituras Fora dos Limites de Tensão		Indicadores de Conformidade de Tensão	
		Faixa Precária	Faixa Crítica	% DRP *	% DRC **
117	133	30	5	3	0,5

\* DRP - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária

\*\* DRC - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica

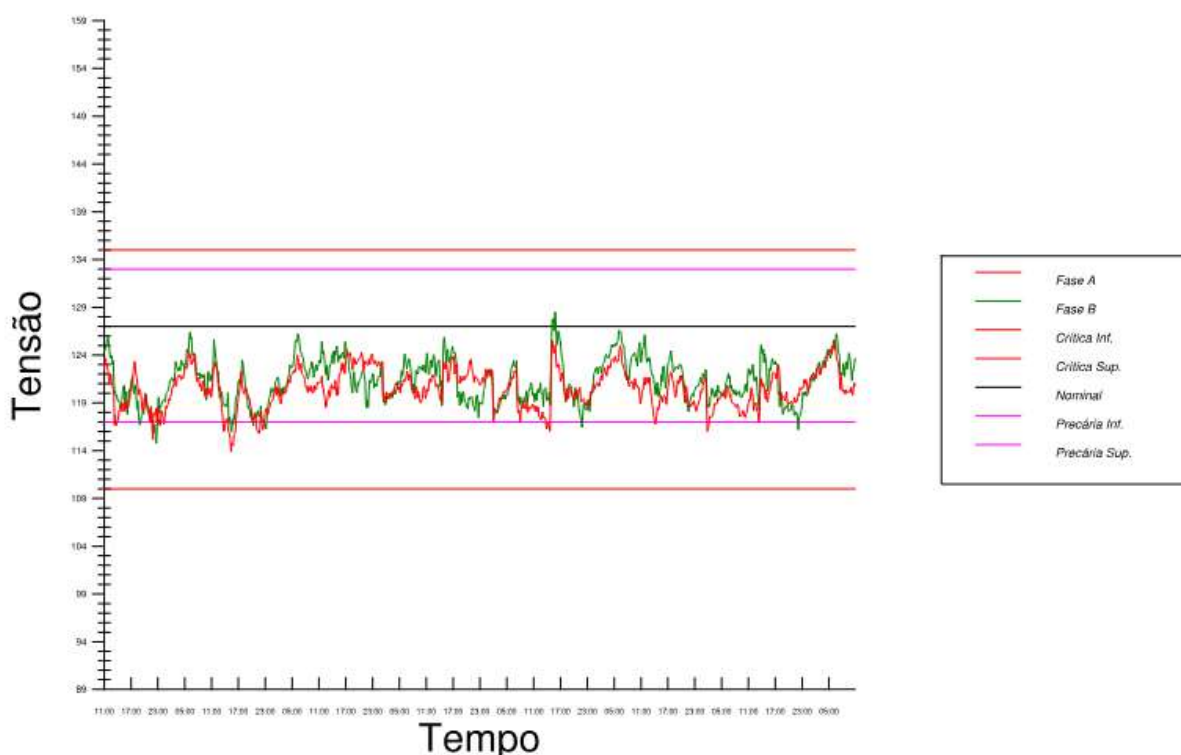
Valores Apurados						
Fase	Tensão Mínima Registrada (Volts)	Tensão Máxima Registrada (Volts)	Número Obtido de Leituras Fora dos Limites de Tensão			
			Faixa Precária	Faixa Crítica	% DRP	% DRC
A	113,90	125,53	45	0	4,46 %	0
B	114,76	128,52	17	0	1,68 %	0
C	—	—	—	—	—	—



Com base nos resultados acima, podemos constatar que os valores não estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, pois a tensão mínima permitida para essa região é de 117 V e os valores de tensão obtidos foram de 113,90 V e 114,76 V, confirmando que a UC está com subtensão. Para a máxima tensão permitida de 133 V não houve violação, tendo em vista que as máximas tensões obtidas ficaram abaixo desse limite.

Também podemos analisar a curva de Tensão  $\times$  Tempo para cada fase, como apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Curva de Tensão.



Fonte: Energisa, 2024.

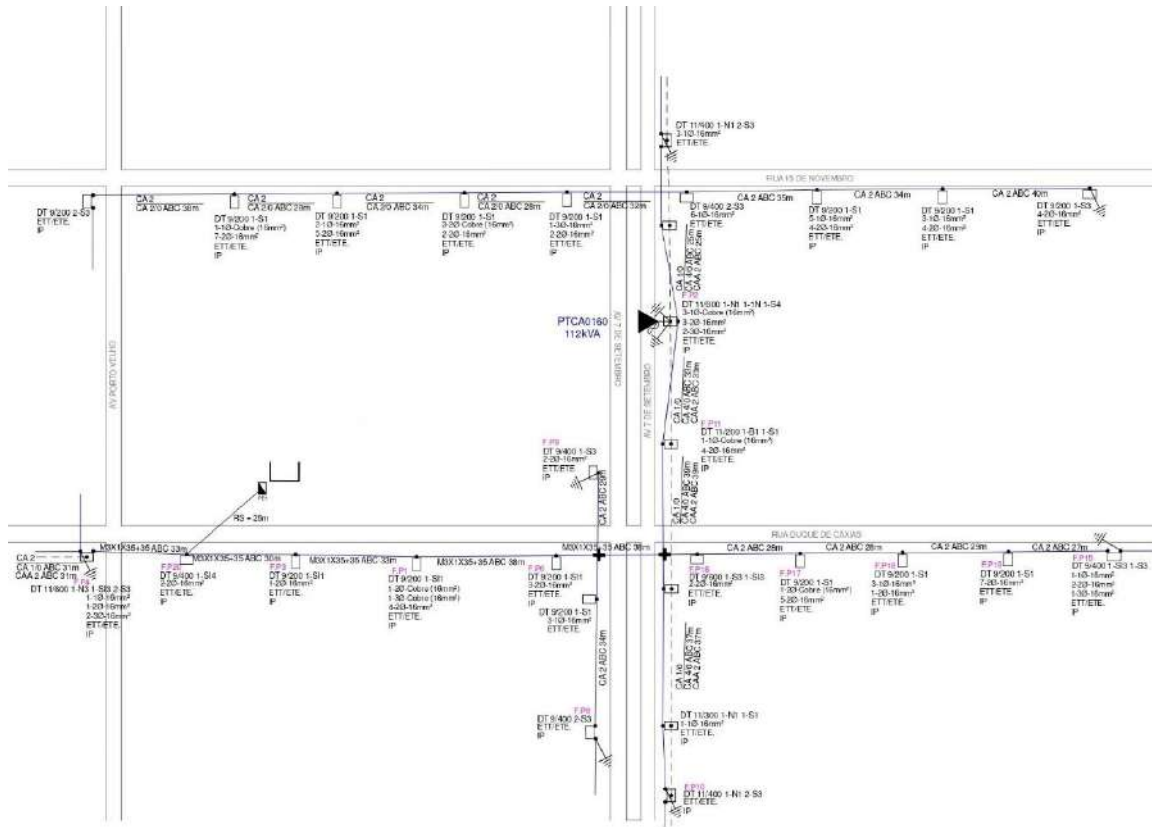
Note que em um determinado período do dia as tensões de leitura se encontram na faixa considerada precária. Neste caso, é faixa precária inferior, que é entre a tensão mínima de 117 V e os 110 V.

Como houve uma violação nos níveis, será realizado um pagamento de compensação, que será mantido até a efetiva regularização do nível de tensão no ponto de entrega da UC, conforme consta no anexo A.

### 4.2 CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO

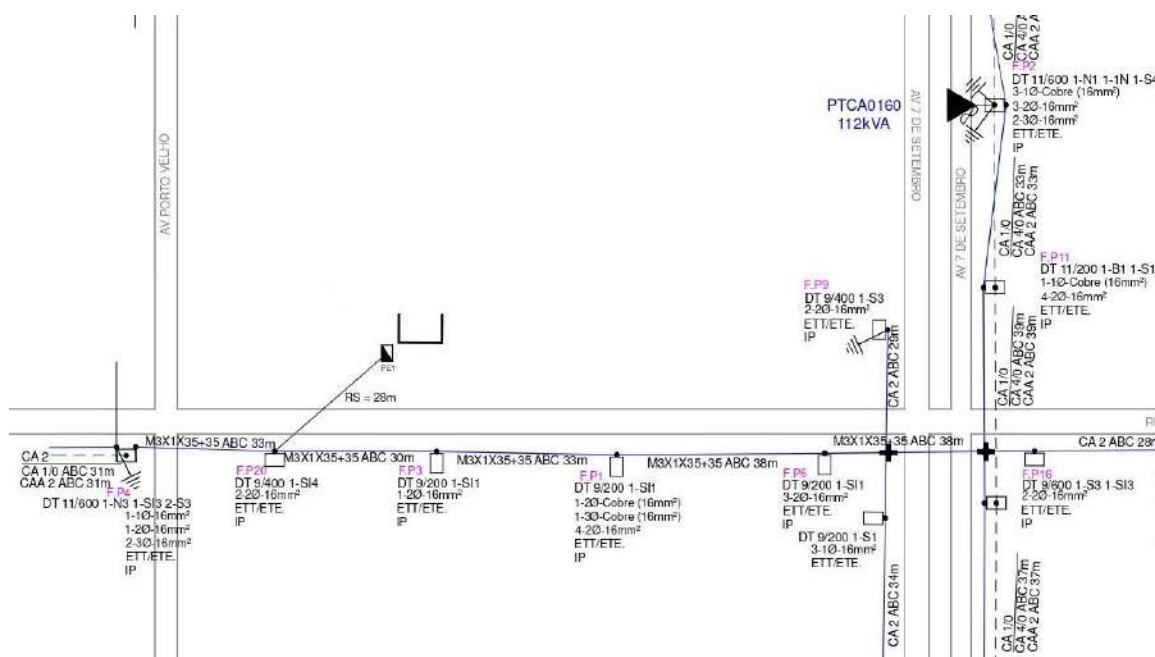
O circuito que será analisado é demonstrado nas Figuras 15 e 16. Trata-se de um circuito trifásico, majoritariamente residencial, com cabos no tronco do transformador de seção CA 4/0 e neutro CA 1/0, no restante do circuito até o solicitante de multiplex 35 mm<sup>2</sup> e o ramal bifásico do solicitante possui uma seção de 16 mm<sup>2</sup>.

Figura 15 – Circuito analisado.



Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

Figura 16 – Recorte do circuito analisado.



Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

O transformador de 112 kVA que alimenta o circuito está com 83,86% do seu carregamento, como ilustrado na Tabela 4, assim como o seu carregamento atual. Para efeitos de cálculo, os valores referentes a quantidade de clientes e a demanda diversificada correspondente de 0,77 kVA para cada consumidor do circuito são fornecidos pela Energisa mediante uma tabela protegida, cujos valores são preenchidos automaticamente, considerando que as cargas já estão balanceadas.

Tabela 4 – Carregamento do transformador.

Dados do Transformador Existente		N.º Transformador	PTCA0160
Potência (kVA)	112,5	Carregamento (%)	83,86%
Quantidade de clientes	123	Carregamento (KVA)	94,34

Categoria Residencial	Demanda (KVA)	Quantidade de Clientes	Potencia Total ( KVA )
B2	0,77	123	94,34

Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

Pelas informações coletadas temos que a seção do condutor que compõe o barramento é compatível com a potência do transformador de 112 kVA, estando em sintonia com os padrões estipulados pela Energisa, como foi visto mediante a Tabela 3. O transformador não está sobrecarregado e a distância do mesmo até a unidade consumidora ao qual está ligado é de aproximadamente 180 metros. Também podemos observar que o ramal do solicitante está adequado para o vão de 35 mm<sup>2</sup> que chega em seu ponto de entrega.

### 4.3 FORMAS DE ATENDIMENTO

Como foi visto no decorrer desse trabalho, algumas soluções podem ser estudadas para buscar a melhor alternativa para minimizar a queda de tensão até a UC.

No caso exposto pudemos ver que através da reclamação feita pelo cliente, realizou-se uma visita técnica no local. Nesta visita foram realizadas medições para constatar a suspeita de que o circuito estava ultrapassando os limites pré-definidos. A seguir serão analisados os casos retratados e quais deles podem ser úteis para o caso apresentado.

Para que o balanceamento seja uma opção viável, as tensões distribuídas por fase devem possuir uma diferença significativa, de modo que com a redistribuição dessas cargas, os valores voltem a ficar dentro dos padrões. Quando esse desbalanceamento ocorre, uma forma de identificar é por meio de uma discrepância significativa que ocorre entre as fases em uma unidade consumidora. Na Figura 17 podemos ver que tanto as tensões máximas quanto as mínimas já estão próximas entre si, tornando a opção de balanceamento das fases inadequada para resolução da queda de tensão.

Figura 17 – Tensões apuradas.

<b>Fase</b>	<b>Tensão Mínima Registrada (Volts)</b>	<b>Tensão Máxima Registrada (Volts)</b>
<b>A</b>	113,90	125,53
<b>B</b>	114,76	128,52
<b>C</b>	—	—

Fonte: Energisa, 2024.

Outra alternativa que pode ser pensada é a regulação do TAP do transformador. Observando novamente a Figura 17 podemos ver que um aumento na tensão pode fazer com que a tensão chegue ao valor mínimo permitido de 117 V. Vale ressaltar que caso essa regulação seja muito brusca, o valor da tensão máxima registrada pode ultrapassar o limite de 133 V permitido, resultando em uma sobretensão tanto para o solicitante quanto para os clientes que são alimentados pelo mesmo circuito. Neste caso é necessário que seja visto em campo em qual posição se encontra o TAP para verificar a possibilidade de alteração.

Deslocar o trafo para mais próximo do solicitante não é uma opção viável, tendo em vista que o transformador já se encontra no centro de carga, como pode ser visto na Figura 14, e a sua retirada para um ponto fora do centro de carga implicaria em queda de tensão para os clientes próximos aos finais do circuito.

A análise por meio do recondutoramento dos condutores deve ser realizada mediante o cálculo de queda de tensão, levando em consideração condutores com uma resistividade menor do que a do condutor já existente no circuito, como forma de melhorar o circuito e assim diminuir a queda de tensão. Caso o circuito com os condutores atuais apresente uma porcentagem de queda acima do valor regulamentado, que é de 4%, o recondutoramento torna-se uma opção viável para resolver o problema, desde que a melhoria seja suficiente para aumentar os valores mínimos de tensão na unidade consumidora e assim, deixá-la dentro dos níveis aceitáveis.

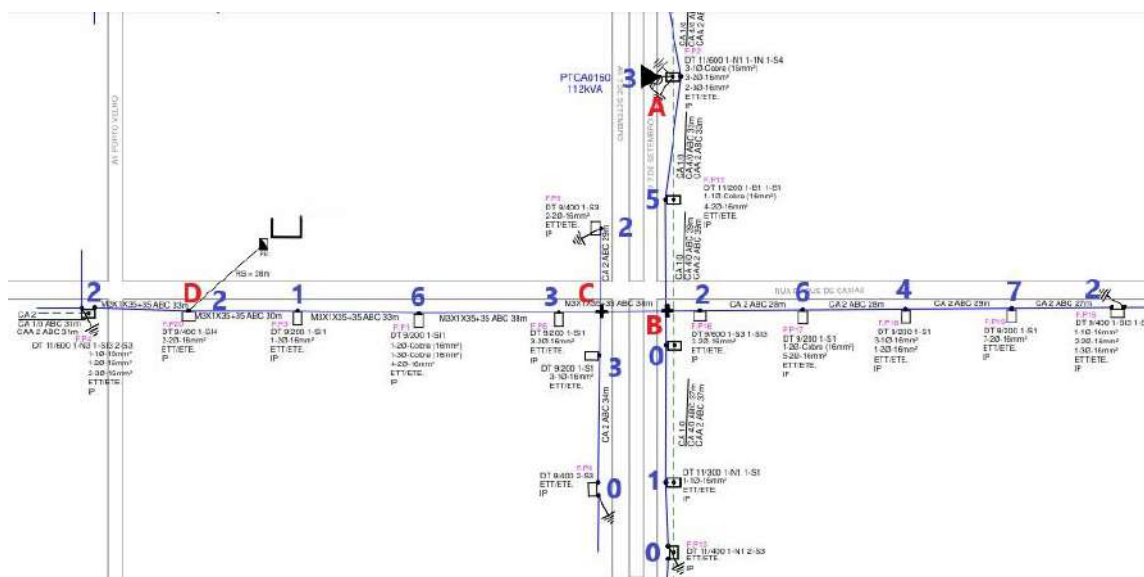
A realização da divisão do circuito com a instalação de um novo transformador para atender uma parcela dos clientes é uma alternativa que deve ser executada apenas em último caso, tendo em vista que o transformador que se encontra alimentando a área não está sobrecarregado, geraria custos com a abertura de circuito, seria necessário realizar a extensão da rede de média tensão para o novo trafo instalado e a troca dos postes com a altura suficiente para que os cabos de média tensão cheguem a esse transformador, além de todo o custo de operação e execução dessa escolha. Antes de chegar a essa opção deve ser visto se a troca dos vãos resolveria a queda, pois cabos que apresentam muitas emendas também acabam prejudicando a qualidade da tensão que chega aos clientes.

#### 4.4 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Diante do que foi apresentado no tópico anterior, as melhores formas de atendimento que podem ser postas em prática são a regulagem do TAP e, a depender do cálculo de queda tensão, o recondutoramento dos condutores até o ponto do solicitante. Caso os valores não fiquem perto do esperado, partimos para a última opção que é a divisão do circuito com a instalação de um novo transformador.

Para o cálculo de queda de tensão, iremos precisar coletar algumas informações presentes no circuito existente, como a quantidade de clientes ligados em cada poste por meio dos ramais de serviço e a distância dos vãos até o solicitante da reclamação. Por meio da figura 18 podemos ver esses valores com maior clareza.

Figura 18 – Circuito para a queda de tensão.



Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

Observe que em cada poste existe uma numeração. Essa numeração é referente a quantidade de ramais presentes naquele ponto para tornar o processo mais fácil. Os cálculos para a queda serão realizados entre os pontos A-D, sendo o ponto D o ponto em que o cliente realizou a reclamação com subtensão. Entre os pontos C-D temos a quantidade de ramais distribuídos no trecho, assim como entre os pontos A-B. Os pontos B e C são os *fly-taps* que fazem a conexão do circuito.

Utilizaremos a planilha que consta no Anexo B para a inserção dos dados coletados, que pode ser vista já com os valores preenchidos na Tabela 5:

Tabela 5 – Preenchimento da planilha de queda de tensão.

TRECHO		CARGA		
DESIGNAÇÃO	COMPRIMENTO	DISTRIBUIDA NO TRECHO	ACUMULADA NO FIM DO TRECHO	TOTAL
A	B	C	D	$E=((C/2)+D)*B$
SECUNDÁRIA	100 m	kVA	kVA	kVA x 100m
A-B	0,63	8,2	38,48	26,83
B-C	0,2	0	21,54	4,31
C-D	1,13	7,7	10,09	15,75

Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

Para essas primeiras colunas da planilha de queda de tensão foram preenchidos o comprimento e a quantidade de ramais distribuído e acumulado no trecho multiplicado pela demanda de cada consumidor, conforme demonstrado na Tabela 4 que foi de 0,77 kVA por cliente. De posse dessas informações calculamos a carga total pelo cálculo demonstrado na Equação (10), cujos resultados dos cálculos estão na coluna E.

Com esses valores podemos calcular a queda de tensão no trecho e a total. Para isso são utilizados os valores da Tabela 2 que contém o coeficiente de queda de tensão específico para cada condutor. Como no trecho A-B o condutor é o CA 4/0 e entre os trechos B-C e C-D é o multiplex de 35 mm<sup>2</sup>, os valores utilizados serão 0,066 e 0,231. Na Tabela 6 temos a planilha totalmente preenchida.

Tabela 6 – Planilha de queda de tensão.

TRECHO		CARGA			CONDUTOR	QUEDA DE TENSÃO		
DESIGNAÇÃO	COMPRIMENTO	DISTRIBUIDA NO TRECHO	ACUMULADA NO FIM DO TRECHO	TOTAL		UNITÁRIA	NO TRECHO	TOTAL
A	B	C	D	$E=((C/2)+D)*B$	F	G	$E \times G = H$	I
SECUNDÁRIA	100 m	kVA	kVA	kVA x 100m	XLPE-90°C	%	%	%
A-B	0,63	8,2	38,48	26,83	3 # 4/0(1/0)	0,066	1,77	1,77
B-C	0,2	0	21,54	4,31	3#35(35)QP	0,231	1,00	2,77
C-D	1,13	7,7	10,09	15,75	3#35(35)QP	0,231	3,64	6,40

Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

A queda de tensão em cada trecho é encontrada por meio da multiplicação das colunas E e G e a queda de tensão total é o valor da queda no trecho acrescida do valor anterior.

A queda de tensão total ficou acima do limite permitido, sendo necessário realizar o recondutoramento do circuito como forma de melhorar o circuito. Inicialmente, devemos pensar

em realizar a troca do barramento do transformador para um que possua uma bibola maior, mas como o condutor existente já é de 4/0, não se torna viável a troca. Diante disso, o próximo passo é pensar na troca do condutor subsequente de 35mm<sup>2</sup> para o de 70mm<sup>2</sup>, porém, ainda ficamos com um valor acima dos 4%, então, iremos realizar os mesmos cálculos, mas realizando a troca dos condutores de 35 mm<sup>2</sup> pelo de 120 mm<sup>2</sup> para ver quanto de melhoria podemos obter com essa troca. Na Tabela 7 constam os valores obtidos:

Tabela 7 – Planilha de queda de tensão reconduzindo o trecho B-D.

TRECHO		CARGA			CONDUTOR	QUEDA DE TENSÃO		
DESIGNAÇÃO	COMPRIMENTO	DISTRIBUIDA NO TRECHO	ACUMULADA NO FIM DO TRECHO	TOTAL		UNITÁRIA	NO TRECHO	TOTAL
A	B	C	D	$E = ((C/2) + D) * B$	F	G	$E * G = H$	I
SECUNDÁRIA	100 m	kVA	kVA	kVA x 100m	XLPE-90°C	%	%	%
A-B	0,63	8,2	38,48	26,83	3 # 4/0(1/0)	0,066	1,77	1,77
B-C	0,2	0	21,54	4,31	3#120(70)QP	0,071	0,31	2,08
C-D	1,13	7,7	10,09	15,75	3#120(70)QP	0,071	1,12	3,19

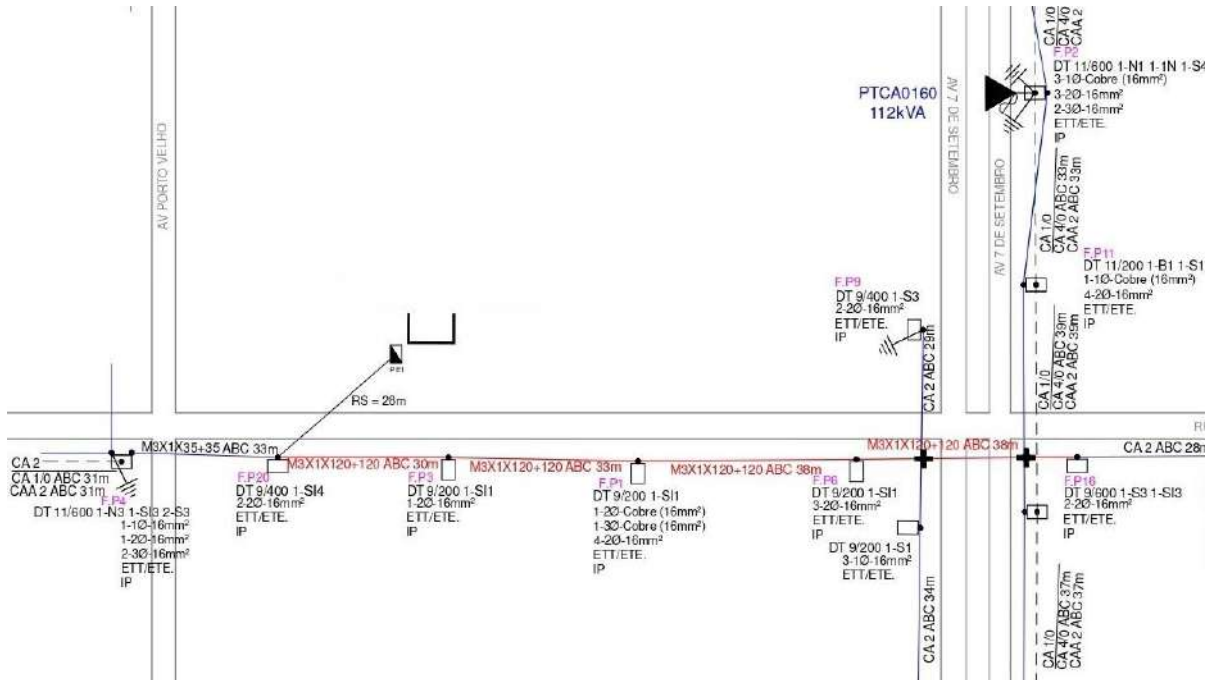
Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

A queda de tensão caiu para 3,19%, representando uma melhoria de 3,21% com relação à queda anterior. Essa melhoria, embora pouca, já aumenta a tensão mínima registrada do cliente para 115,23 V. Como esse valor de tensão ainda está abaixo dos 117 V, pode ser feita a regulagem no TAP para o aumento na tensão, que dependendo do transformador e em qual TAP ele já se encontra, pode chegar a uma melhoria de 5 a 10%.

Nas Figuras 19 e 20 podemos ver como ficou o circuito após a troca dos condutores de 35 mm<sup>2</sup> pelos de 120 mm<sup>2</sup>:

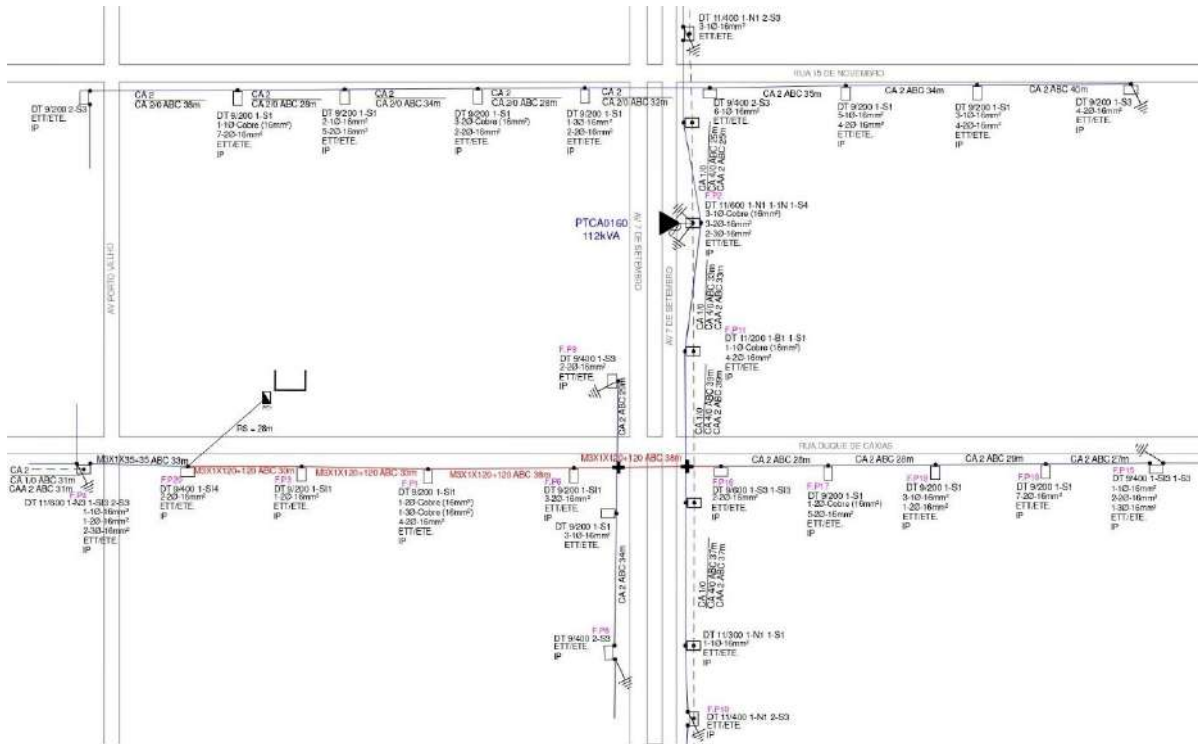


Figura 19 – Recorte do circuito após o recondutoramento.



Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

Figura 20 – Circuito após o recondutoramento.



Fonte: Energisa, adaptado pela autora, 2024.

Tantos os cálculos quanto o recondutoramento são realizados com o intuito de atender exclusivamente o cliente que realizou a reclamação para evitar custos financeiros desnecessários para a empresa. Caso o cliente posterior ao ponto de estudo também esteja apresentando inconformidades em sua UC, o mesmo deve realizar a reclamação junto à Energisa para que com a carta de medição seja vista uma forma de também atendê-lo.

Após a execução da obra é realizada outra medição no ponto de entrega do cliente para verificar se o cliente continua violado. Caso os níveis ainda não estejam em conformidade será necessário realizar um outro estudo para verificação das possíveis causas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foram atingidos os objetivos iniciais estabelecidos, referentes a análise e demonstração das alternativas para correção dos níveis de tensão nas redes de distribuição de baixa tensão e a busca pela solução que tivesse o menor custo financeiro para a concessionária. Também foram atingidos os objetivos secundários relacionados ao conhecimento das técnicas de regulação de queda de tensão e normas vigentes.

Foram vistas cinco alternativas para correção dos níveis de tensão, como consta na norma da Energisa, em acordo com as normas vigentes. Dentre elas, foi visto que com a troca dos condutores, ficou notório o benefício quanto à queda de tensão e, em conjunto com a regulação do TAP do transformador, é possível aumentar a tensão de modo que volte a ficar dentro dos níveis aceitáveis.

Do ponto de vista financeiro, esta alternativa se torna mais adequada, sendo mais barata que a proposta da divisão do circuito, pois não necessita da troca dos postes existentes, abertura de circuito, instalação de um novo transformador, o custo com mão de obra é menor, etc.

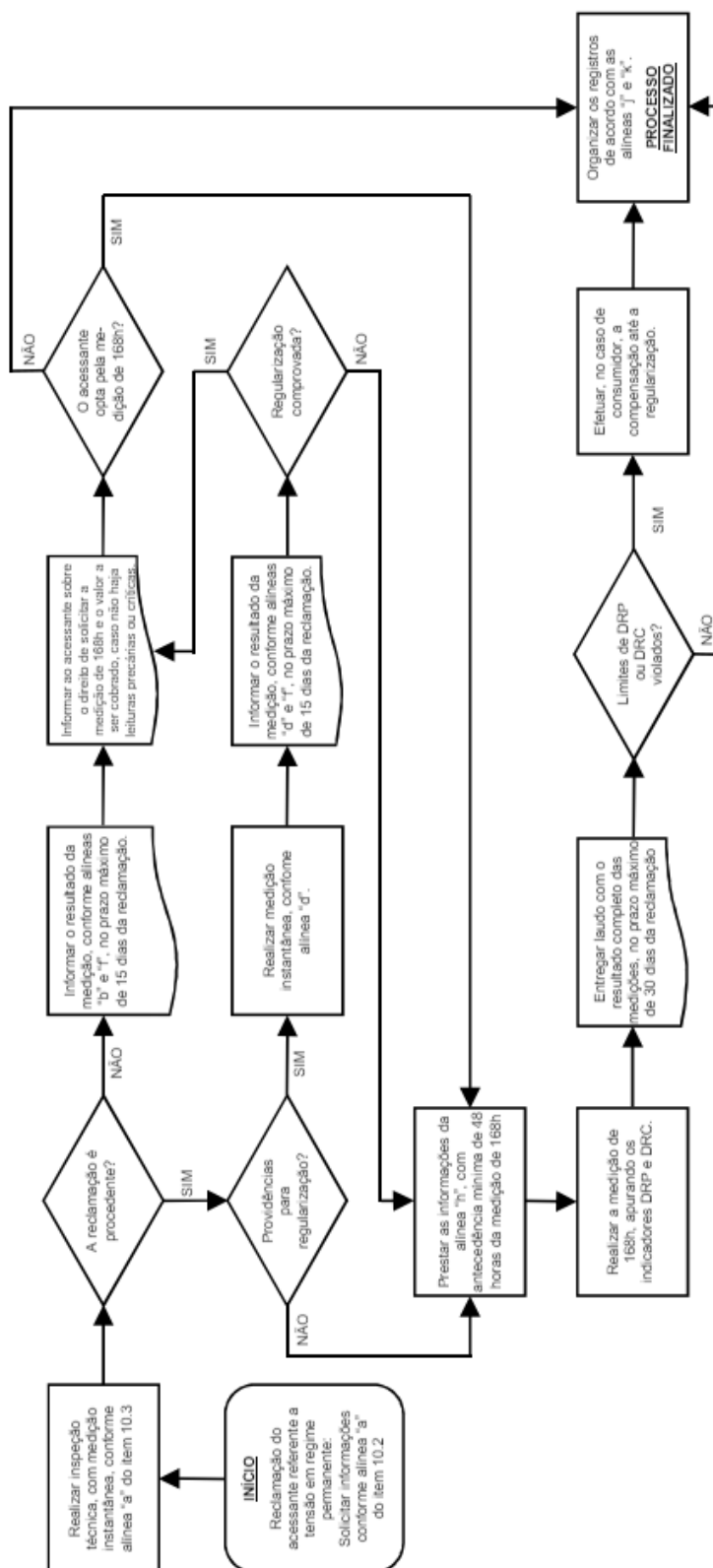
Deve-se mencionar que apesar das vantagens apresentadas por esta prática, não significa que a mesma será sempre a mais vantajosa. As demais alternativas propostas não tiveram um resultado satisfatório, mas podem servir de base para estudo de aplicação em outros sistemas. A definição do melhor método a ser usado possui diversos fatores que devem ser levados em conta, tais como: a configuração atual do circuito, a relação custo-benefício, os equipamentos existentes em campo, etc.

Para obtenção de resultados mais específicos ainda se faz necessário um estudo voltado para as perdas no sistema que não foram abordados, a medição dos valores de tensão e corrente no transformador, pois a planilha utilizada pode não estar atualizada com a quantidade de clientes que de fato estão ligados ao circuito, em que estado se encontra o TAP do transformador para se ter a certeza que a sua alteração será benéfica para o circuito e, após a execução do método encontrado, o resultado da nova medição feita no ponto do cliente para comprovação que, por meio da escolha adotada, o problema de fato foi sanado.


## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- [1] Consumo de energia em 2023 chega ao maior nível médio dos últimos anos, com ondas de calor e aumento da atividade econômica. 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/02/01/consumo-de-energia-aumentou-37percent-em-2023-com-ondas-de-calor-e-aumento-da-atividade-economica.ghtml>>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- [2] ZANETA Jr., L. C. Fundamentos de Sistemas elétricos de Potência. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- [3] KAGAN, N. et al. Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. São Paulo: Blucher, 2000.
- [4] CARVALHO, B. L.T. Avaliação de Nível de Tensão em Redes Rurais de Distribuição Utilizando OPENDSS. Monografia de graduação em Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília – Faculdade do Gama, 2019.
- [5] ANEEL, 2022. Módulo 08 - Qualidade da Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- [6] MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.
- [7] FELBER, L. A. Regulação de Tensão em Subestações de Distribuição de Energia Elétrica. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá - MG, 2010.
- [8] FITZGERALD E KINGSLEY. Máquinas Elétricas. 7ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- [9] TAP Em Transformadores de Força. 2023. Disponível em: <<https://termoblog.com.br/tap-em-transformadores-de-forca/>>. Acesso em: 18 mai. 2024.
- [10] ENERGISA. Norma de Distribuição Unificada (NDU) 006 – Critérios básicos para elaboração de projetos de redes de distribuição em áreas urbanas. 2023. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx>>. Acesso em: 22 mai. 2024.
- [11] AZEVEDO, F, M T. Defeitos em Transformadores de Potência. Neutro à Terra. N. 31, p. 5-12. jan./jun. 2023. Disponível em: <[https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/23240/1/NeutroATerra\\_N31\\_1S2023-5-12.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/23240/1/NeutroATerra_N31_1S2023-5-12.pdf)>. Acesso em 25 mai. 2024.
- [12] ROBERTO. P, H; SOUZA, R, M. Melhoría Do Nível De Tensão Entregue As Unidades Consumidoras A Partir Da Otimização Da Rede De Distribuição De Baixa Tensão Existente Na Celesc Distribuição S.A. Universidade Do Sul De Santa Catarina, 2021

## ANEXO A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO POR RECLAMAÇÃO DE UNIDADE CONSUMIDORA



## ANEXO B – FORMULÁRIO PARA O CÁLCULO DE QUEDA DE TENSÃO

TÍTULO DO PROJETO:								
NÚMERO: _____ PRIM.: _____ SEC.: _____ F.F.: _____								
(Transformador ou Alimentador)								
Demanda		Trifásica: _____		C Atípicas: _____		Projetistas: _____		
		Bifásica: _____		C Atípicas: _____		Previsão KVA 5 anos: _____		
		Monofásica: _____		Ilum. Pública: _____				
TRECHO		CARGA			CONDUTOR	QUEDA DE TENSÃO		
Designação	Comprimento	Distribuída no trecho	Acumulada no fim do trecho	Total		Unitária	No trecho	Total
A	B	C	D	$E = (C/2 + D) \cdot B$	F	G	$E \cdot G = H$	I
Primária	Km	MVA		MVA x Km				
Secundária	100 m	kVA		kVA x 100 m	Nº AWG	%	%	%
DEMANDA NOTURNA: _____					KVA	DEMANDA NOTURNA: _____		
						KVA		

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Entrega do Trabalho de Conclusão de Curso

<b>Assunto:</b>	Entrega do Trabalho de Conclusão de Curso
<b>Assinado por:</b>	Edmila Gomes
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Edmila de Macêdo Gomes, ALUNO (20181610035) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 25/09/2024 10:12:07.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/09/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1258985

Código de Autenticação: 831be068d3

