



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE E ALTERNATIVAS PARA CORREÇÃO DOS NÍVEIS DE
TENSÃO EM ALIMENTADOR PRIMÁRIO DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA – ESTUDO DE CASO**

Lucas Auta de Oliveira

Lajeado, julho de 2020

Lucas Auta de Oliveira

**ANÁLISE E ALTERNATIVAS PARA CORREÇÃO DOS NÍVEIS DE
TENSÃO EM ALIMENTADOR PRIMÁRIO DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA – ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Yuri Solis Stypulkowski

Lajeado, julho de 2020

Lucas Auta de Oliveira

**ANÁLISE E ALTERNATIVAS PARA CORREÇÃO DOS NÍVEIS DE
TENSÃO EM ALIMENTADOR PRIMÁRIO DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA – ESTUDO DE CASO**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Elétrica, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica:

Prof. Me. Yuri Solis Stypulkowski - Orientador
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Juliano Schirmbeck
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Luciano Hennemann
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, julho de 2020

Dedico a minha família que me apoiou constantemente na conclusão da graduação, a Deus pela proteção das inúmeras e cansativas viagens de Fontoura Xavier a Lajeado, aos meus colegas de trabalho que contribuíram para o meu crescimento profissional e aos meus amigos por sempre estarem ao meu lado.

Agradeço imensamente a empresa CERFOX por acreditar no meu potencial e colaborar para conclusão da graduação, aos professores da Univates, em especial meu orientador Yuri Solis Stypulkowski por não medir esforços para me auxiliar nas disciplinas e neste trabalho e a todos os meus colegas colaboradores da CERFOX.

RESUMO

Este trabalho foi elaborado a partir necessidade que a Cooperativa de Distribuição de Energia Elétrica - CERFOX tem de regular periodicamente seus níveis de tensão, de acordo padrões regulatórios exigidos pela ANEEL, que aplica limites de variação da tensão em regime permanente. Caso estes níveis estiverem fora dos limites, a distribuidora estará sujeita a penalizações como multas. Realizando um estudo em cima dos níveis de tensão de um dos alimentadores da Cerfox, que faz tomada de energia junto a distribuidora RGE, foi verificado o comportamento da tensão deste sistema e após realizar o levantamento das informações, do gerenciamento técnico da empresa e dos *softwares* utilizados no cadastro das informações, fizeram-se as devidas exportações das informações técnicas para a plataforma de simulação. As simulações e modelagens do fluxo de potência foram realizadas no *software* SINAPgrid, uma plataforma que possibilita a análise de redes elétricas, permitindo tanto o planejamento quanto a operação de todos os sistemas que distribuem energia elétrica. Este trabalho propôs duas alternativas técnicas para a devida adequação dos níveis de tensão nos cenários analisados. Os resultados mostraram que a segunda alternativa, comportou-se de forma adequada com a demanda utilizada atualmente e com a análise de crescimento de consumo trazendo um resultado satisfatório. Dessa forma a alternativa dois deverá ser analisada economicamente, e sendo viável executá-la no alimentador. Este projeto será um piloto, podendo ser aperfeiçoado e aplicado aos demais alimentadores da Cerfox, garantindo uma energia com mais qualidade, sendo entregue ao consumidor.

Palavras-chave: Níveis de tensão. Distribuição de energia elétrica. Melhoria. Fluxo de Potência. SINAPgrid.

ABSTRACT

This work was prepared based on the need that the Electric Energy Distribution Cooperative - CERFOX has to periodically regulate its voltage levels, according to regulatory standards required by ANEEL, which imposes limits of minimum and maximum variation for the voltage in permanent regime. If these levels are outside the limits, the distributor will be subject to penalties such as fines. Conducting a study on the voltage levels of one of the feeders of Cerfox, which makes power outlets with the RGE distributor, the behavior of the voltage of this system was verified and after collecting the data, the technical management of the company and the *software* used in the registration of information, due exports of technical information were made to the simulation platform. Power flow simulations and modeling were performed using the SINAPgrid *software*, a platform that enables the analysis of electrical networks, allowing both the planning and the operation of all systems that distribute electricity. This work proposed two technical alternatives for the proper adaptation of the tension levels in the analyzed scenarios. The results showed that the second alternative, behaved adequately with the demand currently used and with the analysis of consumption growth bringing a satisfactory result. Thus, alternative two should be analyzed economically, and it is feasible to execute it on the feeder. This project will be a pilot, being able to be perfected and applied to other Cerfox feeders, guaranteeing a more quality energy, being delivered to the consumer.

Keywords: Voltage levels. Distribution of electricity. Improvement. Power flow. SinapGRID.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do Sistema Elétrico de Potência.....	21
Figura 2 - Esquema de geração hidrelétrica	23
Figura 3 - Parque eólico situado no Rio Grande do Sul	25
Figura 4 - Painéis fotovoltaicos	26
Figura 5 - UTE Euzébio Rocha Localizada no município de Cubatão (SP)	27
Figura 6 - Capacidade instalada do SIN 2018/2023	27
Figura 7 - Linhas de transmissão.....	29
Figura 8 - Área das concessionárias no Rio Grande do Sul	31
Figura 9 - Área das permissionárias e autorizadas no Rio Grande do Sul	32
Figura 10 - Configuração radial simples	36
Figura 11 - Configuração radial com recurso.....	36
Figura 12 - Configuração em anel	37
Figura 13 - Ilustração de um transformador	39
Figura 14 - Esquemático transformador de corrente	40
Figura 15 - Modelos de transformador de potencial	41
Figura 16 - Transformadores de distribuição	42
Figura 17 - Esquemático de um transformador com TAP variável.....	44
Figura 18 - Transformadores com diferentes tipos de comutadores	45
Figura 19 - Ilustração das potências ativa e reativa.....	48
Figura 20 - Triângulo retângulo das potências	48
Figura 21 - Triangulo das potências 1	49
Figura 22 - Triangulo das potências 2	50

Figura 23 - Esquema básico de um autotransformador	53
Figura 24 – Esquema na função de redução da tensão	53
Figura 25 – Esquema na função de elevação da tensão.....	54
Figura 26 - Esquema do regulador de tensão	54
Figura 27 - Diagrama de um auto booster na configuração de elevação da tensão.....	55
Figura 28 - Diagrama de um auto booster na configuração de redução da tensão	56
Figura 29 - Instalação auto booster em poste	57
Figura 30 - Esquema do equipamento de 32 graus.....	58
Figura 31 - Esquema de ligação do equipamento monofásico	58
Figura 32- Esquema de ligação de 2 equipamentos monofásicos	59
Figura 33 - Esquema de ligação de 3 equipamentos monofásicos com 3 condutores.....	60
Figura 34 - Ligação de 3 equipamentos monofásicos com 4 condutores.....	60
Figura 35 - Equipamento religador instalado em poste.....	63
Figura 36 - Diagrama de blocos do desenvolvimento	71
Figura 37 - Localização do ponto de conexão entre alimentadores da CERFOX e RGE	72
Figura 38 - Unifilar do alimentador Arvorezinha com as áreas de atuação	72
Figura 39 - Programa MIG com imagem na tela da tomada de energia em estudo	74
Figura 40 - Configuração do diagnóstico do fluxo de potência	75
Figura 41 - Simulação para o patamar madrugada - situação atual.....	78
Figura 42 – Gráfico da tensão x distância para o patamar madrugada – situação atual.....	78
Figura 43 - Simulação para o patamar manhã - situação atual	79
Figura 44 - Gráfico da tensão x distância para o patamar manhã – rede atual	80
Figura 45 - Simulação para o patamar tarde - situação atual.....	81
Figura 46 - Gráfico de tensão x distância para o patamar tarde – situação atual	82
Figura 47 - Simulação para o patamar noite - situação atual.....	83
Figura 48 - Gráfico da tensão x distância para o patamar noite – situação atual	83
Figura 49 -Trecho em destaque para recondutoramento	85
Figura 50 - Simulação para o patamar madrugada – 1º simulação.....	86
Figura 51 - Gráfico da tensão x distância para o patamar madrugada – 1º simulação	87
Figura 52 - Simulação para o patamar manhã – 1º simulação.....	88
Figura 53 - Gráfico da tensão x distância para o patamar manhã – 1º simulação	88
Figura 54 - Simulação para o patamar manhã – 1º simulação.....	89
Figura 55 – Gráfico de tensão x distância para o patamar manhã – 1º simulação	90
Figura 56 - Simulação para o patamar noite – 1º simulação	91

Figura 57 - Gráfico de tensão x distância para o patamar noite – 1º simulação.....	91
Figura 58 – Simulação para instalação de novos equipamentos	93
Figura 59 - Simulação para o patamar madrugada – 2º simulação.....	94
Figura 60 - Gráfico da tensão x distância para o patamar madrugada – 2º simulação	94
Figura 61 – Simulação para o patamar madrugada – 2º simulação.....	95
Figura 62 - Gráfico da tensão x distância para o patamar manhã – 2º simulação	96
Figura 63 - Simulação para o patamar tarde – 2º simulação	97
Figura 64 - Gráfico da tensão x distância para o patamar tarde – 2º simulação.....	97
Figura 65 - Simulação para o patamar tarde – 2º simulação	98
Figura 66 - Gráfico da tensão x distância para o patamar tarde – 2º simulação.....	99
Figura 67 - Alimentadores Arvorezinha e Nova Alvorada.....	100
Figura 68 - Ferramenta de alocação de capacitores.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de geradores hidrelétricas.....	24
Tabela 2 – Projeção do sistema de transmissão para 2017/2023.....	29
Tabela 3 - Limites de variação de tensão de atendimento.....	66
Tabela 4 - Dados do alimentador Arvorezinha.....	73
Tabela 5 - Patamares horários para fluxo de potência.....	75
Tabela 6 - Características técnicas condutores CAA.....	85
Tabela 7 - Orçamento da primeira alternativa.....	103
Tabela 8 – Orçamento da segunda alternativa.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Alimentador de distribuição
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CAA	Condutor com Alma de Aço
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CERFOX	Cooperativa de Distribuição de Energia Elétrica de Fontoura Xavier
CNPE	O Conselho Nacional de Política Energética
FP	Fator de Potência
MME	Ministério de Minas e energia
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira Regulatória
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo geral.....	15
1.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificativa do trabalho	16
1.4 Delimitação do trabalho.....	17
1.5 Estrutura do trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Sistema elétrico de potência (SEP).....	20
2.2 Órgãos do setor elétrico brasileiro	21
2.3 Sistema interligado nacional (SIN)	22
2.4 Geração de energia elétrica	22
2.5 Transmissão de energia elétrica	28
2.6 Distribuição de energia elétrica.....	29
2.6.1 Redes de distribuição de energia elétrica em média tensão.....	32
2.6.2 Redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão.....	37
2.7 Equipamentos de Distribuição	38
2.7.1 Transformadores	38
2.7.1.1 Comutador de derivações	43
2.7.2 Capacitores.....	45
2.7.2.1 Correção de fator de potência	47
2.7.2.2 Correção do nível de tensão	50
2.7.3 Reguladores de Tensão.....	52
2.7.4 Religadores	61
2.8 Sistema por unidade (PU)	63
2.9 Qualidade do fornecimento de tensão.....	65
2.10 SINAPgrid	67
3 METODOLOGIA	70
3.1 Coleta das informações do alimentador em estudo	71
3.2 Exportação dos dados.....	73
3.3 Validação das informações	74
3.4 Configuração do SinapGRID	75
3.5 Identificação de problemas e correções.....	76
4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	77
4.1 Análise da situação atual.....	77

4.1.1 Patamar madrugada – situação atual.....	77
4.1.2 Patamar manhã – situação atual.....	79
4.1.3 Patamar tarde – situação atual	80
4.1.4 Patamar noite – situação atual	82
4.2 Alternativas para correção dos níveis de tensão.....	84
4.2.1 Recondutoramento	84
4.2.1.1 Patamar madrugada – 1º simulação	86
4.2.1.2 Patamar manhã – 1º simulação	87
4.2.1.3 Patamar tarde – 1º simulação.....	89
4.2.1.4 Patamar noite – 1º simulação	90
4.1.2 Instalação de equipamentos reguladores.....	92
4.1.2.1 Patamar madrugada – 2º simulação	94
4.1.2.2 Patamar manhã – 2º simulação	95
4.1.2.3 Patamar tarde – 2º simulação.....	96
4.1.2.4 Patamar noite – 2º simulação	98
4.1.3 Remanejamento de carga	99
4.1.4 Instalação de equipamentos capacitores.....	100
5 CONCLUSÕES.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

1 INTRODUÇÃO

Para que a energia elétrica chegue nas residências dos consumidores com qualidade e segurança, é necessário que as distribuidoras sigam as normas de adequação disponibilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A proposta do presente estudo é realizar uma análise nos níveis de tensão atuais de um sistema alimentador de energia elétrica de média tensão (MT) e através da coleta e exportação dos dados do sistema, realizar a modelagem para aplicação de equipamentos que possam reduzir as quedas de tensão em média tensão.

Com auxílio da plataforma SINAPgrid foi carregado as informações e características do circuito alimentador analisado, sendo possível assim, realizar os devidos cálculos de fluxo de potência para as diversas análises feitas.

Com os resultados obtidos, propor a instalação e ou realocação de equipamentos ou componentes, buscando a redução da queda de tensão e conseqüentemente redução dos impactos dos indicadores de qualidade.

Como produto teremos um estudo do alimentador para aplicação prática e expansível para os demais alimentadores. Também poderá ser objeto de expansão de estudo para demonstração de resultados de viabilidade técnica e financeira, para amostragem do retorno de investimento, relacionado a redução de perdas técnicas e ressarcimentos a consumidores entre outros benefícios a distribuidora.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho objetiva realizar a análise da situação dos níveis de tensão em 1 (um) dos 11 (onze) alimentadores primários de energia da Cooperativa de Distribuição de Energia Fontoura Xavier (CERFOX), visando o levantamento dos dados atualizados do circuito e a verificação dos níveis de tensão atuais deste sistema.

Com isso, realizar a simulação desde circuito buscando alternativas para adequar os seus níveis de tensão para um patamar satisfatório, que atenda os padrões regulatórios atuais.

1.2 Objetivos específicos

Realizar um estudo de caso, levantando os dados necessários de um alimentador no *software* Useall Mig utilizado pela Cerfox, que contém as informações técnicas de todos os ativos de redes de distribuição, aplicando os devidos ajustes e tratamentos destas informações.

Com as informações coletadas da base de dados da Cerfox, realizar a simulação do alimentador na plataforma SINAPgrid, identificando possíveis problemas e defeitos nos níveis de tensão no patamar de média tensão deste circuito.

Ainda neste *software*, estudar e simular possíveis melhorias a serem aplicadas, para normalização da tensão elétrica na MT, em todo o alimentador.

Por fim, realizar a análise das alternativas escolhidas e escolher a melhor alternativa técnica financeira possível, que se enquadre nas diretrizes da cooperativa.

1.3 Justificativa do trabalho

O alimentador Arvorezinha tem origem na cidade de Arvorezinha – RS, atendendo as áreas rurais dos municípios de Arvorezinha, Soledade, Itapuca e Nova alvorada e a área urbana do município de Itapuca, o tornando um circuito extenso com cargas espalhadas.

Motivado pela ocorrência de reclamações dos consumidores devido aos níveis de tensão e pela elevada taxa de queda de tensão registrada na MT, devido a tensão entregue na medição, pela distribuidora onde estamos conectados, oscilando em torno de 0,9 pu.

Também impulsionado pela crescente demanda acaba exigindo cada vez mais dos componentes da rede, fazendo com que alguns deles, trabalhem com a sua capacidade excedida,

se depreciando rapidamente, podendo vir a apresentar defeitos, causando interrupção do fornecimento de energia.

Dentre os 11 sistemas operados pela Cerfox, este alimentador apresentou características que mais causaram influência na escolha do mesmo para este trabalho, realizando o tratamento do fenômeno da subtensão em regime permanente, através da modelagem e simulação de alternativas para solucionar a mesma.

Algumas alternativas serão analisadas para correção dos níveis de tensão, entre elas estão:

- Recondutoramento;
- Instalação de capacitores;
- Transferência de cargas; e
- Instalação/realocação de equipamentos reguladores de tensão.

A Cerfox sempre preza por bons serviços e sabendo dos impactos que podem ser causados pelos indicadores impostos pela ANEEL, busca sempre melhora - lós, elevando a qualidade do produto entregue aos consumidores, e com isso, acaba se livrando de possíveis multas, conseguindo satisfazer as necessidades do sistema, impulsionado a cerca de uma sociedade com crescente demanda.

1.4 Delimitação do trabalho

Este trabalho se aplica ao alimentador situado na cidade de Arvorezinha – RS, nomeado como AL ARV, sendo uma tomada de energia MT, através de medição indireta, junto a supridora RGE Sul Distribuidora de Energia S.A., operante na classe de tensão contratada de 23.1 kV, no formato aérea convencional.

Este alimentador tem operação radial simples ou na forma radial com recurso, uma vez que na segunda forma de operação, em caráter emergencial, serve como fonte secundária para o alimentador NALV, que alimenta todo o território do município de Nova Alvorada – RS.

Da mesma forma e em caráter emergencial a conexão entre estes dois alimentadores possibilita que quando há falta de energia no AL ARV, uma parte do seu sistema seja atendido

pelo AL NALV. Para este estudo fica considerado o alimentador Arvorezinha como radial simples, sem a possibilidade da fonte secundária.

Com base nestas características, este trabalho poderá ser aplicado aos demais sistemas da Cerfox.

Limita – se o estudo para aplicação aos demais sistemas que operam na área de atendimento da empresa Cerfox.

1.5 Estrutura do trabalho

Em comum acordo com a orientação do trabalho e o departamento de engenharia da Cerfox, ficou definido que a estruturação do trabalho respeitará os parâmetros da Univates, porém se adaptará a realidade da empresa onde se está sendo feito o estudo.

Na primeira parte deste trabalho (TCC 1), o objetivo foi levantar todo o referencial bibliográfico que envolve o tema do assunto, abordando características, objetivos, tipos e descrições, dos diversos temas envolvidos.

Fazendo uma abordagem resumida e descrevendo de forma prática para um bom entendimento, abordando todo o funcionamento da distribuição de energia.

Na segunda parte do trabalho (TCC2) foi escolhido um dos alimentadores da empresa Cerfox que estivesse em condições para realizar estudos de melhoria de seus níveis de tensão. Nesta segunda parte foram coletados e exportados todos os dados do alimentador necessários para elaboração do estudado, o caracterizando e revelando as suas necessidades.

Após a escolha do *software* para simulação deste circuito, os dados do alimentador que foram exportados do sistema gerencial da empresa, foram carregados na plataforma, sendo feita as devidas validações e ajustes.

Identificado os problemas nos níveis de tensão deste alimentador, foi proposto algumas melhorias que foram escolhidas perante as orientações técnicas da Cerfox, que se baseiam nos benefícios técnico e financeiro da empresa.

Por fim, foi realizada as devidas análises dentre as alternativas propostas e escolhida a que melhor correspondeu com os aspectos técnicos e financeiros, como também o menor impacto em indicadores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema elétrico de potência (SEP)

No Brasil como no mundo, tudo que é feito depende da energia elétrica, resultando em uma demanda que cresce constantemente, impactando no aumento da necessidade de pesquisas em tecnologias para otimização do seu fornecimento, garantindo confiabilidade e segurança no sistema e qualidade no produto entregue para os consumidores.

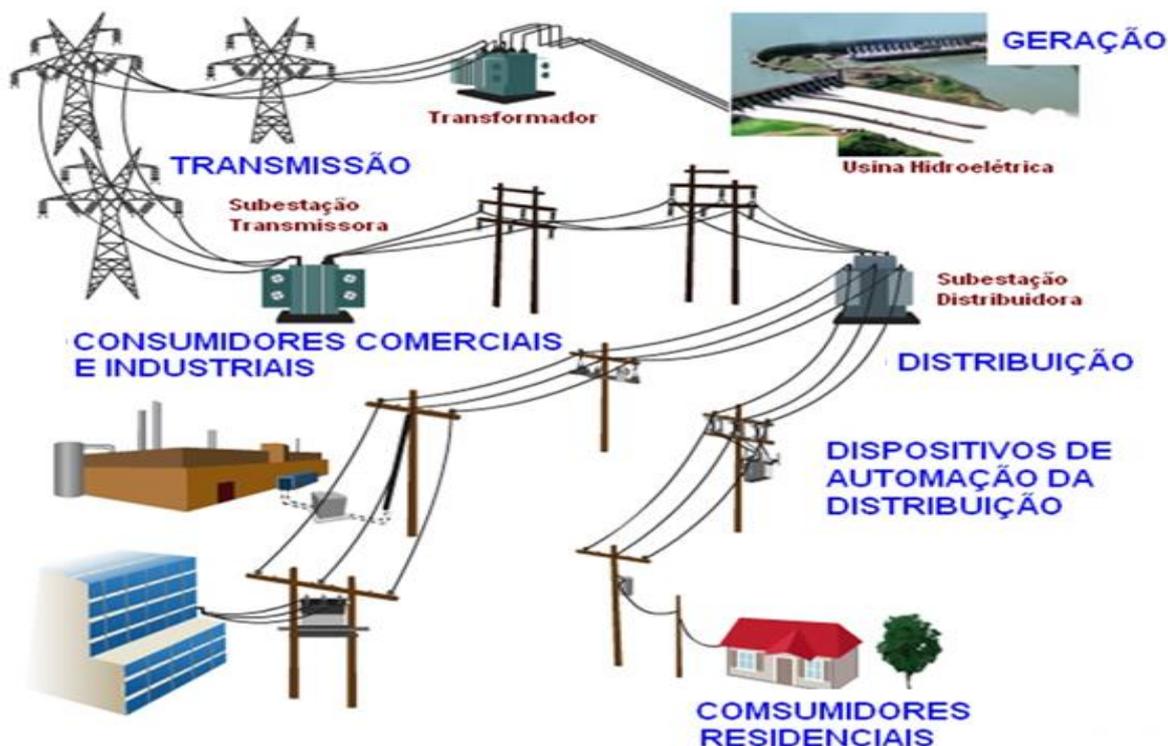
Quando se referimos ao Sistema Elétrico de Potência (SEP), podemos dizer que é o grupo que contém as instalações e equipamentos que constituem a geração, transmissão, subtransmissão e da distribuição de energia elétrica.

Em modo geral, o SEP tem como objetivo, garantir a geração de energia, seja na quantidade suficiente para atender a demanda do mercado nacional, sendo que para isso, exista a necessidade da construção de usinas geradoras em locais adequados.

Logo após, tem toda a transmissão de toda a energia gerada, para atender os grandes centros de cargas, para que finalmente possa realizar a distribuição aos consumidores individuais.

As empresas que estão inseridas no SEP, procuram realizar todas estas etapas de modo a obter o melhor custo técnico, financeiro e ecológico possível, visando atender a demanda, satisfazendo os índices de qualidade, conforme definido pelas pelos órgãos fiscalizadores. É composto conforme podemos ver na Figura 1.

Figura 1 - Ilustração do Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Adolpho (2019).

- Geração: É a aquisição seguido da transformação da energia originária das fontes geradoras primárias.

- Transmissão: Condução da energia das unidades geradoras para os grandes centros de consumo, fazendo também, a interligação dos diversos sistemas do Brasil, através das linhas instaladas em torres de transmissão de alta tensão (AT).

- Distribuição: Neste ramo ocorre o rebaixamento da tensão para níveis mais seguros, realizado nas subestações abaixadoras, sendo denominada distribuição primária de energia. A distribuição em patamar de baixa tensão ou secundária, ocorre com os equipamentos transformadores, que realizam nova redução, ficando a energia elétrica em níveis adequados para utilização em equipamentos elétricos, denominada rede de baixa tensão.

- Utilização: A utilização da energia acontece quando é transformada, ficando apta os consumidores utilizarem este produto, para as mais diversas finalidades nas suas residências.

2.2 Órgãos do setor elétrico brasileiro

As atividades pertencentes ao sistema elétrico de potência brasileiro são orientadas por normas e leis emanadas dos poderes legislativo e executivo e dos órgãos reguladores.

Dentro dos principais órgãos que estão no setor que são importantes e vitais para a perfeita coordenação e adequação da expansão e operação do sistema, podemos citar:

ANEEL - A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autonomia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997 (ANEEL, 2019).

CCEE - A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica flexibiliza as atividades de compra e venda de energia elétrica em todo país, realizando reuniões para tratamento da evolução do mercado, sempre orientada pelos pilares da isonomia, transparência e confiabilidade (CCEE, 2019).

ONS - O Operador Nacional do Sistema Elétrico é a parte que coordena e controla as operações das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN e pela organização das operações dos sistemas isolados do país, sob os olhos da ANEEL (ONS, 2019).

2.3 Sistema interligado nacional (SIN)

Sistema interligado nacional é um sistema que foi desenvolvido para coordenar e controlar os diversos sistemas geradores de energia elétrica e todos os sistemas que transmitem e distribuem de energia que está sobre o território do país, sendo que, apenas uma parcela de 1,7 % da produção energética do país não está dentro do SIN.

Conforme o aumento da demanda, mais fontes de energia precisam ser identificadas e novos sistemas de transmissão necessitam ser estudados e construídos para realizar o transporte desta energia até os novos pontos de consumo, elevando a gama de possibilidades de configurações dos sistemas através de novas interligações, levando a um melhor aproveitamento energético das regiões brasileiras com características distintas.

2.4 Geração de energia elétrica

A primeira etapa do SEP é a geração de energia elétrica que é feita através de fontes renováveis como o sol, água e o vento, como também através de fontes não renováveis como os combustíveis fósseis.

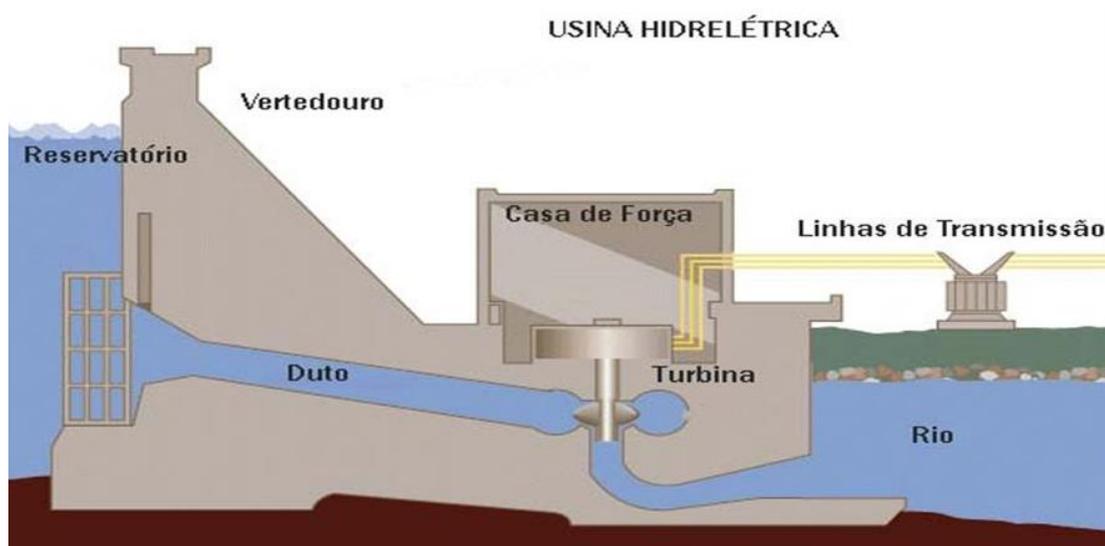
Ao decorrer dos anos foram feitas descobertas de tecnologias capazes de gerar energia elétrica, que através de turbinas e geradores, podem se transformar as outras formas de energia, como a eólica e solar, em eletricidade.

As diversas formas possíveis de geração podem ser encontradas no Brasil, e as mais comuns são:

Geração hidroelétrica – A principal opção de gerar energia no país, devido a sua extensa bacia hidrográfica, utiliza o movimento das águas dos rios para realizar o movimento das turbinas geradoras instaladas nas diversas hidrelétricas.

Podemos ver na Figura 2, um esquemático de como funciona uma usina hidrelétrica.

Figura 2 - Esquema de geração hidrelétrica



Fonte: Geo-Conceição (2019).

Esta forma de geração é uma das que tem o melhor custo-benefício por possuir um vasto recurso hídrico, mas por outro lado, é a forma que mais causa danos ambientais, devido as mudanças que são necessárias na sua construção, gerando impactos na fauna e flora, variando conforme o tamanho.

Segundo informações contidas no Atlas de Energia Elétrica do Brasil, elaborado pela ANELL em 2008. Estipula-se que o potencial hidráulico de geração de energia do Brasil seja de 260 GW.

De acordo ANEEEL as usinas hidrelétricas têm três classificações, conforme a sua potência instalada, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de geradores hidrelétricas

Tipo	Sigla	Potência instalada
Centrais Geradores Hidrelétricas	CGH	≤ 1 MW
Pequenas Centrais Hidrelétricas	PCH	$> 1\text{MW} \leq 30$ MW
Usina Hidrelétrica de Energia	UHE	> 30 MW

Fonte: ANEEL (2019).

Geração eólica – Forma de geração de energia que utiliza a força do vento para movimentar os aerogeradores das turbinas, que posteriormente acionam os geradores conectados a eles.

Segundo a ANEEL, denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água (ANEEL, 2019).

Esta forma de geração tem um alto custo de implantação para uma usina eólica, sendo que em contrapartida, os impactos ambientais causados são baixos.

As estimativas apontadas pela Eletrobrás em 2010, mostram um potencial de geração eólica de 143,5 Gigawatts no Brasil, sendo este volume ficando acima da potência instalada total no país daquele mesmo ano. O maior potencial de gerar energia são as regiões nordeste, sudeste e sul do Brasil.

No nosso estado temos o parque nacional de Osório, localizado no município de Osório, que é referência nacional, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Parque eólico situado no Rio Grande do Sul



Fonte: Município de Osório (2019).

Geração solar - Obtida com a luz do sol que é captada através de painéis fotovoltaicos, é a forma de geração de energia que vem crescendo muito nos últimos anos no país e que vem ganhando grande projeção no sistema elétrico brasileiro através da implementação de projetos de micros e minigeração distribuídas.

Os custos de implantação destes sistemas ainda são elevados para determinados projetos, mas obteve uma queda nos preços nestes últimos 10 anos, estimulado pela crescente demanda dos brasileiros por essa modalidade de geração, uma vez que, desde 2012, quando começou a vigorar a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, permitindo e capacitando o consumidor a gerar sua energia própria, como a solar, ou também, através de cogeração qualificada, sendo possível ainda, entregar o excedente de geração para a rede de distribuição da distribuidora local.

Algumas empresas estão apostando na construção de usinas de geração solar, instalando muitos painéis fotovoltaicos em áreas grandes de terra, como é possível ver na Figura 4.

Figura 4 - Painéis fotovoltaicos



Fonte: Portal Solar (2019).

Geração termoelétrica – Forma de geração de energia que é realizada através da queima de combustíveis fósseis, como carvão vegetal e mineral gás natural, petróleo, diesel, gasolina, entre outras substâncias. Basicamente nas termoelétricas, a queima de carvão vegetal aquece a caldeira com água, produzindo vapor em alta pressão que move a turbina do gerador, sendo no caso das nucleares, o aquecimento da água é feito através reações nucleares. Por fim, após ter realizado o movimento das turbinas, o vapor é condensado e resfriado, podendo ser aplicado em novos ciclos que se repete inúmeras vezes.

No Brasil, a energia proveniente de usinas termoelétricas é utilizada de maneira estratégica, sendo acionadas durante os períodos de estiagem, quando as usinas hidroelétricas não conseguem atender a demanda.

Tal atividade tem reflexo na conta que o consumidor paga as distribuidoras, sendo que em épocas onde as usinas termoelétricas são acionadas, o valor da energia se torna mais caro, pelo alto custo de geração que esta modalidade necessita.

Tem o maior impacto ambiental das formas mais utilizadas de geração do SEP.

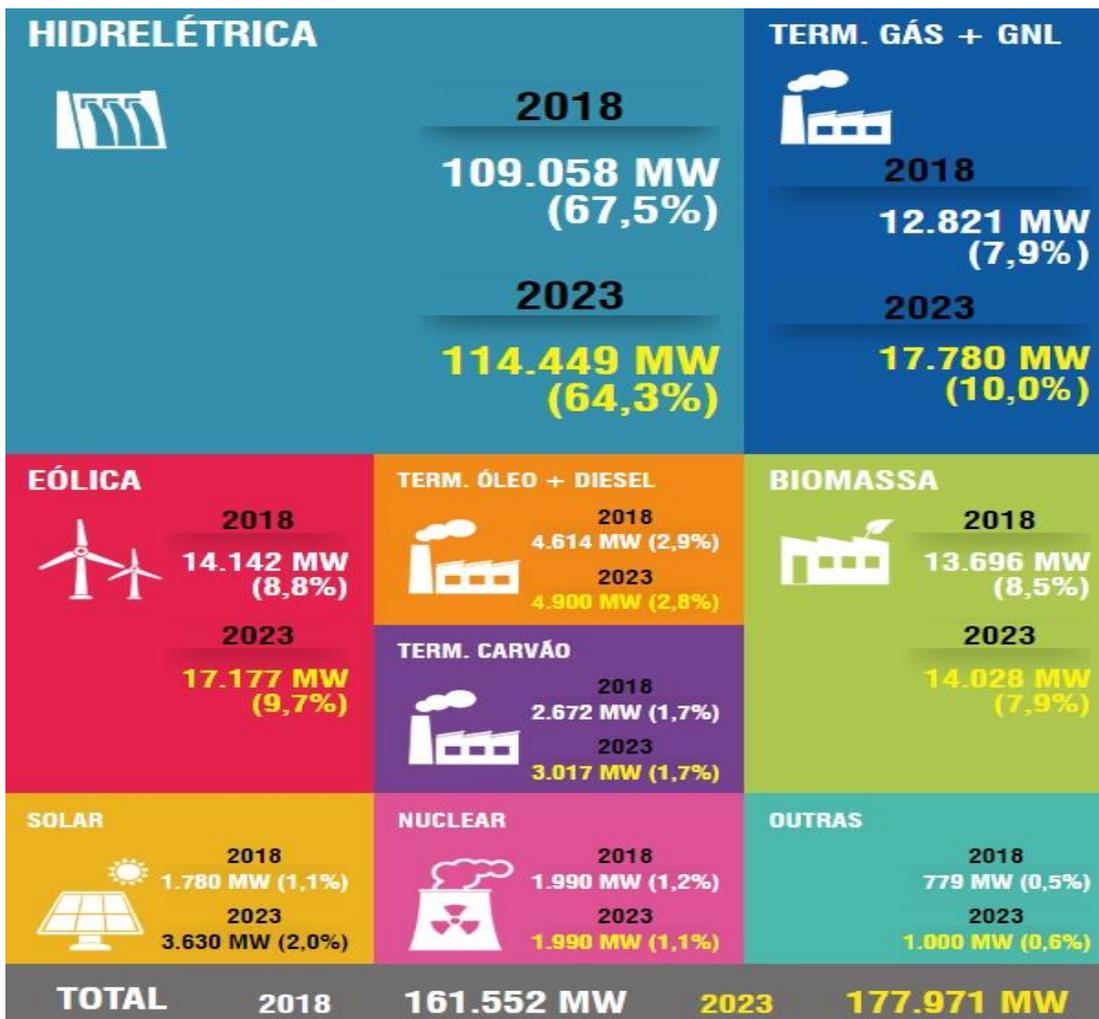
Figura 5 - UTE Euzébio Rocha Localizada no município de Cubatão (SP)



Fonte: Petrobras (2019).

Na figura 6, tem-se uma projeção de crescimento da capacidade de geração do país até 2023, mantendo a forma hidroelétrica predominante.

Figura 6 - Capacidade instalada do SIN 2018/2023



Fonte: ONS (2019).

2.5 Transmissão de energia elétrica

A segunda etapa do SEP brasileiro, consiste no transporte em corrente alternada da energia elétrica, oriunda das usinas geradoras até os grandes centros de consumo, através do sistema de transmissão que é constituído pelos sistemas de transmissão e pelas subestações.

As redes de transmissão de energia propiciam o transporte da eletricidade produzida pelas usinas geradoras às diversas subestações de alteração de tensão elétrica, por meio de cabos aéreos fixados em grandes torres de metal.

Decorrida a travessia de longas distâncias, a eletricidade irá se aproximar dos centros de consumo, onde outras subestações irão diminuir a tensão elétrica, para que seja iniciado o processo de distribuição.

O processo de transmissão é parte integrante do Sistema Interligado Nacional (SIN), que utiliza a malha de transmissão para transferir a energia entre os diversos subsistemas (ANEEL, 2019).

Este sistema é classificado conforme a faixa de tensão que operam as linhas de transmissão, variando entre 230 kV e 750 kV para corrente alternada e 800 kV em corrente contínua, que é pouco utilizada.

Caracterizado pelos valores da tensão em que opera, esta parte do sistema é utilizada para transporte de energia em grandes distâncias, interligando as usinas aos centros de consumo como também fazendo interligações entre sistemas de diversas distribuidoras.

Já a parte da subtransmissão, é utilizada para interligação dos sistemas de transmissão aos de distribuição captando a energia elétrica em volume de maior e transferi – lá para as Subestações de Distribuição.

Estes circuitos de menor distância operam tipicamente nas faixas de tensões de 230kV em alguns casos, 138kV e 88kV na região sudeste, 69kV e 44kV de forma rara e 34,5kV sendo aplicada em novos projetos. O limite de capacidade de potência destas redes de subtransmissão fica normalmente entre 20 MW e 150 MW.

Conforme podemos ver na Tabela 1, a quantidade de kms das linhas de transmissão existente no Brasil em 2017 com uma projeção de quilometragem até 2023, conforme os planos desenvolvidos pelo governo, que visam a ampliação e evolução do sistema de linhas de

transmissão, sendo de uma maior importância, devido ao alto investimento envolvido e da demanda crescente.

Tabela 2 – Projeção do sistema de transmissão para 2017/2023

Tensão de operação	Quilometragem em 2017	Quilometragem em 2023
800 kV CC	4.600 km	9.636 km
750 kV	2.683 km	2.683 km
600 kV	12.816 km	12.816 km
500 kV	47.750 Km	71.891 km
440 kV	6.748 km	6.969 km
345 kV	10.320 km	11.492 km
230 kV	56.471 km	69.997 km
TOTAL	141.388 KM	185.484 km

FONTE: ONS (2019).

Figura 7 - Linhas de transmissão



Fonte: Sindicato dos comerciários (2019).

2.6 Distribuição de energia elétrica

Sendo a terceira etapa do sistema elétrico de potência, contempla as redes de distribuição de MT e BT, contém todos os equipamentos que transformam e distribuem a energia elétrica em padrões seguros para o funcionamento dos equipamentos, com tensões típicas de operação inferiores ou até no máximo a 69 kV. Seu objetivo principal é atender todos os consumidores, podendo conter geração distribuída.

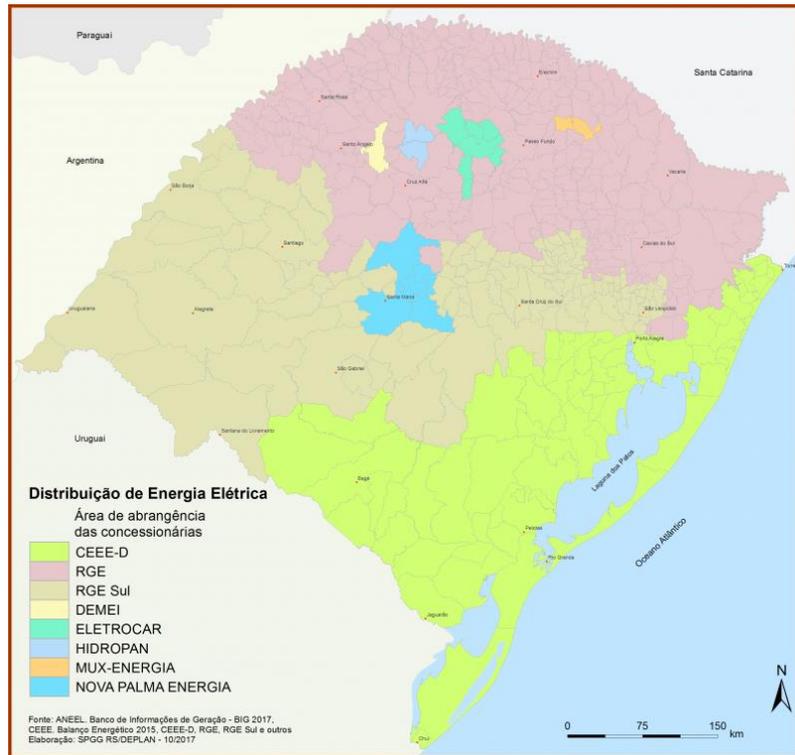
As regulações dos serviços da distribuição estão dispostas no PRODIST, elaborado pela ANEEL, que normatiza e padroniza todas as atividades técnicas envolvidas no funcionamento e desempenho dos sistemas elétricos de distribuição, possibilitando o acesso ao sistema, identificação e classificação dos consumidores, geradores, distribuidoras e agentes que importam e exportam a energia. Também a aplicabilidade de regras, responsabilidades e multas relacionadas à conexão, projetos de expansão, operação e medição da energia elétrica, criando critérios e indicadores de qualidade.

No Rio Grande do Sul, este serviço é realizado por empresas autorizadas permissionárias, e concessionárias, reguladas pela ANEEL, possuindo atualmente 105 distribuidoras, sendo 54 concessionárias, 38 permissionárias, e 13 cooperativas de eletrificação rural.

Há três grandes concessionárias, Rio Grande Energia (RGE), Rio Grande Energia Sul (RGE SUL) e Companhia Estadual de Energia Elétrica CEEE - D, que além de trabalhar com distribuição de energia, atuam também, como supridoras para as concessionárias menores, permissionárias e autorizadas, e correspondem por 93% da energia comercializada no estado.

Cinco concessionárias de porte pequeno atuam na distribuição de energia, nos centros urbanos dos municípios de Ijuí, Carazinho, Panambi, Tapejara e Faxinal do Soturno.

Figura 8 - Área das concessionárias no Rio Grande do Sul

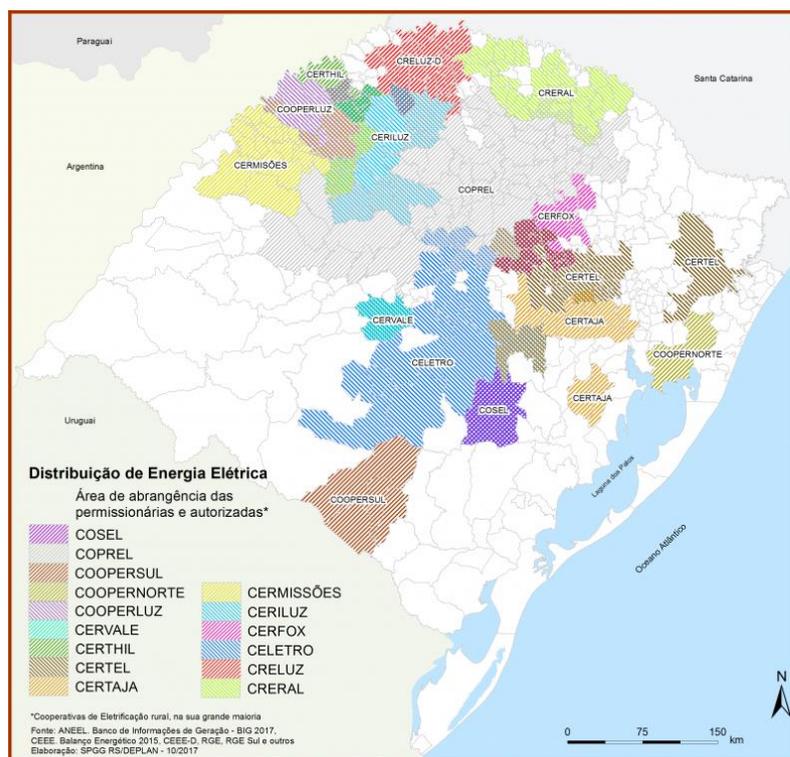


Fonte: Atlas Socioeconômico RS (2019).

Na Figura 8, temos as áreas que cada uma das empresas mencionadas acima, que atuam no Rio Grande do Sul.

Existem cerca de 15 autorizadas e permissionárias, sendo em grande parte, cooperativas de eletrificação que atendem áreas rurais, sendo algumas delas instaladas no vale do Taquari, como a Cerfox, Certel e Certaja, entre outras espalhadas pelo estado, como podemos ver na Figura 9.

Figura 9 - Área das permissionárias e autorizadas no Rio Grande do Sul



Fonte: Atlas Socioeconômico RS (2019).

De acordo com a ANEEL, “as legislações atuais referentes aos contratos de concessão de distribuição priorizam o atendimento abrangente do mercado, sem qualquer exclusão das populações de baixa renda e das áreas de menor densidade populacional. Prevê ainda o incentivo à implantação de medidas de combate ao desperdício de energia e de ações relacionadas às pesquisas voltadas para o setor elétrico” (ANEEL, 2019).

Com um papel importante no desenvolvimento do estado, estas empresas prestam os serviços de distribuição a cerca de 369 municípios dispersos por todo Rio Grande do Sul, atendendo por volta de 283 mil consumidores de energia elétrica nos diversos grupos de consumo.

2.6.1 Redes de distribuição de energia elétrica em média tensão

É o segmento da distribuição que contém as redes primárias de distribuição ou também chamadas de redes de média tensão. Tem a finalidade de transportar a energia elétrica emergente das subestações de distribuição, fornecendo alimentação primária aos equipamentos transformadores, de manobra e proteção.

São circuitos elétricos trifásicos (três fases), bifásicos (duas fases) e monofásicos (uma fase), operados nas faixas de tensão de 13,8 kV, 23,1 kV e 34,5 kV, se destinando ao suprimento das redes de BT e dos consumidores que tem atendimento em MT, se encaixando em tal modalidade de consumo, como indústrias, shoppings, grandes hospitais entre outros.

Podem ser aéreas e subterrâneas, sendo as redes aéreas com uso mais aplicado pelas distribuidoras, pelo seu baixo custo de projeto, construção e manutenção. Já as subterrâneas são aplicadas em locais que a rede convencional fica impossibilitada, como em locais com limitações paisagísticas e grandes centros urbanos.

As redes aéreas de e são construídas através de postes de 11 a 15 metros de comprimento, podendo ser de madeira, fibra ou concreto, e em seu topo, cruzetas de madeira, concreto ou fibra, que são configuradas em diversas estruturas conforme a necessidade de aplicação, onde são fixados os isoladores poliméricos ou de louça, que por final, sustentam os condutores de vários tipos e bitolas.

É possível realizar a construção de redes primárias de 4 formas:

Rede de distribuição aérea convencional – Esta forma é a mais barata de se instalar, mas pode ter um custo elevado de manutenção e de operação, além de ser a configuração menos segura e constantemente afetadas por ações do ambiente que estão instaladas.

Configurada para ter condutores nus, colocados sobre os isoladores que são fixados de forma horizontal sobre as cruzetas nos circuitos de MT e de forma vertical nos de circuitos baixa tensão.

A rede fica exposta ao meio ambiente, ficando mais vulnerável à ocorrência de defeitos, principalmente em áreas com grande vegetação, gerando contato com galhos de árvores ou outros objetos próximos, fazendo com que os condutores elétricos apresentem em algumas situações, uma alta taxa de falhas ao sistema, exigindo um sistema de podas eficiente para diminuir os impactos causados pela vegetação.

Também, deve-se destacar que nos centros urbanos há a necessidade de harmonização segura entre as redes e as edificações, por causa do alto risco que estas propiciam as pessoas, devendo respeitar os afastamentos mínimos entre rede e as casas e prédios, de forma a evitar possíveis acidentes.

Eventos de causa humana como acidentes com veículos, da natureza como raios ou animais, são outros fatores que causam defeitos nestas redes

Rede de distribuição aérea compacta – Esta configuração de rede tem por principal característica a de ser mais protegida que as redes convencionais, possuindo condutores com uma camada de isolamento e dispostas de forma mais agrupada, ocupando menos espaço, o que resulta em um menor número de perturbações, e assim, acaba melhorando a qualidade da energia entregue aos consumidores, aumentando também a confiabilidade do sistema.

São formadas por cabo de aço e cabos cobertos ou protegidos, fixados em estruturas compostas por braços metálicos, espaçadores ou separadores de fase confeccionados em grande parte de material polimérico. Os cabos são sustentados por condutor de aço guia que serve como neutro do sistema, também chamado de cabo mensageiro. Os condutores cobertos ou protegidos são apenas encapados e não podem ser utilizados em situações em que se tenha a necessidade de isolamento, por não possuírem um campo elétrico confinado.

Além da redução das intervenções na rede de distribuição para trabalhos de manutenção preventiva e corretiva através de podas de árvores, diminuem a poluição visual pelo arranjo compacto das suas estruturas e disposição dos condutores.

Esta escolha se torna uma alternativa mais cara que a rede aérea convencional.

Rede de distribuição aérea isolada – Geralmente com o maior custo de instalação, essa rede é aplicada em condições especiais, indicada para locais onde são constantes os danos causados por objetos do meio ambiente, sendo impossível a remoção dos agentes causadores e havendo a necessidade de melhoria dos índices de segurança, continuidade e confiabilidade do sistema.

Esta configuração de rede é protegida, utilizando três condutores isolados, blindados e/ou multiplexados, enrolados a um cabo mensageiro de sustentação e suas conexões são realizadas por peças acopláveis entre si, acarretando um sistema "totalmente isolado".

A vantagem da rede multiplexada é que o nível de confiabilidade é elevado em comparação com os outros tipos de redes aéreas, além de ocupar menos espaço.

As configurações deste tipo de rede se assemelham aos das redes aéreas compactas.

Rede de distribuição subterrânea e isolada – A rede subterrânea é configuração que proporciona o maior índice de confiabilidade ao sistema, no entanto é a opção mais cara para construção dentre as possíveis, devendo ser aplicada nas regiões onde há uma densidade de edificações ou locais onde se tem restrições para a instalação das redes aéreas.

A instalação é feita com os condutores isolados instalados dentro de eletrodutos, normalmente se tornando viável para áreas em que a densidade de carga é superior a 10 MVA/km², possibilitando um investimento com retorno mais rápido.

Uma desvantagem da rede subterrânea é a dificuldade na realização de manutenções, sendo que a rede está enterrada, não sendo possível visualizar o defeito facilmente como nas redes aéreas, por este motivo é de extrema importância realizar a manutenção preventiva, evitando possíveis defeitos inesperados.

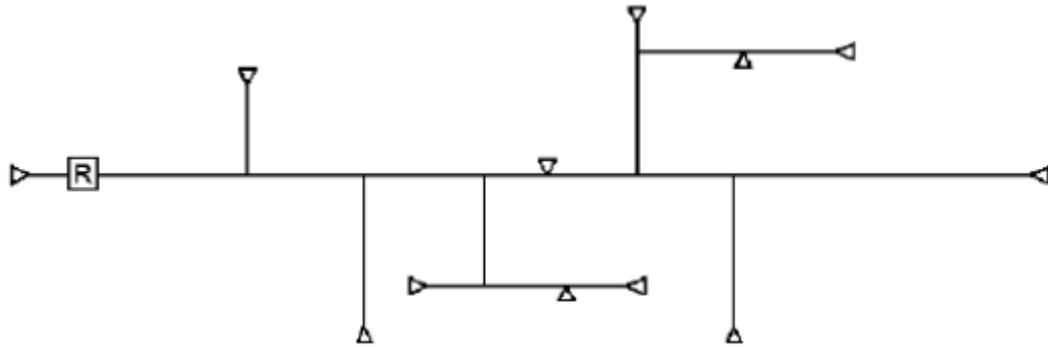
O sistema subterrâneo está protegido contra eventos climáticos e outras condições que as linhas aéreas estão expostas, como queda de objetos, acidentes com veículos, raios entre outros, mais está propensa a danos causados por escavações.

A configuração das redes aéreas primárias pode ser definida em função do nível de confiabilidade do sistema, sendo verificado a importância da carga ou o local a ser atendido. Podem ser aplicadas as seguintes configurações para o sistema aéreo de distribuição primária.

Radial simples – baseada em uma única fonte de fornecimento de energia abastecendo todas as unidades consumidoras, sendo alimentadas por uma única fonte que fornece energia para sistema.

Esse arranjo é muito utilizado para distribuição em MT em áreas rurais onde exista pouca densidade de carga, fazendo com que o alimentador tenha derivações que tomem direções distintas e longas, perante as suas próprias características de distribuição de carga, se tornando mais caro a instalação de pontos de interligação. Na Figura 10 podemos ver este tipo de configuração.

Figura 10 - Configuração radial simples

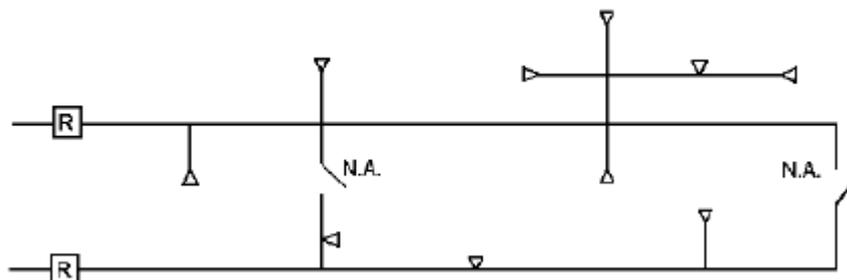


Fonte: Unesp (2019).

Radial com recurso – Este sistema é bastante utilizado em áreas com maior densidade de carga ou que necessitem maior confiabilidade do sistema, devido às suas particularidades, como por exemplo, circuitos que atendem hospitais.

Nesta configuração são instaladas no mesmo circuito ou entre circuitos distintos, chaves que operam manobras de abertura e fechamento, sendo chaves normalmente abertas (NA) e chaves normalmente fechadas (NF), que podem ser manobradas a qualquer instante, para realimentação de trechos do circuito ou ao todo, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Configuração radial com recurso



Fonte: Unesp (2019).

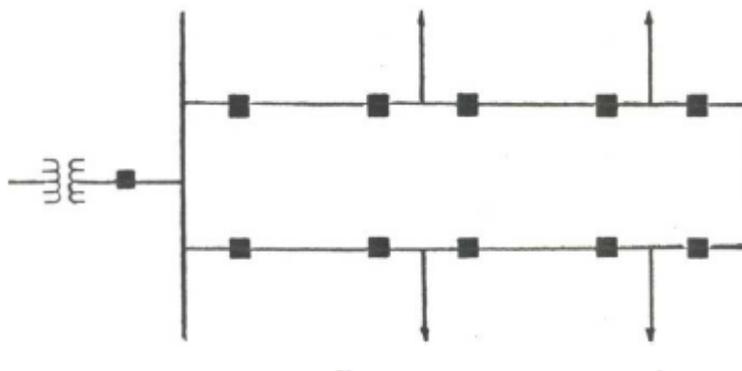
Anel – Esta configuração tem o objetivo de aumentar o índice confiabilidade do fornecimento do sistema, possuindo um esquema mais específico com equipamentos de seccionamento e religamento, permitindo a alimentação das cargas por duas fontes alternativas, sendo elas de circuitos provenientes da mesma subestação ou subestações diferentes.

O custo de aplicação de um sistema em anel, é mais caro que os demais, pela grande quantidade de aplicação necessária de equipamentos de manobra e proteção, como também,

pela necessidade instalação de condutores de maior bitola, que devem trabalhar com capacidade que permita as transferências de alimentação das cargas.

Normalmente se escolhe esta configuração em áreas urbanas densamente populosas, como podemos ver na Figura 12.

Figura 12 - Configuração em anel



Fonte: Unesp (2019).

2.6.2 Redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão

Parte do sistema elétrico que deriva da parte secundária dos transformadores de distribuição instalados em postes e ligados nas redes primárias de média tensão, destinando - se ao suprimento dos consumidores atendidos em BT e da iluminação pública das vias.

Quanto ao nível tensão disponibilizada no sistema elétrico das distribuidoras, com valores padrões, inferiores a 2,3 kV, variando entre 110 e 440 V, levando a energia elétrica até os consumidores através ramais de ligação conectados entre a rede a caixa de medição.

Só pode ser projetada de forma radial, não permitindo que a mesma unidade consumidora seja atendida ao mesmo tempo por mais de um transformador, não podendo-te o cruzamento de sistemas secundários de transformadores distintos.

São dispostas com cabos de alumínio nus ou multiplexados (isolados), em disposição vertical, amarrados aos isoladores fixados nas laterais dos postes, abaixo a cerca de 1,20 metros de distância da rede primária.

Podem ser configurados como monofásicos (fase e neutro), bifásicos (fase-fase-neutro) e trifásicos (três fases-neutro), operando nas tensões monofásico 110/220 V, bifásico 220/440 V e trifásico 220/380 V, dependendo da região do país.

2.7 Equipamentos de Distribuição

Na operação dos sistemas de distribuição energia são aplicados diversos equipamentos para efetuar várias tarefas, que vão desde a transformação de energia em diferentes patamares de tensão até a correção dos níveis de tensão a níveis regulatórios.

Este conjunto de equipamentos é o que agrega mais valor nos projetos de redes, pelo fato de sua complexidade exigir que muitas vezes sejam aplicados diversos equipamentos ao longo dos circuitos para regularizar os níveis de fornecimento, auxílio na operação de manobras, identificação de defeitos e possíveis fraudes de consumo.

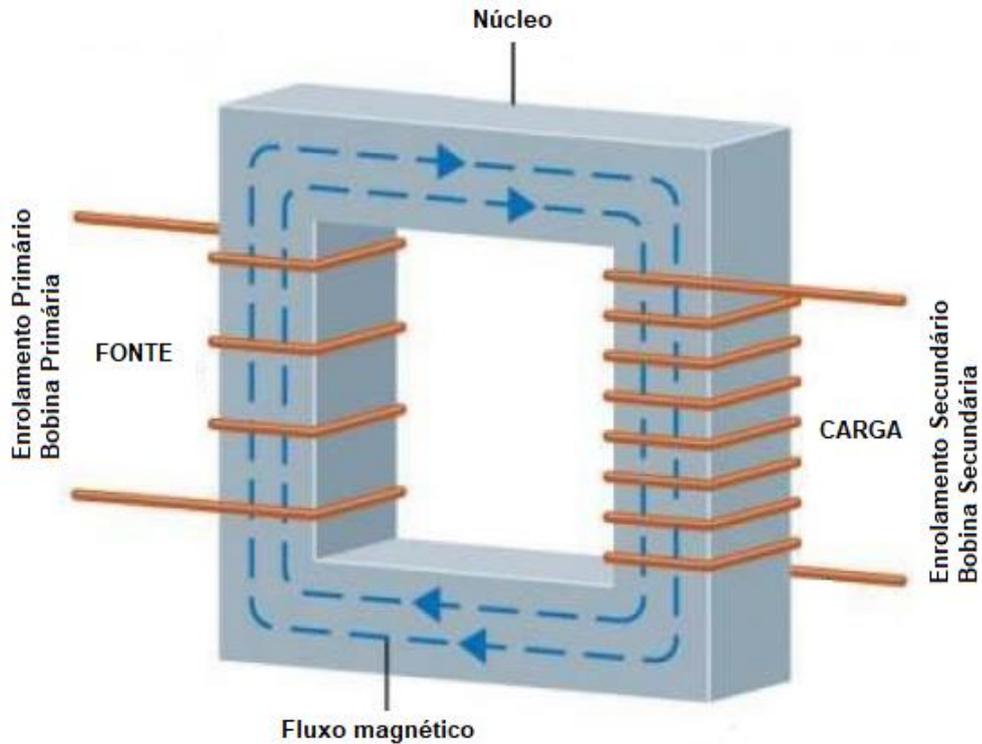
2.7.1 Transformadores

Transformadores são máquinas elétricas estáticas, ou seja, que não tem componentes móveis, que tem como objetivo a transferência de energia elétrica de um circuito para outro, transformando tensões e correntes, mantendo a frequência e praticamente a mesma potência entre os dois circuitos.

Conforme a norma NBR 5356-1 de 2007, o transformador é definido como um equipamento elétrico estático que, por indução eletromagnética, transforma tensão e correntes entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência (ABNT, 2007).

De uma forma geral, os transformadores são formados por três componentes básicos, enrolamento primário e secundário, ou seja, duas bobinas feitas de cobre e uma leve camada de verniz isolante, e o núcleo que é criado de um material ferromagnético. Os enrolamentos estão acoplados ao núcleo, onde por definição, a fonte é conectada no enrolamento primário e a carga no enrolamento secundário.

Figura 13 - Ilustração de um transformador



Fonte: Autor, adaptado de Bolotinha (2019).

Basicamente a metodologia de funcionamento dos transformadores segue princípios eletromagnéticos das leis de *Faraday* e *Lenz*.

A Lei de *Faraday* diz que todo condutor aplicado a um campo magnético variável, obterá em seus terminais uma força eletromotriz induzida e a lei de *Lenz* refere – se que a corrente que surge em um circuito elétrico fechado, em função de uma *fem*, terá sentido tal, a anular a causa que a deu origem.

De forma sucinta, o funcionamento do transformador se dá pela aplicação uma tensão alternada no enrolamento primário do equipamento e conforme esta tensão aumenta, um campo magnético surge no núcleo, cujo fluxo magnético varia e percorre pelo enrolamento secundário, uma vez que esta variação do fluxo percorrendo um condutor, induz nele, uma corrente elétrica.

O aumento da corrente elétrica no enrolamento primário gera um aumento do fluxo magnético através do enrolamento secundário, induzindo uma tensão elétrica nele. É este acoplamento eletromagnético entre os enrolamentos do transformador, acompanhado da transferência de energia elétrica, que se baseia seu funcionamento.

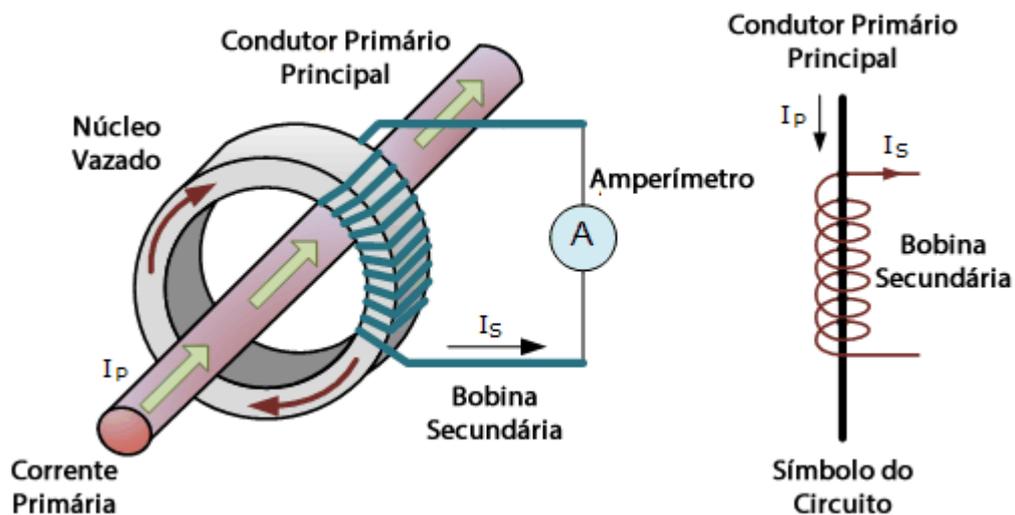
Temos também os conceitos de transformador ideal e real, sendo o primeiro, como uma forma teórica que considera que no transformador não há energia acumulada no campo magnético, portanto as perdas no ferro são nulas, não existe indutância, o fio não apresenta resistência e não existe perda de potência entre as partes primária e secundária.

Os equipamentos transformadores podem ser classificados conforme alguns parâmetros, mas de acordo com a finalidade, temos os seguintes equipamentos:

Transformador de corrente – Conhecido como TC, tem por objetivo medir e detectar a corrente elétrica em um condutor e transformá-la em valores menores, para ser transmitida a instrumentos de medição ou circuitos eletrônicos. É usado quando necessita - se diminuir os valores da corrente para alimentação de dispositivos e equipamentos que não operam em grandes níveis de corrente.

São classificados pela sua construção mecânica, podendo ser do tipo primário enrolado, tipo barra, tipo janela, tipo bucha, tipo núcleo dividido, sendo a sua designação com base na classe de exatidão necessária da aplicação, por exemplo, para circuitos de medição é aconselhado utilizar transformadores de corrente com classe de exatidão de 0,6.

Figura 14 - Esquemático transformador de corrente



Fonte: Silveira (2019).

Transformadores de potencial – Conhecido como TP, é um transformador também utilizado para instrumentação como o TC, sendo seu enrolamento primário ligado como derivação a um circuito elétrico e o seu enrolamento secundário se destina para alimentação as

bobinas de potencial, que alimentam equipamentos de medição, proteção e controle. São semelhantes aos transformadores de distribuição, porém consomem baixa potência.

Podem ser do tipo capacitivo que utiliza dois conjuntos de capacitores que trabalham na forma de divisor de tensão, e do tipo indutivo, que é o mais utilizado, podendo ser classificado de acordo com a sua construção, seguindo três grupos:

- Grupo 1 – destinado a ligações entre fases, sendo utilizados em sistemas de com tensão de até 34,5 kV;
- Grupo 2 – destinado para ligações entre fase e neutro em sistema diretamente aterrado;
- Grupo 3 – destinados para ligação entre fase e neutro em circuitos onde não se garante um bom sistema de aterramento.

Figura 15 - Modelos de transformador de potencial



Fonte: Rehtom Eletrômecânica (2019).

A designação do transformador de potencial também segue de acordo com a sua classe de exatidão necessária da aplicação, por exemplo, para medição utiliza-se a classe de exatidão de 0,3.

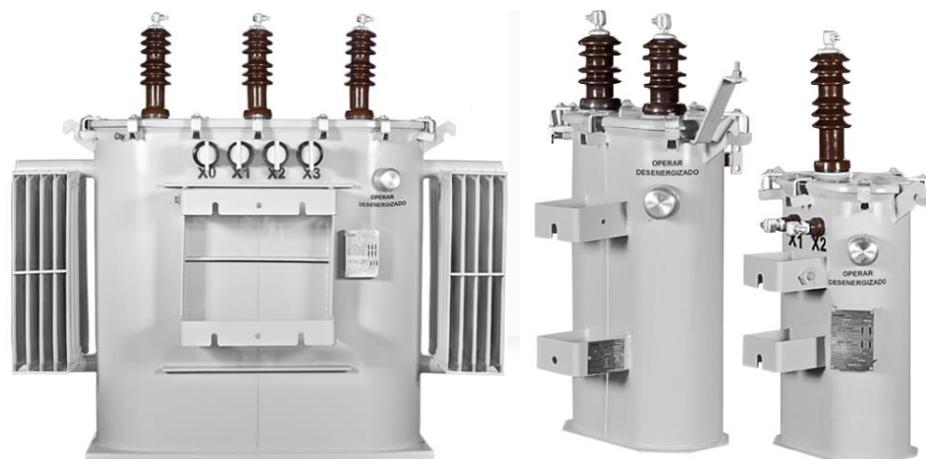
Transformador de distribuição - Utilizado no setor de distribuição pelas distribuidoras de energia nos seus sistemas para atendimento dos consumidores.

Podem ser monofásicos, bifásicos e trifásicos, com potências de 3 a 300 kVA, operando nas classes de tensão de 13,8, 23,1 e 34,5 kV, e a escolha se dá conforme a demanda do circuito secundário, onde estão conectados os consumidores, ou seja, conforme a demanda dos

consumidores é escolhido o equipamento com potência compatível para atendimento desta demanda.

Geralmente são aéreos, instalados em postes, cabines e plataformas e nos casos subterrâneos em cabine subterrânea específica para este tipo de transformador. São aplicados nos sistemas de distribuição de energia elétrica, os equipamentos monofásicos trifásicos com diversas potências.

Figura 16 - Transformadores de distribuição



Fonte: Itb Transformadores (2019).

Transformadores de força - Aplicados em usinas, subestações de distribuição por distribuidoras de energia e em subestações de indústrias, quando a sua aplicação se destina por exemplo, a fornos de indução e retificadores.

Transformadores elevador e abaixador - Tratam – se de transformadores que alteram o patamar de tensão do circuito, elevando ou rebaixando a tensão conforme a necessidade do sistema. Os valores de tensão de saída deste tipo de transformador estão relacionados ao número de espiras que cada bobina tem, como por exemplo, de um transformador elevador, sendo a quantidade de espiras da bobina secundária maior do que da bobina primária.

Autotransformador - É um equipamento semelhante a um transformador convencional e tem mesma finalidade, porém, o autotransformador possui apenas um único enrolamento. Esse enrolamento além de ter terminais em suas extremidades, existe um enrolamento com maior número de terminais, que se chama “TAPS”.

Este arranjo de derivações proporciona a obtenção de diversos valores de tensão de saída para um mesmo valor de entrada.

Podem ser classificados quanto ao tipo, material do núcleo e a quantidade de fases.

2.7.1.1 Comutador de derivações

Conforme vimos anteriormente, os equipamentos transformadores são projetados para transferência de energia entre circuitos, com determinadas potências, para atendimento das cargas conectadas em seu circuito secundário, porém, devido à existência de certas quedas de tensão nos circuitos de alimentação, dificilmente a entrada primária receberá tensão nominal e isto afetará a tensão da parte secundária, tendo a necessidade da mudança da relação de transformação do equipamento para corrigir a tensão secundária a níveis adequados, respeitando a legislação e entregando uma energia de qualidade aos consumidores.

Para adequar a tensão do circuito secundário fazendo com que ela se mantenha aproximadamente constante, operando em regime adequado, mesmo havendo variações da tensão do circuito primário, os equipamentos transformadores são constituídos de um sistema de comutação de derivações em carga ou genericamente chamados de TAP'S. Este sistema é parte integrante no enrolamento primário, pelo fato de ter a corrente nominal do enrolamento secundário, fazendo com que a ocorrência de problemas decorrentes de contato seja menor.

Por definição, temos que o comutador de derivações é um dispositivo que permite alterar a relação de espiras de um transformador, pela modificação das derivações de um mesmo enrolamento (NBR 5458/81).

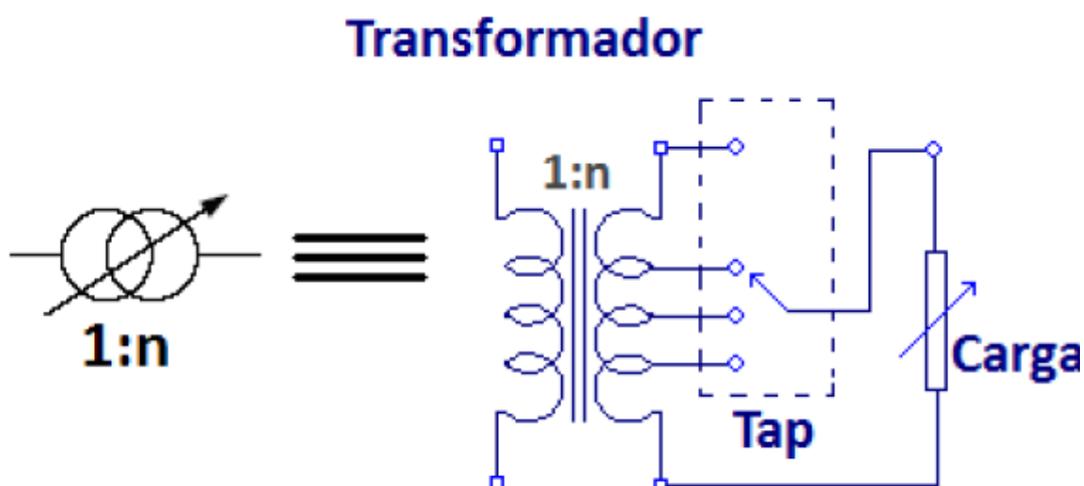
Já quando a tensão primária for maior que a nominal, o comutador opera de modo a adicionar espiras ao enrolamento.

Nos dois casos, se tratando de transformadores de distribuição mais novos, o processo é feito através do comutador externo do equipamento, onde o operador irá fazer os ajustes que são necessários, de forma manual e com o equipamento desligado. Em equipamentos mais antigos é necessário a abertura do tanque para ajuste do comutador interno, sendo que este equipamento não é mais aplicado nas redes de distribuição, devido aos riscos causados ao operador e ao meio ambiente.

Além da distância dos alimentadores que influencia diretamente na tensão primária que chega até os equipamentos transformadores, outras variáveis podem interferir em seu funcionamento, tais como, horário do dia, carregamento do transformador, bitola dos condutores do circuito secundário, cargas perturbadoras, entre outros aspectos que aumentam a complexidade do problema, fazendo com que seja necessário ajustar os TAPS de forma rotineira, criando as chamadas regiões de TAPS.

As regiões de TAPS são pontos do circuito onde a tensão primária segue um patamar de tensão que obriga a concessionária a ajustar todos os equipamentos que estão naquela determinada parte do alimentador. Geralmente quanto mais próximo do final do alimentador, mais necessário se torna realizar ajustes para elevar a tensão a níveis adequados na sua parte secundária.

Figura 17 - Esquemático de um transformador com TAP variável



Fonte: Costa (2019).

O sistema de comutação dos equipamentos transformadores tem várias formas, podendo ser linear, rotativo e de painel, e a sua escolha depende do valor da corrente e da complexidade das ligações a realizar.

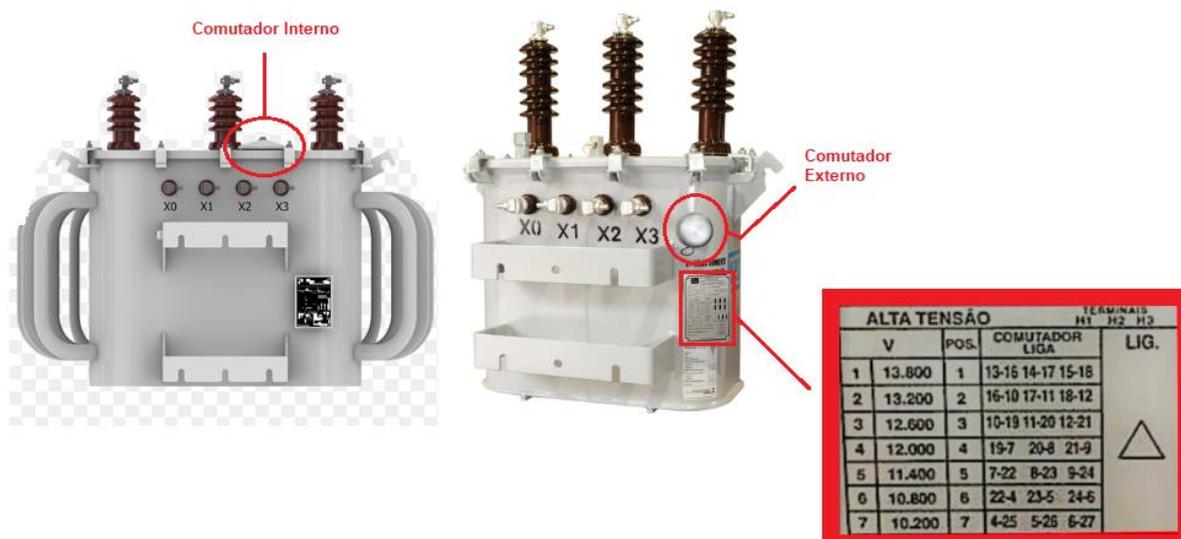
O sistema de comutação para equipamentos transformadores de distribuição, deve ser do modelo linear ou rotativo, de acionamento rotativo, com mudança simultânea nas fases, para operações sem tensão, com comando único de acionamento externo e deve ser instalado de forma a garantir a estanqueidade (NBR5440:2014)

Adicionalmente, deve ser indicado no equipamento transformador, próximo ao acionamento do comutador, de forma visível e indelével, os dizeres “OPERAR SEM TENSÃO” (NBR5440:2014).

Como podemos ver na Figura 18, temos dois equipamentos transformadores trifásicos utilizados na distribuição de energia elétrica, com comutadores interno e externo, e a placa contendo os dados.

Na placa estão dispostas as todas informações relacionadas ao equipamento e como podemos ver, sobre as posições do sistema de comutação e os valores de tensão da operação conforme a escolha do TAP.

Figura 18 - Transformadores com diferentes tipos de comutadores



Fonte: Autor adaptado de Itb Transformadores (2019).

2.7.2 Capacitores

Basicamente os capacitores são dispositivos que armazenam energia no seu campo elétrico que é formado por duas placas paralelas e separadas por um material com característica não condutora ou dielétrica. São dispositivos muito utilizados em diversos ramos como da eletrônica, comunicação, computadores e sistema elétricos de potência.

Os capacitores são equipamentos que tem capacidade de acumular eletricidade. Basicamente formados por duas placas condutoras postas frontalmente em paralelo e separadas por um meio isolante qualquer, que pode ser o ar, papel, plástico etc (Filho, 2005).

Existem diversos tipos de capacitores, classificados geralmente, com relação ao material do seu dielétrico, sendo os tipos mais comuns, capacitores cerâmicos, capacitores eletrolíticos, capacitor de poliéster, entre vários outros.

Um capacitor é um componente que constitui - se de duas superfícies condutoras separadas por um material não condutor ou dielétrico. Existem muitos tipos diferentes de capacitores, sendo classificados pelo tipo dielétrico que é usado entre suas placas condutoras (Irwin, 2000).

A carga elétrica armazenada por um capacitor (q), é proporcional a tensão (v) de modo que

$$q = Cv \quad (1)$$

onde C , é a constante de proporcionalidade, também conhecida como a capacitância do capacitor e sua unidade é o farad (F).

A capacitância depende do tamanho do capacitor, por exemplo, com placas paralelas, a capacitância é dada por

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2)$$

Para obtermos a relação de corrente e tensão do capacitor, utilizamos a derivada de ambos os lados da equação

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (3)$$

Diferenciando ambos os lados desta equação temos

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

Essa é a relação da tensão e corrente de um capacitor, supondo-se a regra de sinais (passivo).

A relação de tensão e corrente de um capacitor linear pode ser obtida integrando ambos os lados da Equação

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau \quad (5)$$

A potência instantânea liberada para o capacitor é

$$p = vi = Cv \frac{dv}{dt} \quad (6)$$

Portanto, a energia que o capacitor armazena é

$$w = \frac{q^2}{2C} \quad (7)$$

De forma resumida estas são as fórmulas que teoricamente especificam os capacitores.

Se tratando de SEP, os capacitores podem ser aplicados para liberar maior potência ativa dos grupos geradores, corrigir o FP de cargas e sistemas, melhorar os níveis de tensão dos circuitos e reduzir perdas.

Já na distribuição de energia elétrica, os capacitores têm papel fundamental no bom funcionamento dos alimentadores, como vistos antes, eles corrigem as distorções de tensão e o fator de potência originados pelas cargas conectados ao longo do sistema.

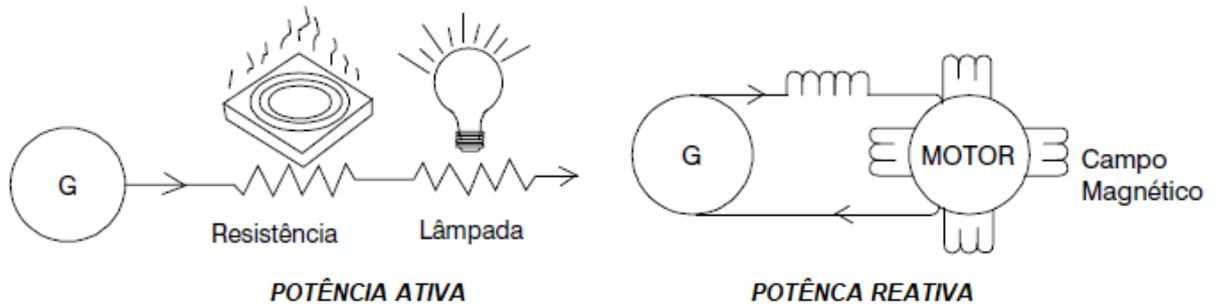
2.7.2.1 Correção de fator de potência

O FP pode ser relacionado com as potências ativa e reativa, indicando se a energia está sendo usada de forma eficiente, sendo de suma importância para as empresas permanecerem com o fator de potência de seus alimentadores no valor padronizado pela ANEEL, sendo igual ou superior a 0.92, para se livrar do pagamento de multas e de perda técnica originada por este fator.

As distribuidoras também cobram multas de seus consumidores atendidos em modalidade tarifária do grupo A uma vez que eles possuam um fator de potência fora do normatizado, obrigando estes consumidores aplicar a devida correção em suas instalações.

A maioria dos consumidores possuem cargas que consomem energia reativa indutiva, como motores.

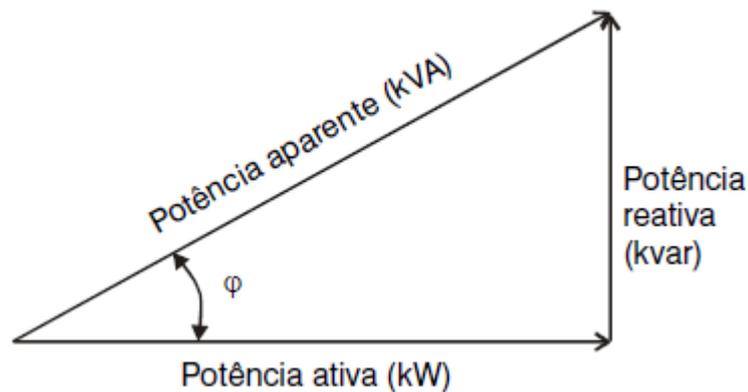
Figura 19 - Ilustração das potências ativa e reativa



Fonte: WEG (2019).

Conforme podemos ver na Figura 19, a potência ativa é absorvida na execução do trabalho e a reativa fica circulando no circuito, ocupando um determinado espaço, não produzindo trabalho, e que poderia ser aplicado para contribuir com mais potência ativa ao sistema.

Figura 20 - Triângulo retângulo das potências



Fonte: WEG (2019).

Potência aparente é o resultado do produto da multiplicação entre a tensão e a corrente.

$$S = V \times I \quad (8)$$

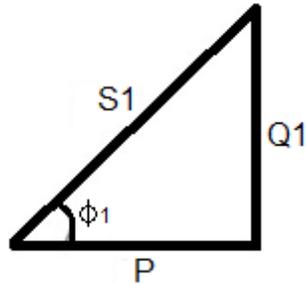
Potência ativa é a potência real é a potência que de fato realiza o trabalho no sistema.

$$P = V \times I \times \cos(\varphi) \quad (9)$$

Potência reativa é uma certa parte da potência aparente que pode ser aplicada ao circuito, sendo sua função de criar o circuito magnético gerando o campo elétrico nos capacitores.

$$P = V \times I \times \text{SEN}(\varphi) \quad (10)$$

Figura 21 - Triângulo das potências 1



Fonte: Autor, (2019).

Podemos ter a seguinte relação das potências com base no triângulo retângulo da Figura 21

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (11)$$

O fator de potência pode ser calculado pela seguinte equação

$$FP = \frac{P}{S} = \text{COS } \varphi \quad (12)$$

A seguinte forma pode ser utilizada para a correção, conforme uma situação original onde o triângulo das potências está disposto da seguinte maneira, com determinado ângulo φ , com base na Figura 21.

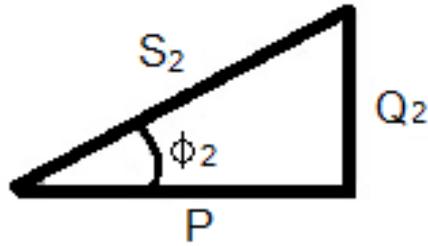
$$FP_1 = \text{COS } \varphi_1 \quad (13)$$

$$\text{tg } \varphi_1 = \frac{Q_1}{P} \quad (14)$$

$$Q_1 = P \cdot \text{tg } \varphi_1 \quad (15)$$

Então a situação desejada é conforme o triângulo da Figura 22, onde é possível notar que o φ do fator de potência é menor

Figura 22 - Triângulo das potências 2



Fonte: Autor, (2019).

$$FP_2 = \cos \varphi_2 \quad (16)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_2}{P} \quad (17)$$

$$Q_2 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (18)$$

Com a variação das potências reativas atual e desejada, pode – se encontrar o valor relativo do capacitor a ser instalado para correção do determinado fator de potência

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (19)$$

$$\Delta Q = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (20)$$

A aplicação de destes equipamento é a solução para adequação do FP dos alimentadores primários de distribuição de energia elétrica, instalados nos lugares adequados, eles podem operar de forma fixa ou automática, conforme a necessidade técnica e a capacidade financeira das distribuidoras de energia.

Os bancos fixos ficam sempre ligados à rede, já os bancos automáticos podem ser ligados e desligados da rede por meio de telecomando acionando relés de comando quando for necessário realizar as operações, de forma manual pelos operadores ou programada.

Com a elevação do FP do sistema pode obter vantagens a partir desta melhoria, tais como, melhoria e aumento do nível de tensão, redução de perdas e melhoria na estabilidade do sistema.

2.7.2.2 Correção do nível de tensão

Uma energia reativa em excesso no sistema eleva os níveis da corrente fazendo com que o sistema venha a sentir quedas de tensão acentuadas em determinados pontos, podendo levar a ter cortes do fornecimento de energia e gerar sobrecarga sobre determinados equipamentos da rede. Geralmente esses efeitos são sentidos nos períodos em que a rede é fortemente solicitada pelas cargas.

O nível de tensão em qualquer parte do alimentador é igual à da fonte descontando a queda de tensão até o determinado trecho. Assim, se a tensão nominal da SE e as diversas quedas forem descobertas, a tensão em qualquer trecho do alimentador pode ser facilmente encontrada.

Geralmente a tensão nominal da fonte é sempre conhecida, o problema está em apenas na definição das quedas de tensão. Um maneira de encontrar estas quedas ao longo do circuito alimentador podem ser obtidas através da seguinte fórmula:

$$\Delta V = R * I * \cos \varphi \pm X * I * \sin \varphi \quad (21)$$

Os valores de ΔV , R e X são aplicados a fase, ou seja, a queda de tensão para valores entre fases, em um sistema trifásico será

$$\Delta V * \sqrt{3} \quad (22)$$

Conhecido o FP e a corrente total, as componentes da corrente são podem ser obtidas através de

$$I_{kW} = I * \cos \varphi \quad (23)$$

$$I_{kVAR} = I * \sin \varphi \quad (24)$$

Podendo ser reformulada e escrita da seguinte forma:

$$V = R * I_{kW} \pm X * I_{kVAR} \quad (25)$$

Com esta expressão, fica claro que a relação da corrente com a potência reativa, operando apenas na reatância. Como os capacitores fazem a redução desta corrente, a queda de tensão total também reduzida para valores iguais, multiplicada por sua reatância. Sendo assim, necessário descobrir a potência nominal do equipamento capacitor a ser utilizado e a reatância

do sistema onde será aplicado, para se obter os valores de aumento da tensão, ocasionada por estes equipamentos.

As desvantagens dos sistemas que operam com tensões abaixo do nominal são inúmeras, mas as que mais causam impacto nas distribuidoras são relacionadas a depreciação acelerada de certos componentes da rede e as penalizações que a ANEEL aplica sobre o fator de potência fora dos padrões, o consumo de reativo excedente e também aos níveis de tensão fora dos limites padronizados.

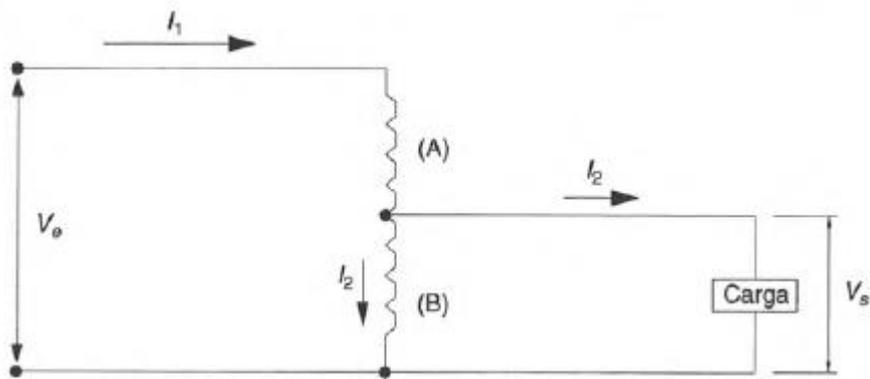
2.7.3 Reguladores de Tensão

São equipamentos destinados para adequar dos níveis de tensão, sendo instalados em redes de distribuição de energia elétrica em MT, fazendo com que estes sistemas operem em níveis adequados de tensão, mesmo quando é afetado por uma variação na tensão, ficando fora de limites regulatórios.

É um dos equipamentos mais utilizados pelas distribuidoras de energia elétrica para correção dos seus níveis de tensão, uma vez que a sua aplicação seja mais comum em redes de MT que tenham longos comprimentos, como por exemplo, redes de distribuição em área rural onde o comprimento é longo e há predominância de cargas não acumuladas, onde a sua instalação, faz com que a tensão opere dentro dos padrões.

Basicamente podemos dizer que este equipamento é um transformador automático ou autotransformador, possuindo um número de derivações em seu enrolamento série, chamados de TAP'S. A Figura 23 mostra o esquema deste equipamento monofásico, onde seu enrolamento (A) fica série com a carga e o restante (B), em paralelo com ela.

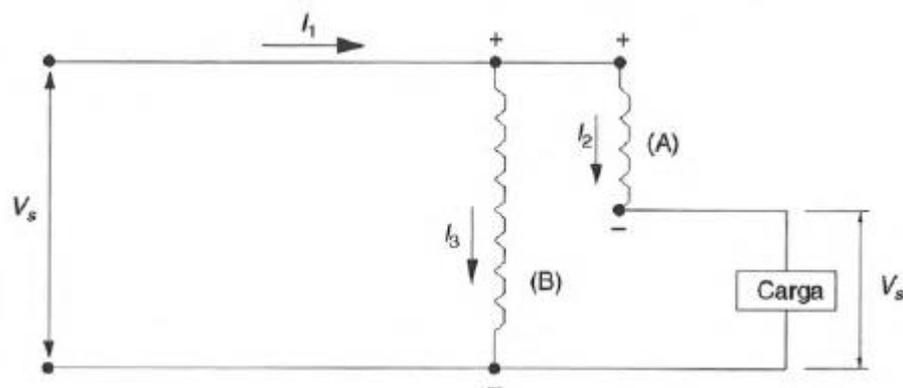
Figura 23 - Esquema básico de um autotransformador



Fonte: Filho (2005).

Alterando a representação esquemática da Figura 23, temos a função de reduzir a tensão de entrada, como podemos ver na Figura 24. Nesta configuração, o equipamento tem os seus enrolamentos conectados com polaridade subtrativa. Observa-se que o seu enrolamento (A) continua ligado em série com a carga, enquanto o (B) fica em paralelo.

Figura 24 – Esquema na função de redução da tensão

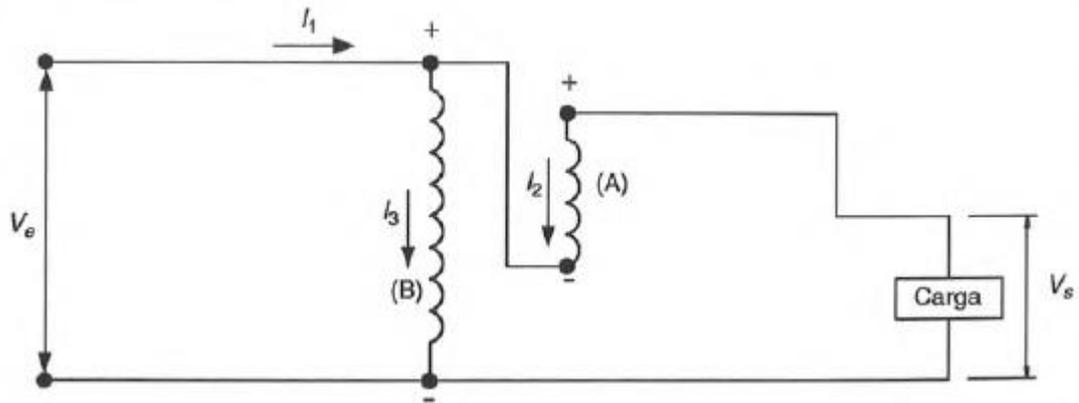


Fonte: Filho (2005).

Agora alterando a conexão do esquema da Figura 24, temos a função de elevar a tensão, como podemos ver na Figura 25.

Nesta configuração, o autotransformador tem ligado os seus enrolamentos com polaridade aditiva. Observa-se ainda que eles mantêm o esquema de ligação em relação à carga que na configuração anterior.

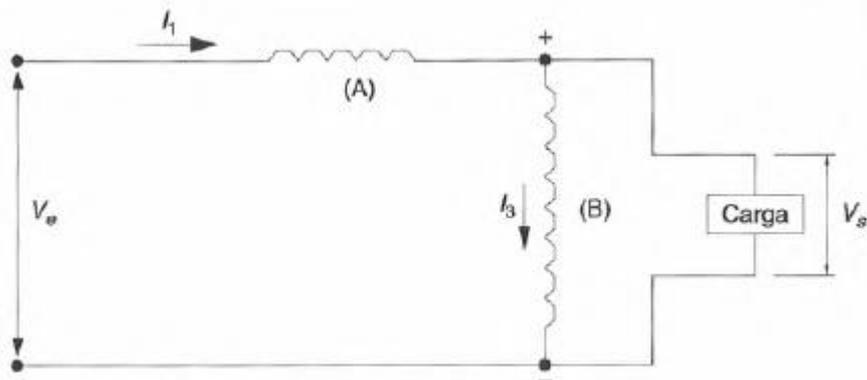
Figura 25 – Esquema na função de elevação da tensão



Fonte: Filho (2005).

Conforme exposto acima, mantendo os princípios, podemos obter o diagrama do regulador de tensão conforme a Figura 26, em que o enrolamento (A) mantém a ligação em série com a carga e o (B), mantém a ligação em paralelo.

Figura 26 - Esquema do regulador de tensão



Fonte: Filho (2005).

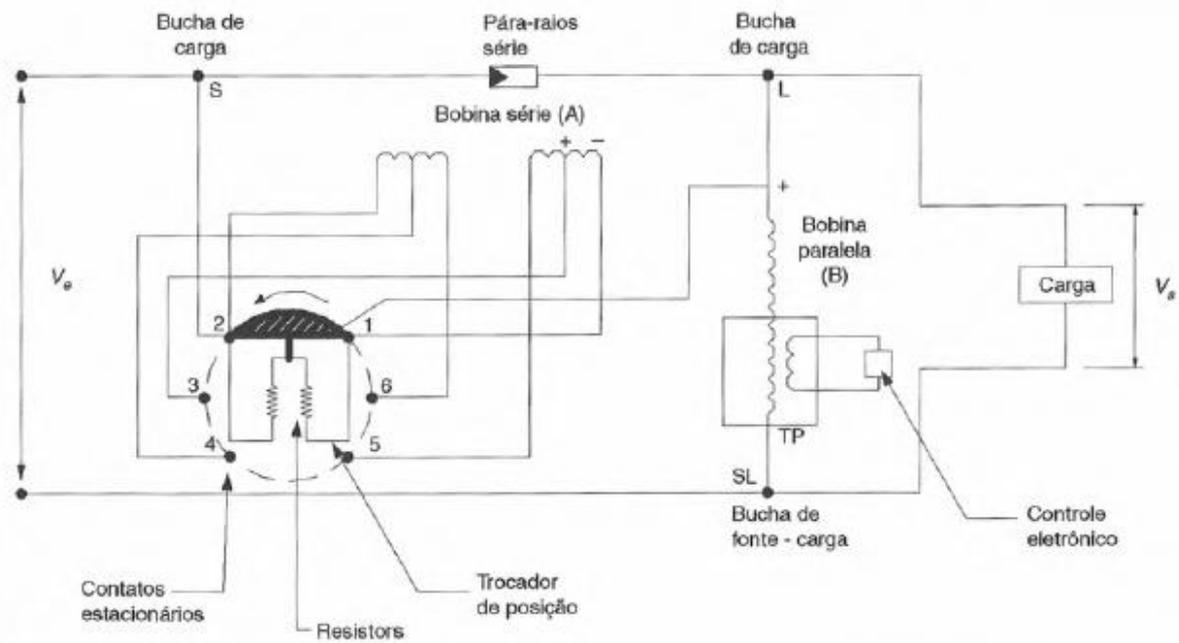
Existe atualmente dois tipos de equipamentos reguladores destinados à correção da tensão em redes de distribuição de MT, sendo o auto booster e o 32 graus.

O regulador de tensão auto booster é o equipamento mais comum para regulação de tensão, sendo fabricado em unidades monofásicas. Este tipo de regulador é um equipamento que atua no nível de tensão em um só sentido, isto é, é regulado para aumentar ou para baixar a tensão e pode ser utilizado também como um equipamento que auxilia o de 32 graus em diversas aplicações.

Devido a essas características e ao custo baixo, as empresas aplicam este equipamento normalmente em redes de distribuição rurais, onde há baixa densidade de carga. Seu circuito elétrico é composto basicamente de três bobinas, assim denominadas: bobina série, paralela e de controle.

A Figura 27 mostra o esquema simplificado de funcionamento do auto booster conectado na rede primária para elevar a tensão.

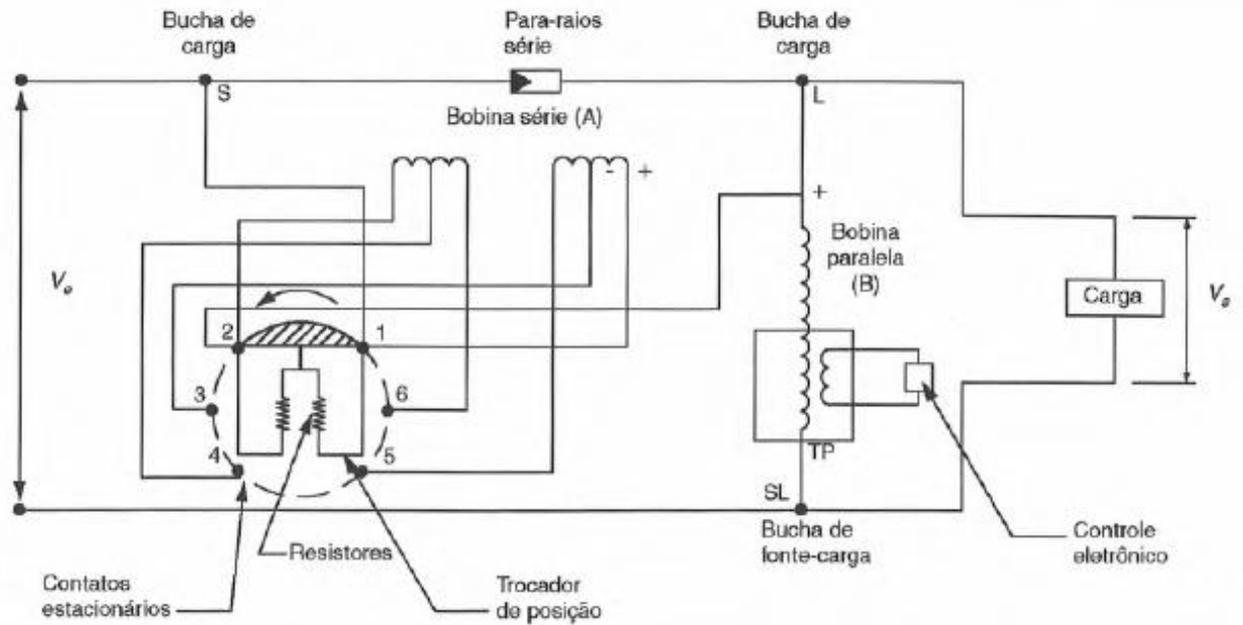
Figura 27 - Diagrama de um auto booster na configuração de elevação da tensão



Fonte: Filho (2005).

Já a Figura 28, mostra o esquema para a conexão do regulador auto booster na função de redução de tensão.

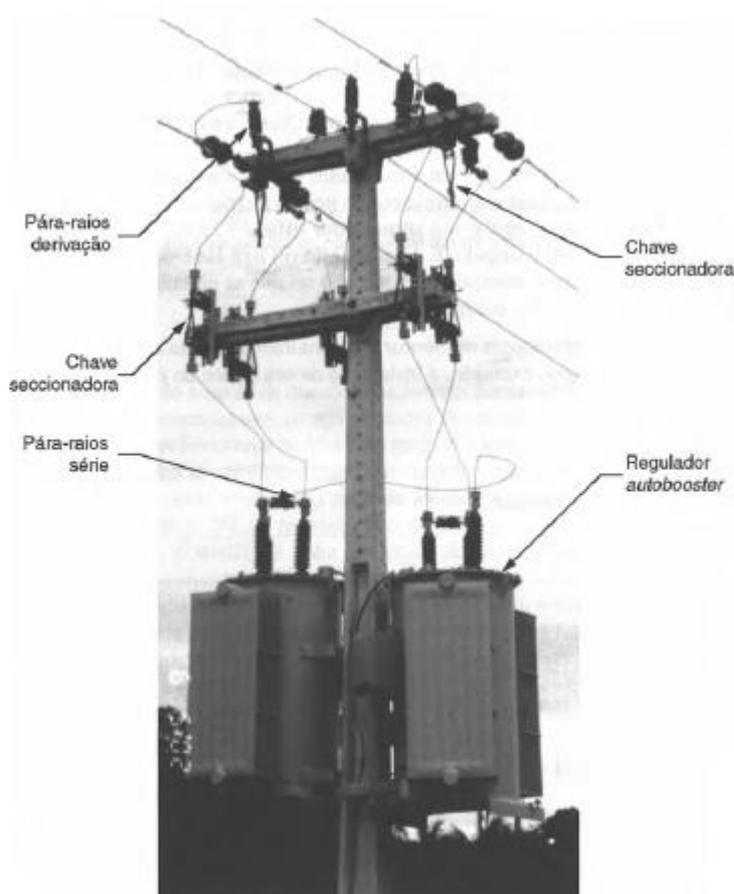
Figura 28 - Diagrama de um auto booster na configuração de redução da tensão



Fonte: Filho (2005).

A montagem deste tipo de equipamento normalmente é feita em poste de concreto, conforme na figura 29, sendo este tipo de equipamento, pouco utilizado atualmente.

Figura 29 - Instalação auto booster em poste

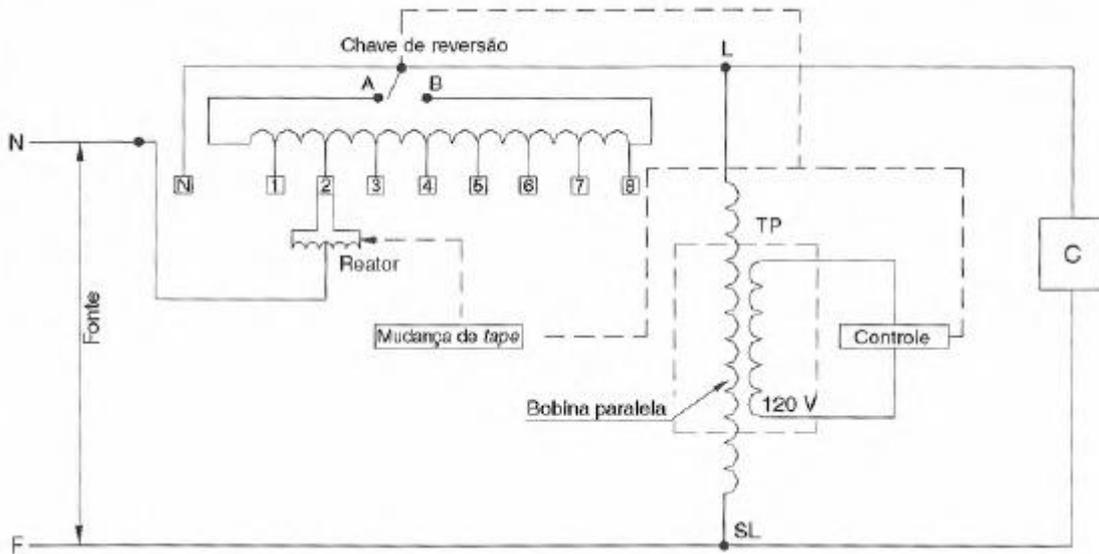


Fonte: Filho (2005).

Essa regulação normal é feita em até 32 TAPS (16 TAPS para abaixar e 16 TAPS para elevar a tensão), com uma variação de $\pm 0,65\%$ em cada TAP, resultando em uma tensão que varia em $\pm 10\%$ da tensão de alimentação.

Podem ser aplicados em diversas situações, como em redes de distribuição que atendem áreas rurais com grandes comprimentos, saídas de alimentadores em SE de distribuição ou em determinados trechos da rede e podem ser aplicar para regular toda a barra da SE ou a partir de um trecho dos sistemas.

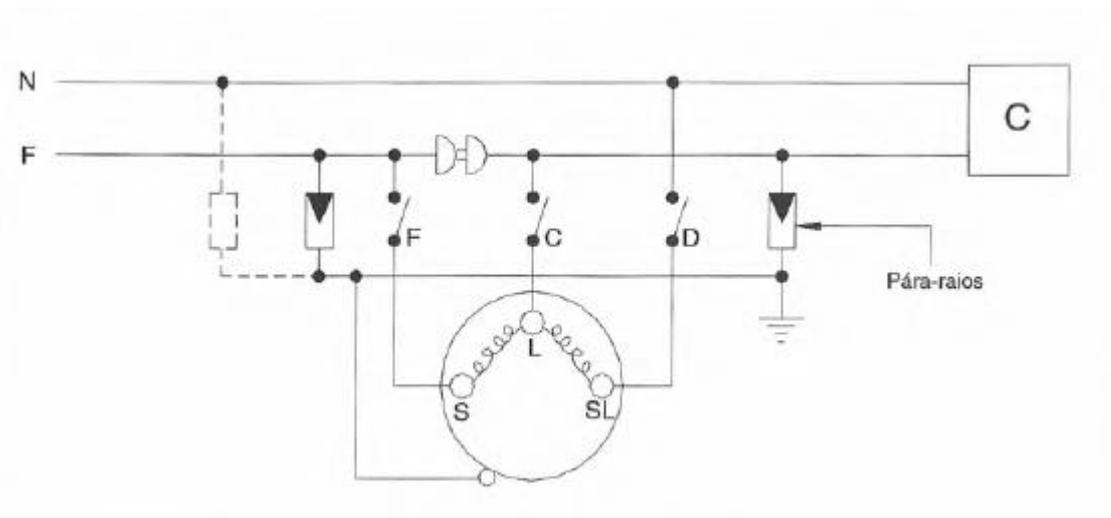
Figura 30 - Esquema do equipamento de 32 graus



Fonte: Filho (2005).

Os esquemas de ligação variam conforme o número de equipamentos que serão instalados, sendo que o equipamento monofásico pode ser ligado em um circuito monofásico conforme esquema da Figura 31.

Figura 31 - Esquema de ligação do equipamento monofásico



Fonte: Filho (2005).

Onde nesta ligação, nota-se a função das três buchas:

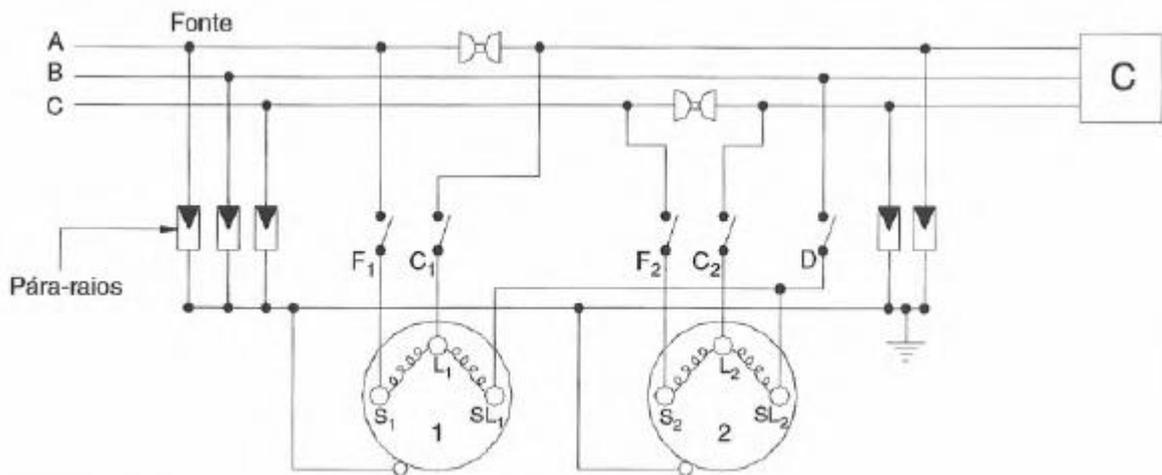
- Bucha S: e aquela que recebe o condutor ligado a fonte;
- Bucha L: e aquela que alimenta a carga;

- Bucha SL: bucha de fonte-carga.

Note que a bobina paralela está ligada entre as buchas L e SL.

Nos circuitos trifásicos a três fios, pode se instalar dois reguladores de tensão, cujas ligações estão mostradas na Figura 32, ligados em triangulo aberto.

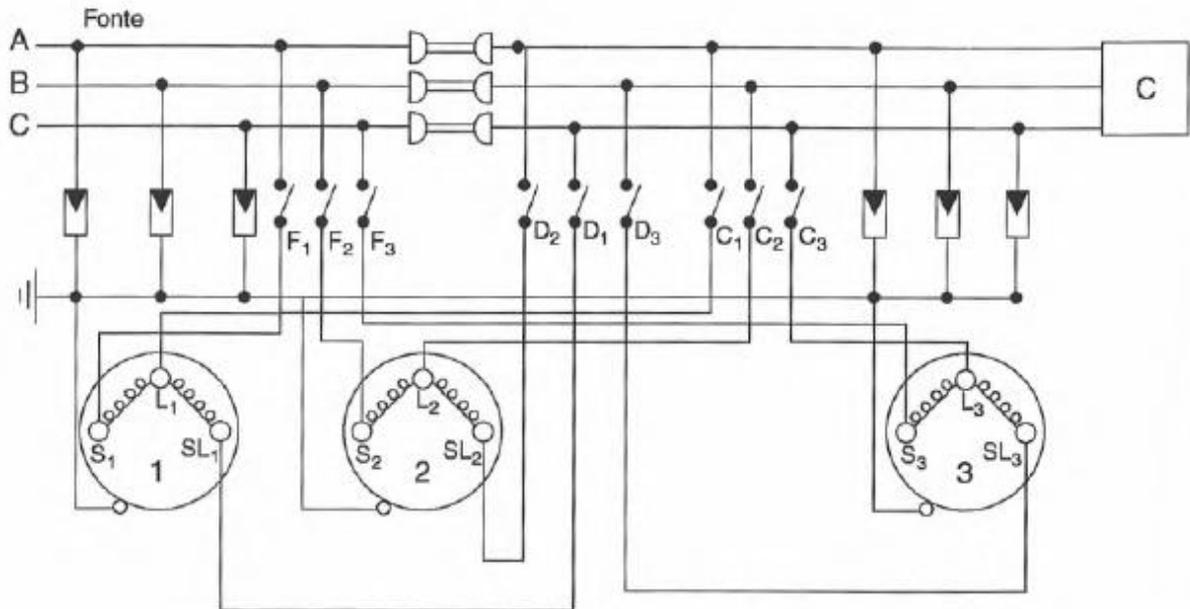
Figura 32- Esquema de ligação de 2 equipamentos monofásicos



Fonte: Filho (2005).

No caso de circuitos trifásicos a três fios, podem-se empregar, também, três reguladores monofásicos conforme ligações estão sendo mostradas na Figura 32 e pode ser vista instalada em poste na Figura 33.

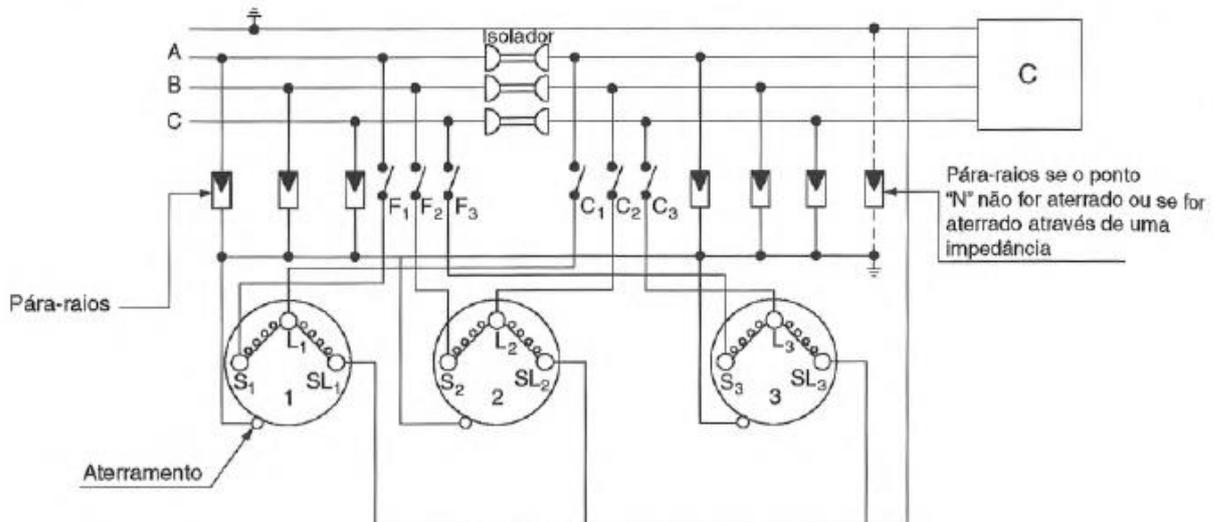
Figura 33 - Esquema de ligação de 3 equipamentos monofásicos com 3 condutores



Fonte: Filho (2005).

No caso de circuitos trifásicos a quatro fios, podem-se aplicar três reguladores monofásicos, onde as ligações estão mostradas na Figura 34.

Figura 34 - Ligação de 3 equipamentos monofásicos com 4 condutores



Fonte: Filho (2005).

Este tipo de equipamento é normalmente instalado em postes de concreto armado, em estrutura dupla. É necessário a instalação em conjunto de um conjunto de chaves de seccionamento para ser possível ocorrer a isolação dos equipamentos da rede elétrica para manutenção e ajuste.

2.7.4 Religadores

Os religadores são equipamentos destinados a proteger sistemas que distribuem energia, sendo instalados geralmente, nas redes aéreas de distribuição. Este equipamento tem a capacidade de realizar a interrupção do fornecimento da corrente elétrica e são capazes de efetuar diversas operações de abertura e fechamento dos circuitos, durante o surgimento de um defeito ao longo da rede.

Sua ampla aplicação nas redes aéreas, se dá pela característica que possibilita que os defeitos de causa transitória, sejam eliminados sem intervenção humana, gerando deslocamento de efetivo equipes para percorrer o circuito identificado com falta de fornecimento de energia.

Nunca se deve instalar estes equipamentos em instalações industriais ou comerciais, sendo que os defeitos que podem ocorrer nestes locais são de ordem permanente ao contrário dos que podem ocorrer nas redes aéreas.

Os religadores podem ser classificados pelo número de fases, sendo que os que operam de forma monofásica, são aplicados para proteção de redes aéreas de distribuição monofásicas, sendo instalados em redes trifásicas quando se tem a necessidade de atender uma carga monofásica no sistema que exige esta proteção.

Já os trifásicos se destinam à proteção de redes aéreas de distribuição trifásicas, onde é necessário o seccionamento tripolar simultâneo, evitando que cargas trifásicas ligadas aos sistemas, operem com apenas duas fases, podendo gerar defeitos.

Pode-se realizar o emprego de religadores monofásicos, operando em redes trifásicas, sendo que a atuação deles seja feita de maneira simultânea em todas as unidades do banco, mesmo que a falha seja entre quaisquer das fases e terra.

São classificados, também, em relação ao sistema de controle, sendo feita por ação eletromagnética ou efetuada por controle eletrônico, sendo esta última a mais utilizada pelo seu sistema em estado que tem capacidade de guardar as configurações necessárias à execução de diversas operações de religamento.

Visto que a principal função dos religadores é proteção do sistema contra surtos de corrente e redução do tempo de falta de fornecimento de energia nos momentos em que surgem problemas transitórios, quando se deparam com algum defeito, sendo de origem da natureza

como raios, ou de origem humana, como árvore derrubada sobre a rede, o religador identifica tais, como sobrecarga por curto circuito, realizando diversos ciclos de abertura e fechamento até a resolução do problema, ou seja, até a corrente normalizar. Quando se referimos a defeitos permanentes, os religadores ficam ativados em modo aberto, para proteção do sistema, até que a causa seja identificada, corrigida e assim, poderá ser feita a normalização do sistema de forma de religação manual.

A maioria dos problemas é de origem passageira sendo provocados por raios, ventanias, ou outros materiais externos, os religadores acabam atuando de forma temporária, na maioria das vezes, até a resolução da inconformidade.

Existem critérios que devem ser analisados para instalação dos equipamentos religadores em redes aéreas de distribuição, como em circuitos longos, em derivações de ramais que suprem cargas relevantes, em alimentadores que tenham diversos ramais; após grandes centros de cargas e em redes que atendem consumidores primários.

Atualmente os equipamentos religadores contam com controle via telecomando, com base em grande parte, na tecnologia GPRS, sendo operados a distância pelos operadores nos centros de comandos das distribuidoras. As operações mais realizadas são as de fechamento e abertura de circuitos em anel, onde com estas manobras é possível alterar o fluxo de corrente do circuito.

Depois que o equipamento atua com todas as operações definidas e fica no estado aberto, geralmente ocasionado por um defeito permanente, é necessário que os operadores solicitem que sejam verificados visualmente a campo todo o trecho do alimentador protegido pelo equipamento.

Feito isso e não identificado defeitos ao longo da rede, é autorizado o operador realizar a manobra de fechamento do equipamento, o que deve reestabelecer o fornecimento de energia de todo o sistema.

Figura 35 - Equipamento religador instalado em poste



Fonte: Autor (2019).

2.8 Sistema por unidade (PU)

Quando falamos de sistemas elétricos de potências, falamos de diversas grandezas que podem chegar a altos valores em determinados circuitos. Uma maneira de normalizar as grandezas e parâmetros de alguns equipamentos compõem o SEP, é expressar seus valores por percentual ou por unidade, os conhecidos valores P.U., sendo neste sistema, as grandezas são escritas em relação a valores empregados como referência, os denominados valores base.

Dentre as vantagens de se utilizar este sistema está a simplificação dos cálculos devido normalização dos valores referentes a um valor de base, melhorando a sensibilidade no manuseio das grandezas.

A fórmula para obtenção do valor por unidade é uma simples divisão do valor real pelo valor tido como base, normalmente definida a potência base de todo o sistema com valor típico de referência de 100 MVA, e a tensão de base depende do de nível de tensão da barra ou do trecho, conforme a fórmula.

$$\text{Valor por unidade (pu)} = \frac{\text{Valor real}}{\text{Valor de referência}} \quad (26)$$

Com esta definição, as grandezas como tensão, corrente, potência aparente e impedância podem ser definidas, conforme.

$$V_{pu} = \frac{V_{real}}{V_{base}} \quad I_{pu} = \frac{I_{real}}{I_{base}} \quad S_{pu} = \frac{S_{real}}{S_{base}} \quad Z_{pu} = \frac{Z_{real}}{Z_{base}} \quad (27)$$

Como também potência ativa, potência reativa, resistência, reatância, condutância, susceptância e a admitância, podem ser traduzidas para a forma por unidade por meio da relação.

As demais referências de base como a impedância e a corrente podem ser calculadas com base nas definições acima

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} \quad I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{base}} \quad (28)$$

Também é comum converter os valores em P.U em valores de porcentagem (%) através da relação

$$K_{\%} = 100 \cdot K_{pu} \quad (29)$$

Quando se necessita instalar um equipamento novo ao sistema, como por exemplo um transformador, é muito comum realizar a mudança de base para se obter os dados deste equipamento com o valor de base atual do sistema, uma vez que estes equipamentos são fabricados com determinados parâmetros que tem como base determinados valores. Sendo assim para encontrar os parâmetros em uma nova base para equipamentos, pode ser obtida a partir da equação.

$$Z_{pu\ nova} = Z_{pu\ velha} \cdot \left(\frac{S_{base\ nova}}{S_{base\ velha}} \right) \cdot \left(\frac{V_{base\ velha}}{V_{base\ nova}} \right)^2 \quad (30)$$

Onde

$Z_{pu\ nova}$ - Impedância percentual nova, em pu;

$Z_{pu\ velha}$ - Impedância percentual velha, ou seja, a impedância da placa do equipamento, em pu;

$S_{base\ nova}$ - Potência base do sistema elétrico de potência, geralmente em 100 MVA;

S base velha - Potência base da placa do equipamento, no caso a própria potência nominal, em MVA;

V base velha - Tensão base de placa do equipamento, em kV;

V base nova - Tensão base da barra em que será conectado o equipamento, em kV.

O sistema pu se para os sistemas monofásicos e trifásicos equilibrados, sendo a relação entre as potências monofásica e trifásica é dada por 3.

$$S_{3\phi \text{ base}} = 3 \cdot S_{1\phi \text{ base}} \quad (31)$$

A relação entre tensão de fase e de linha, para sistemas equilibrados

$$V_{L \text{ base}} = \sqrt{3} \cdot V_{F \text{ base}} \quad (32)$$

Relacionamento para os valores em pu e de base para tensões de linha e fase, e potências trifásica e monofásica

$$I_{\text{base}} = \frac{S_{1\phi \text{ base}}}{V_{F \text{ base}}} \quad I_{\text{base}} = \frac{S_{3\phi \text{ base}}}{\sqrt{3} \cdot V_{L \text{ base}}} \quad (33)$$

$$Z_{\text{base}} = \frac{V_{F \text{ base}}}{I_{\text{base}}} \quad Z_{\text{base}} = \frac{V_{L \text{ base}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{base}}} \quad (34)$$

A aplicação deste método por unidade, simplifica os cálculos, uma vez que, trabalharemos com média e baixa tensão com valores com ampla diferença e sendo assim, facilita a metodologia aplicada.

2.9 Qualidade do fornecimento de tensão

Com competência da ANEEL, a regulação da qualidade do fornecimento de tensão é baseada no que diz na resolução de nº 505, que estabelece de forma sempre atualizada e permanente, as diretrizes relacionadas à qualidade dos níveis de tensão em regime de caráter permanente. Também conforme as normas dispostas no PRODIST, tratadas no módulo 8, que diz respeito sobre a qualidade da energia elétrica.

De um modo geral, o módulo 8 do PRODIST padroniza os procedimentos, define as terminologias, indicadores e metodologias de cálculo para apurar e qualificar os serviços

referentes a qualidade do produto, qualidade do serviço realizado e a qualidade quanto ao tratamento das reclamações dos usuários ligados no sistema brasileiro.

Estas normas e procedimentos abrangem todos os usuários do sistema que são desde os consumidores com instalações conectadas nas diversas classes de tensão de distribuição até o operador nacional do sistema elétrico.

Entre as distribuidoras, as conexões com a tensão nominal de operação igual ou acima de 230 kV, devem ser fornecidas de forma que a tensão seja o seu valor nominal e que se mantenha entre 95% e 105% da tensão nominal do ponto a ser conectado.

Já para as tensões contratadas junto à distribuidora, ou seja, os consumidores com tensões de operação acima de 1 kV, é obrigatório entregar dentro dos limites de 95% e 105% no ponto de conexão.

Para tensões iguais ou menores a 1 kV, a tensão entregue deverá ser igual a nominal de operação.

Poderão ser contratadas tensões com valores intermediários aos mencionados acima, desde que os padrões fixados sejam de acordo entre todas as partes envolvida.

Com relação à padronização e regulação das tensões de atendimento mencionadas acima, e verificando os níveis que a Cerfox trabalha, podemos ver as variações permitidas conforme estabelece o PRODIST, dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Limites de variação de tensão de atendimento

Situação de atendimento	Intervalo de variação em PU
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL \leq 0,93TR$
Crítica	$0,90TR \leq TL \leq 1,05TR$

Fonte: PRODIST (2018).

A ANEEL estipulou indicadores que através de leituras, avaliam o nível de atendimento, sendo estes indicadores aplicados de forma individual e coletiva.

Os indicadores individuais são:

DRP - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária

$$\text{DRP} = \frac{\text{nlp}}{1008} * 100[\%] \quad (35)$$

DRC - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica

$$\text{DRC} = \frac{\text{nlc}}{1008} * 100[\%] \quad (36)$$

Os limites dos indicadores individuais são de 3% (três por cento) para o indicador DRP e 0,5 % (cinco décimos por cento) para o indicador DRC.

Os indicadores coletivos também utilizando como base as medições amostrais realizadas, calculando assim este indicador

ICC - Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica

$$\text{ICC} = \frac{N_C}{N_L} * 100[\%] \quad (37)$$

E para a determinação dos índices equivalentes por unidade consumidora, devem ser calculados os indicadores coletivos DRP_E e DRC_E .

$$\text{DRP}_E = \sum \frac{\text{DRP}_i}{N_L} [\%] \quad (38)$$

$$\text{DRC}_E = \sum \frac{\text{DRC}_i}{N_L} [\%] \quad (39)$$

2.10 SINAPgrid

A Sinapsis é uma empresa de base tecnológica que desenvolveu o *software* SINAPgrid, sendo um produto elaborado para modelagem do setor elétrico, que aplica as exigências regulatórias, eficientes e rentáveis.

Esta plataforma de simulação é utilizada para a aplicação da metodologia e caracteriza-se por disponibilizar uma série de ferramentas e aplicações para sistemas, permitindo também o desenvolvimento para aplicação e realocação de componentes da rede.

Dentre as principais características desta plataforma têm-se:

- Representação gráfica integrando todos os níveis de tensão do SEP (alta, média e baixa);
- Editor de rede que possibilita representação gráfica dos componentes da rede, por meio de módulos esquemáticos ou informações georreferenciados;
- Módulos que realizam fluxo de potência, para circuitos balanceados ou desbalanceados, possibilitando a resolução por diversos modos (*Gauss*, *Newton-Raphson*);
- Ferramentas para avaliação do carregamento, perfil e desequilíbrio de tensão e perdas técnicas, seguindo as recomendações do PRODIST;
- Permite a importação de dados de outras plataformas, como MIG, Anarede, Anafas, GIS;
- Permite a exportação de redes nos formatos XML e KML que podem ser embarcados no Google Earth (redes com coordenadas já georreferenciadas);
- Permite exportação de dados de fluxo de potência e relatórios personalizáveis com resultados em arquivos Excel e de texto;
- Realiza a importação e criação de curvas típicas dos consumidores.

Tais recursos permitem tanto o planejamento como a operação de sistemas que fazem parte da distribuição e da transmissão de energia elétrica, se destacando perante os outros *softwares*, por possuir opções de simulação que envolve todos os segmentos do sistema, permitindo a representação completa de qualquer tipo de topologia.

O *software* possibilita a realização de cálculos de fluxo de potência para sistemas equilibrados e desequilibrados, conforme configuração da mesma. São utilizados dois métodos de cálculo:

- *Gauss*: deve ser utilizado quando todos os pontos de fornecimento da rede analisada são do tipo PQ, isto é, são definidos pelo módulo e fase da tensão.

Newton-Raphson: pode ser utilizado para qualquer tipo de rede equilibrada. Isso ocorre porque quando uma rede possui um ponto de fornecimento do tipo PV, isto é, onde se conhece

o módulo de tensão e a potência ativa injetada, o único método adequado para sua análise é o *Newton-Raphson*.

Ambos os métodos podem ser implementados tanto para redes equilibradas como para redes desequilibradas, embora o método de *Newton-Raphson* precisa ser adaptado para redes desequilibradas.

A ferramenta de Alocação de Capacitores indica pontos adequados para instalação de capacitores no circuito, conforme a necessidade da compensação de reativos. Se baseando a partir do ponto mais distante da fonte de suprimento e analisando o patamar de demanda máxima (ou o patamar selecionado), o SINAPgrid realiza uma varredura na rede, analisando o fluxo de potência reativa.

Se o nível de reativos for maior que uma unidade do banco de capacitores, esse ponto se torna apto à alocação do capacitor. Este, então, é alocado, respeitando restrições, como a quantidade em estoque, a potência reativa dos equipamentos, a distância mínima entre instalações, o FP mínimo e/ou alocação somente no tronco do alimentador.

A ferramenta de que possibilita alocar equipamentos reguladores de tensão, indica pontos para instalação na rede, dependendo da necessidade de melhorar os níveis de tensão. Partindo da fonte de suprimento e analisando cada patamar (ou o patamar de demanda máxima), o SINAPgrid realiza uma varredura na rede, analisando a tensão em cada barra, calculada pelo fluxo de potência.

Se o nível de tensão for menor que o valor mínimo aceitável, esse ponto se torna apto à alocação do regulador. Este, então, é alocado, respeitando restrições, como a quantidade em estoque, a potência passante da unidade em estoque, a distância mínima entre reguladores em série, a quantidade máxima por rede e/ou alocação somente no tronco do alimentador.

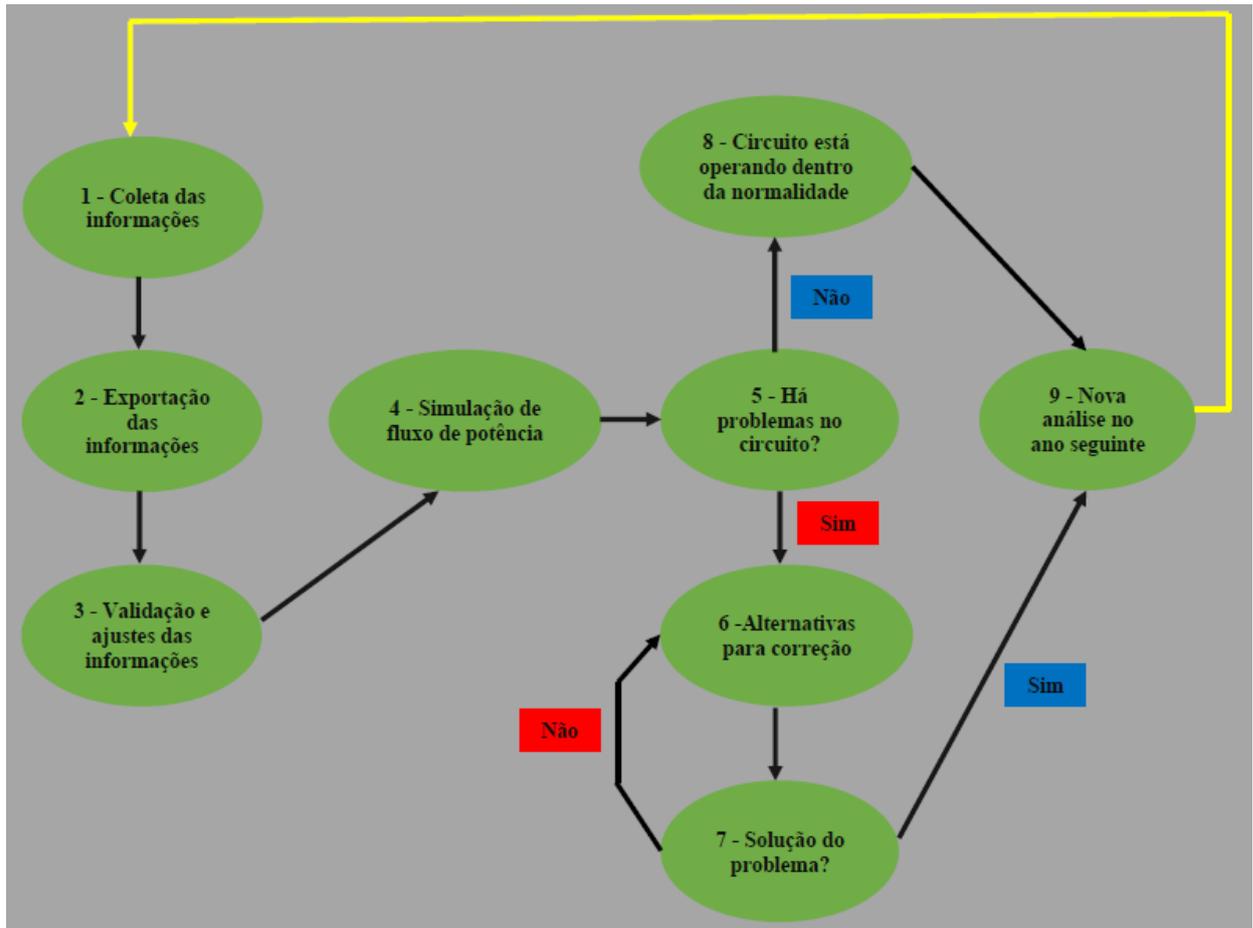
3 METODOLOGIA

Este estudo de caso é baseado na análise dos níveis de tensão de um dos alimentadores que realizam a distribuição de energia elétrica da empresa Cerfox. Para isso, foi elaborada esta metodologia para o estudo de caso, se baseando na situação atual do sistema, identificando e diagnosticando possíveis irregularidades nos níveis de tensão em diversos patamares horários, com a análise de alternativas técnicas para adequação da rede sob estudo.

Diante disso, havendo alguma violação dos níveis de tensão, apontar alternativas para correção, considerando atender os mínimos aspectos econômico e técnico que a Cerfox trabalha.

Na Figura 36, podemos ver o diagrama de blocos que identifica as etapas que foram seguidas e aplicadas na metodologia deste estudo.

Figura 36 - Diagrama de blocos do desenvolvimento



Fonte: Autor (2020).

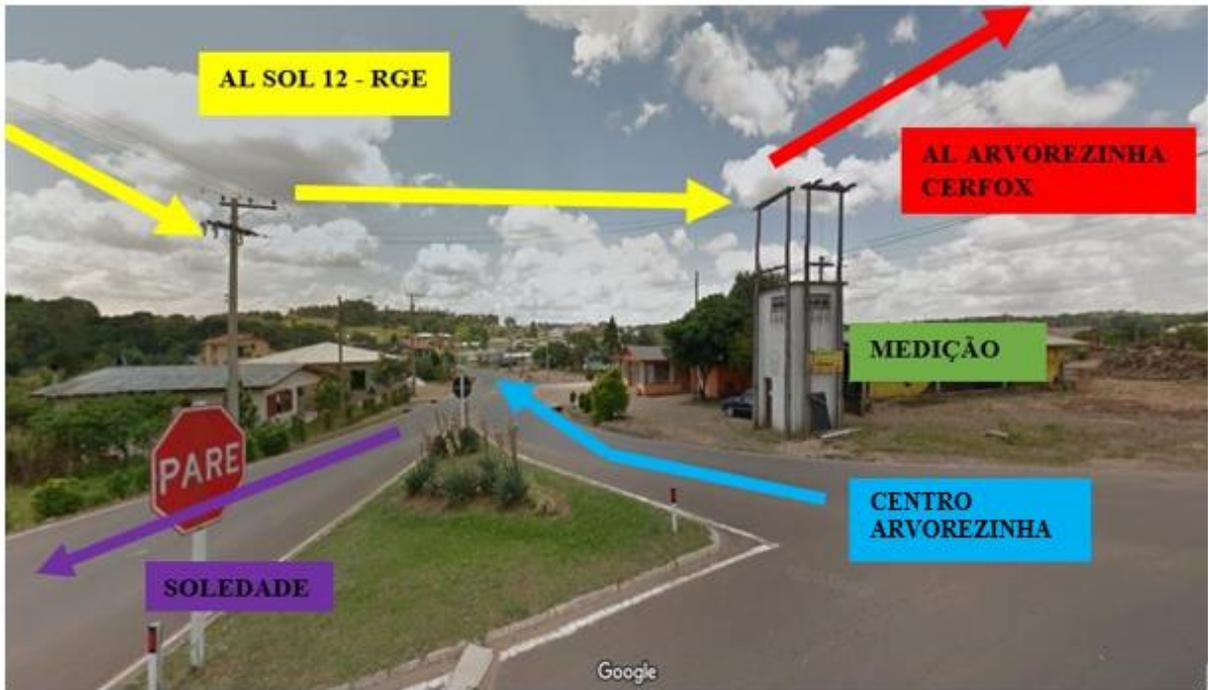
3.1 Coleta das informações do alimentador em estudo

Localizado no município de Arvorezinha – RS, o Alimentador denominado AL ARVOREZINHA atende os perímetros rurais das cidades de Arvorezinha, Itapuca, Soledade e Nova Alvorada e todo o perímetro urbano do município de Itapuca e uma parte de Arvorezinha.

A Figura 37 mostra a subestação com medição indireta em média tensão da Cerfox atendida pelo alimentador SOL-12, oriundo da subestação Soledade na tensão 23,1 kV.

A extensão deste alimentador até a medição é em torno de 27 km na configuração trifásico com condutores de bitola 1/0 CAA. Para atendimento a este ponto de medição há opção de manobra com o alimentador GPR-22 da subestação de Guaporé distante uns 25 km, também pertencente a RGE.

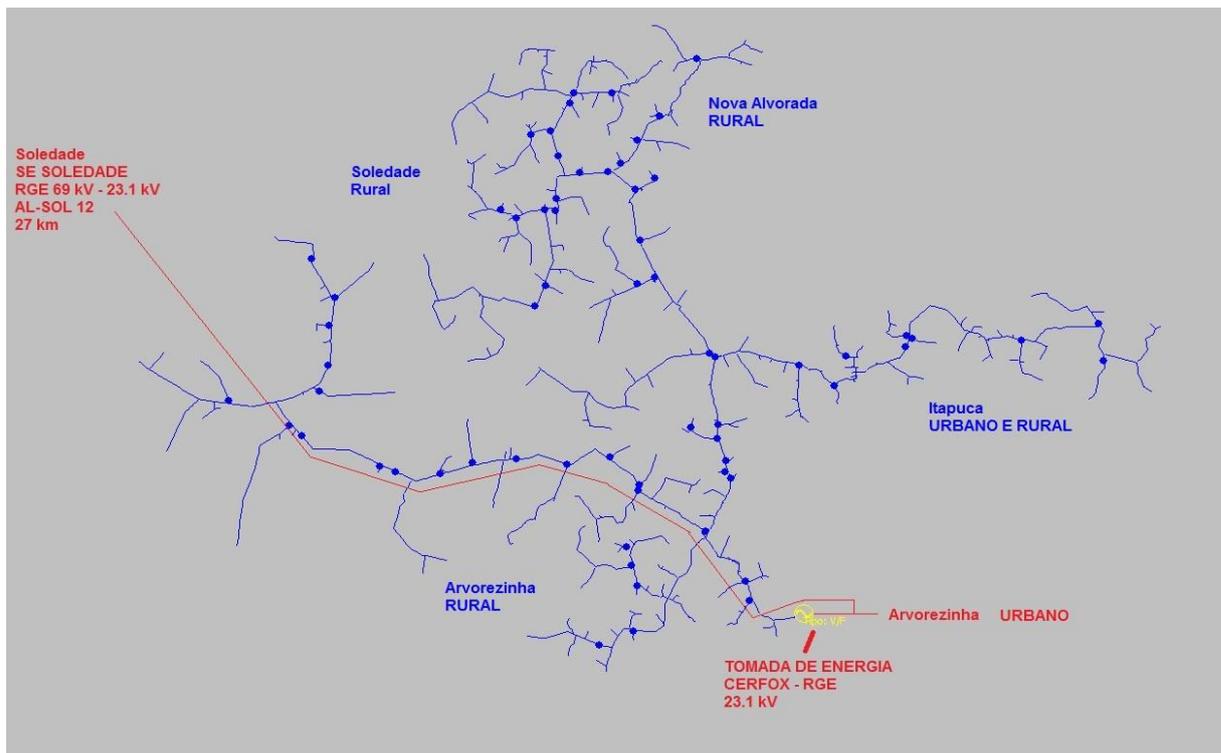
Figura 37 - Localização do ponto de conexão entre alimentadores da CERFOX e RGE



Fonte: *Google Street View* – Adaptado pelo autor (2020).

Após a medição indireta em MT, o alimentador Arvorezinha em rede trifásica com condutores de bitola 4 CAA, operando na classe de tensão de 23.1 kV

Figura 38 - Unifilar do alimentador Arvorezinha com as áreas de atuação



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Na Figura 38, temos o esquemático unifilar do alimentador Arvorezinha e do Alimentador da RGE que faz o atendimento, também podemos identificar que o AL é radial simples, pois não possui a possibilidade de efetuar manobra a partir de fonte secundária de energia. Por este fator e por ser predominante rural, leva estes tipos de redes a apresentarem problemas de níveis de tensão.

A Tabela 4 contém alguns dados do alimentador em estudo.

Tabela 4 - Dados do alimentador Arvorezinha

Tipo	Quantidade
Monofásica	150.89 km
Bifásica	45.36 km
Trifásica	115.24 km
Equipamentos transformadores	
Tipo	Quantidade
Monofásico	312 peças
Bifásico	27 peças
Trifásico	72 peças
Consumidores	
Tipo	Quantidade
Residencial	266 unidades
Comercial	72 unidades
Industrial	11 unidades
Rural	1115 unidades
Poderes públicos	41 unidades

Fonte: *Software* MIG (2020).

Como podemos ver na Tabela 4, o alimentador possui longos trechos monofásicos e por possuir maior carregamento nestes ramais, pode contribuir para um desregulamento de tensão nas fases. Atualmente este circuito possui cerca de 400 equipamentos transformadores nas diversas configurações, somando um total de 9,9 MVA de potência instalada.

Por ter predominância em área rural, possui maior percentual de unidades consumidores do tipo rural, espalhadas por todo o alimentador.

3.2 Exportação dos dados

A exportação dos dados do sistema em estudo se deu através de um exportador de dados disponibilizado pela Useall, empresa que presta serviço de gestão para a Cerfox, baseada nas normas da ANEEL.

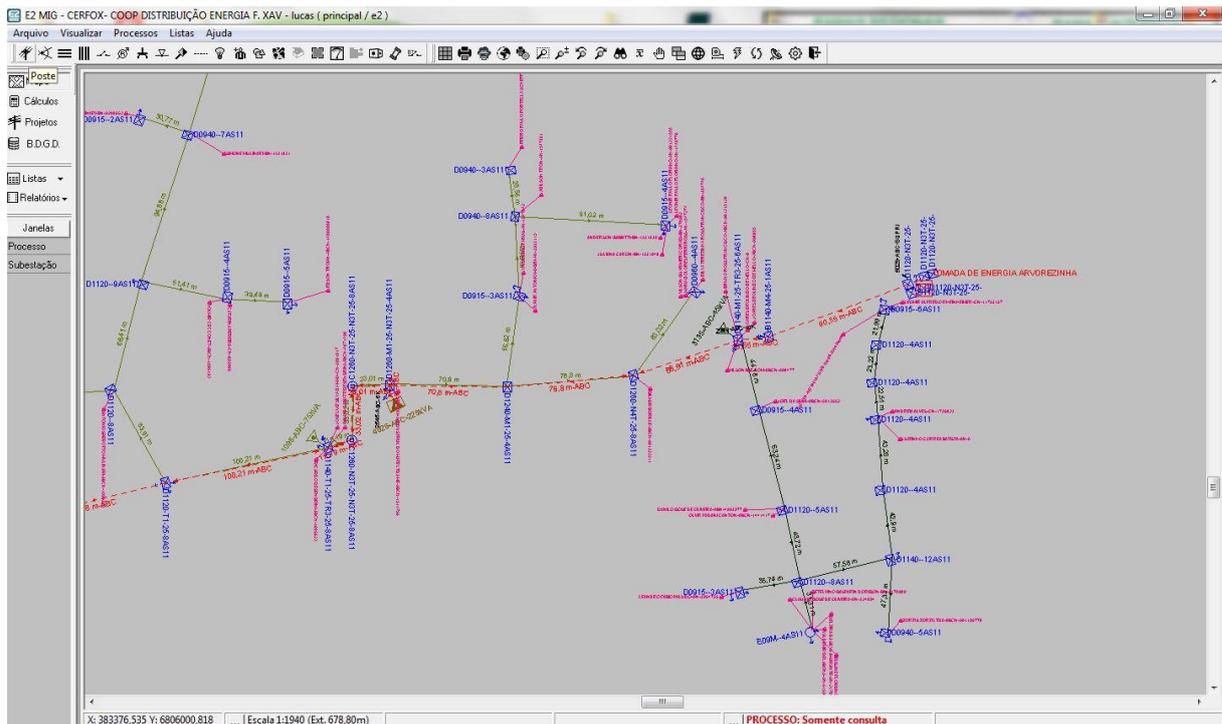
O MIG é uma ferramenta de gerenciamento e cadastro dos ativos de distribuição de energia em BT e MT, que atende todas as normas do setor elétrico brasileiro, fazendo com que

seja possível realizar o cadastro de inúmeras informações de todos os componentes que fazem parte do setor de distribuição de energia.

Este sistema contempla todos os ativos da distribuição sendo possível realizar seu cadastro com as informações pertinentes de cada componente, desde informações de data de fabricação, implantação até seu georreferenciamento, possibilitando a gerência e monitoramento de todos os circuitos cadastrados na área de atuação da Cerfox.

Na Figura 39, temos o mapa georreferenciamento da tomada de energia em média tensão que se tem início o alimentador arvorezinha e como é possível ver, o *software* possibilita além do cadastro e gerenciamento dos ativos, a realização de cálculos e projetos nos circuitos, auxiliando no planejamento que a distribuidora precisa manter para fornecer serviços de qualidade e dentro das normas estabelecidas pela ANEEL.

Figura 39 - Programa MIG com imagem na tela da tomada de energia em estudo



Fonte: *Software* MIG (2020).

3.3 Validação das informações

Nesta etapa foi realizada apenas uma validação das informações exportadas do MIG, conferindo se as diversas informações referentes aos componentes da rede, estavam de acordo com o sistema.

Como este estudo é realizado anualmente, e necessário manter a base de dados sempre atualizada, com isso, é possível ter uma simulação real do sistema em análise.

3.4 Configuração do SinapGRID

Para realizar as simulações no circuito alimentador escolhido foi utilizado o *software* SinapGRID, utilizado pela Cerfox para fazer as análises e estudos de planejamentos da distribuição. Como comentado anteriormente, o sistema em estudo foi exportado do MIG, sendo carregando no SinapGRID, através da criação de uma base de estudo onde foi necessário a realização de algumas configurações.

Para elaboração deste estudo, os patamares horários para fluxo de potência foram configurados conforme a Tabela 5.

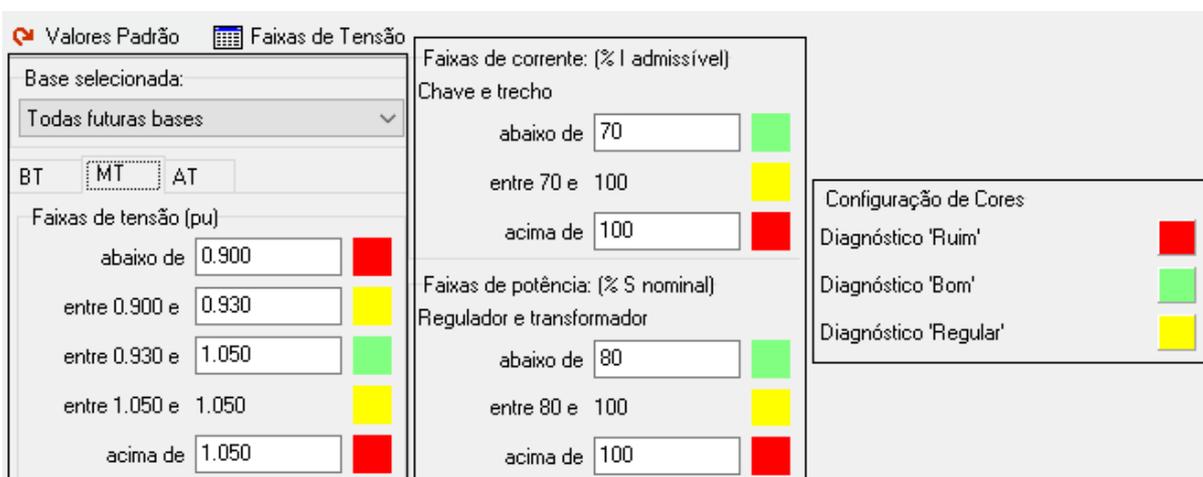
Tabela 5 - Patamares horários para fluxo de potência

Patamar	Hora inicial	Hora final	Hora de referência
Madrugada	01:00	07:00	05:00
Manhã	07:00	13:00	10:00
Tarde	13:00	19:00	17:00
Noite	19:00	01:00	20:00

Fonte: Autor (2020).

Para o diagnóstico do fluxo de potência que expressa através de cores como as barras estão se comportando para cada patamar, foi deixado padrão do sistema, que corresponde os valores do módulo 8 do PRODIST.

Figura 40 - Configuração do diagnóstico do fluxo de potência



Fonte: *Software* SinapGRID (2020).

Conforme a Figura 40, esta ferramenta possibilita através de cores, identificar como está se comportando os componentes do alimentador para cada patamar horário, sendo denominados como ruim, bom e regular, fazendo alusão aos limites da norma que estipula como crítico, adequado e precário, respectivamente.

As demais configurações para o fluxo de potência utilizaram a modelagem da rede equilibrada, utilizando o método de *Newton-Raphson* para fluxo de potência e o modelo de carga específico para cada unidade consumidora.

3.5 Identificação de problemas e correções

Realizada os devidos ajustes nas informações e configurações do *software*, é iniciada as simulações do circuito em estudo, realizando primeiramente uma análise atual do sistema, identificando possíveis problemas.

Se caso houver a ocorrência de problemas no sistema é iniciada uma série de aplicações para ajustes dos defeitos. A melhor que corresponder de maneira técnica e mínima financeira, dentre as elaboradas, é escolhida e entrará no planejamento de obras da empresa.

Esta parte do estudo está na próxima seção deste trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Esta parte do estudo tem por objetivo realizar o diagnóstico das condições de operação existentes para atendimento das cargas atuais do alimentador Arvorezinha, levando em consideração os patamares de tensão, identificando qual o período em que o circuito apresenta os piores níveis de tensão.

Este circuito foi escolhido para servir como base de estudo para os demais alimentadores da Cerfox e por não apresentar boas condições para um nível de adequado de tensão, conforme impõe o módulo 8 do PRODIST.

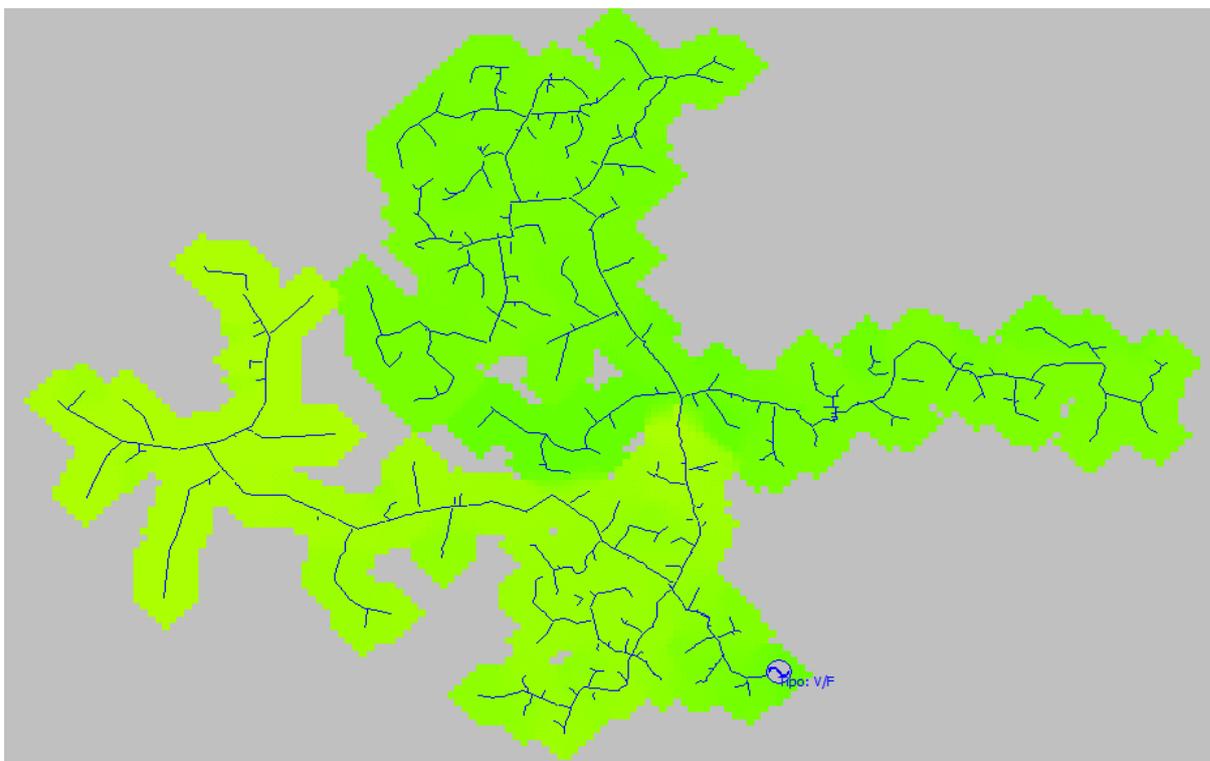
4.1 Análise da situação atual

Conforme a configuração dos patamares para o fluxo de potência, realizada no SinapGRID, foi feita a análise do comportamento da tensão em todo o trecho do alimentador Arvorezinha. O patamar que apresentar os piores níveis de tensão, será utilizado como base para apresentação das propostas de melhoria para este sistema.

4.1.1 Patamar madrugada – situação atual

Para o patamar horário denominado madrugada, o *software* considera o intervalo da 01:00 às 07:00 horas, realizando a simulação do fluxo de potência e cálculos para este período, tomando como referência as 05:00 horas, onde identifica este horário como o de maior carregamento do sistema para este patamar. A representação dos níveis de tensão para este patamar pode ser vista na Figura 41.

Figura 41 - Simulação para o patamar madrugada - situação atual



Fonte: Software SinapGRID (2020).

Como podemos na Figura 41, os níveis de tensão estão em situação adequada em todo alimentador, conforme configuração realizada no *software*, respeitando os limites de 0.93 pu a 1.05 pu, estipulados pelo módulo 8 do PRODIST.

Figura 42 – Gráfico da tensão x distância para o patamar madrugada – situação atual



Fonte: Software SinapGRID (2020).

Ao observar a Figura 42, é possível identificar que ao longo do alimentador, os níveis de tensão estão em situação adequada, pois em nenhum trecho neste período, os níveis ficam abaixo de 0.93 pu.

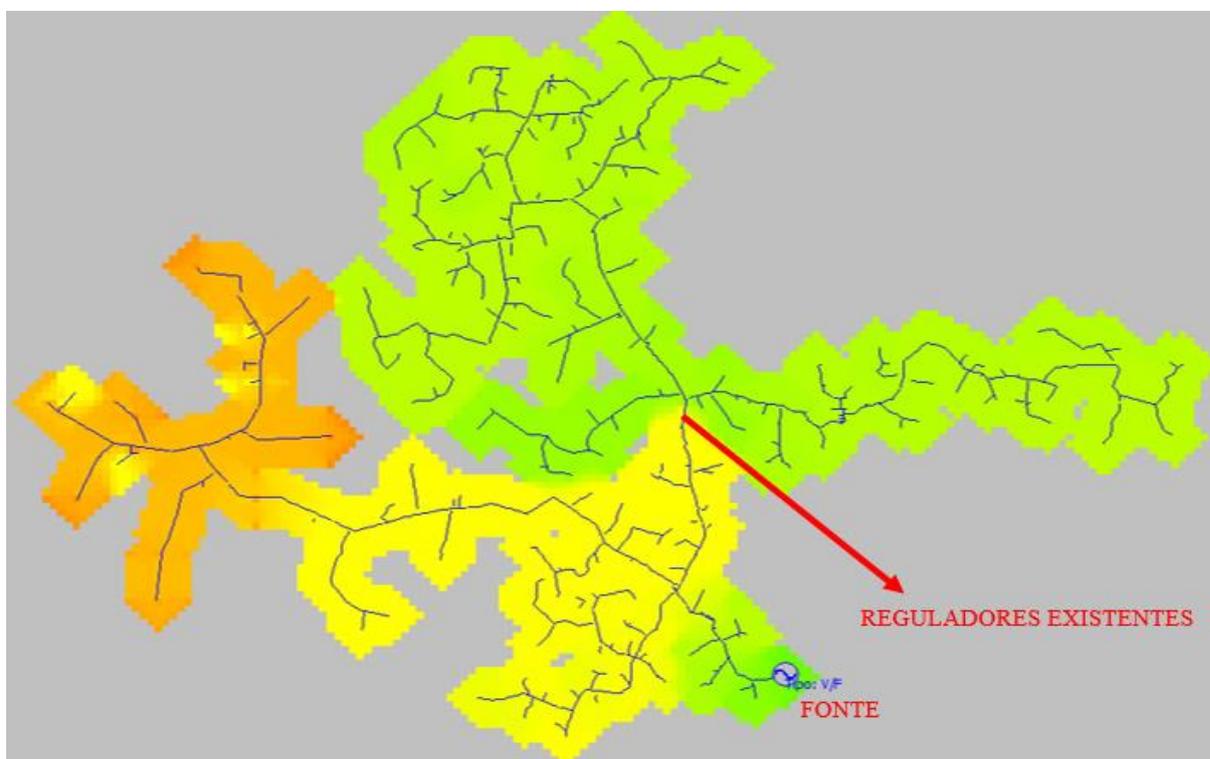
Este gráfico foi configurado para apresentar os níveis de tensão entre a fonte e a menor tensão registrada entre as barras. Esta configuração circula em todo alimentador apresentado a o comportamento da tensão, identificando qual ramal está com a menor tensão registrada.

4.1.2 Patamar manhã – situação atual

Para o patamar horário denominado manhã, o *software* considera o intervalo da 07:00 às 13:00 horas, sendo feita a simulação e cálculos do fluxo de potência para esse período, utilizando as 10:00 horas como referência, onde identifica este horário como o de maior carregamento do sistema para este patamar.

Na Figura 43, temos a representação dos níveis de tensão para este patamar.

Figura 43 - Simulação para o patamar manhã - situação atual



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Como podemos ver a demonstração na Figura 43, os níveis de tensão estão em diferentes patamares, iniciado na fonte com cor verde sinalizando tensão adequada e alterando a cor para amarelo, onde está em tensão precária até que em certo ponto muda para patamar precário inferior, o que está sendo representado pela cor vermelha.

Podemos identificar neste patamar horário que a banca de reguladores existentes está atuando de maneira corretiva nos níveis de tensão a sua jusante, porém, a montante do equipamento, principalmente a região oeste do mapa, onde a tensão não está sendo regulada.

Figura 44 - Gráfico da tensão x distância para o patamar manhã – rede atual



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Ao observar a Figura 44, identifica-se que ao decorrer do alimentador, os níveis de tensão estão gradativamente alterando seus patamares, sendo que, permanece em níveis adequados até cerca de 5,5 km da fonte, onde entra no nível precário.

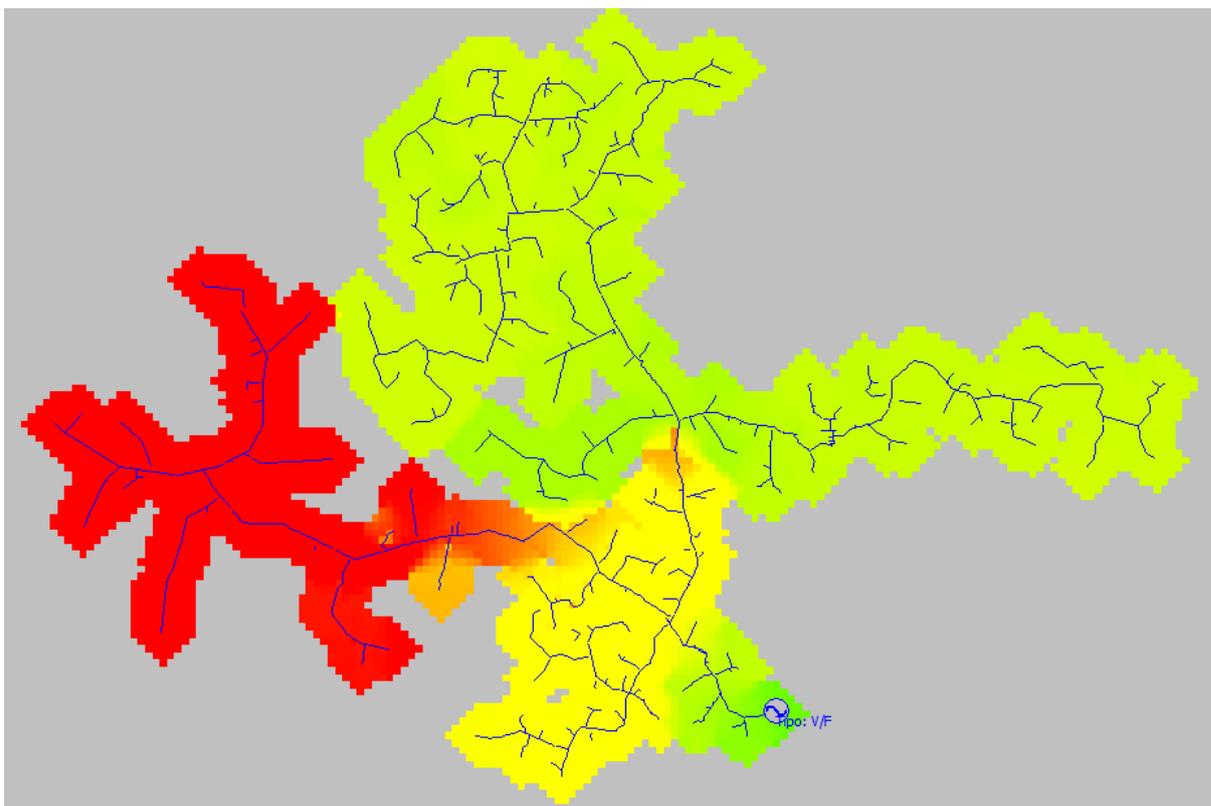
O patamar precário se estende até cerca de 22 km para região oeste, entrando no município de Soledade, onde começa a região em vermelho, que sinaliza tensões em regime crítico inferior, se estendendo até seu fim.

4.1.3 Patamar tarde – situação atual

Para o patamar horário denominado tarde, o *software* considera o intervalo da 13:00 às 19:00 horas, sendo realizadas as simulações e cálculos do fluxo de potência para este período, tomando como referência as 17:00 horas, onde identifica este horário como o de maior carregamento do sistema para este patamar.

A representação dos níveis de tensão para este patamar pode ser vista na Figura 45.

Figura 45 - Simulação para o patamar tarde - situação atual



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Na Figura 45 é possível identificar que a situação dos níveis de tensão se agrava ainda mais em relação ao patamar da manhã, isso se dá por ser conspurado o período de maior consumo para este alimentador, devido as características das cargas existentes.

Para este comportamento de tensão, os equipamentos já instalados ainda conseguem corrigir para níveis adequados o seu circuito jusante, porém, conforme no período anterior já existia regiões com regime crítico inferior, para o patamar da tarde, esta região aumenta, afetando ainda mais trechos do alimentador.

Figura 46 - Gráfico de tensão x distância para o patamar tarde – situação atual



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Conforme observamos no período da manhã já existia violação dos níveis de tensão em uma região considerável do alimentador, o que se agravou no patamar da tarde, aumentando a região por tensão precária inferior.

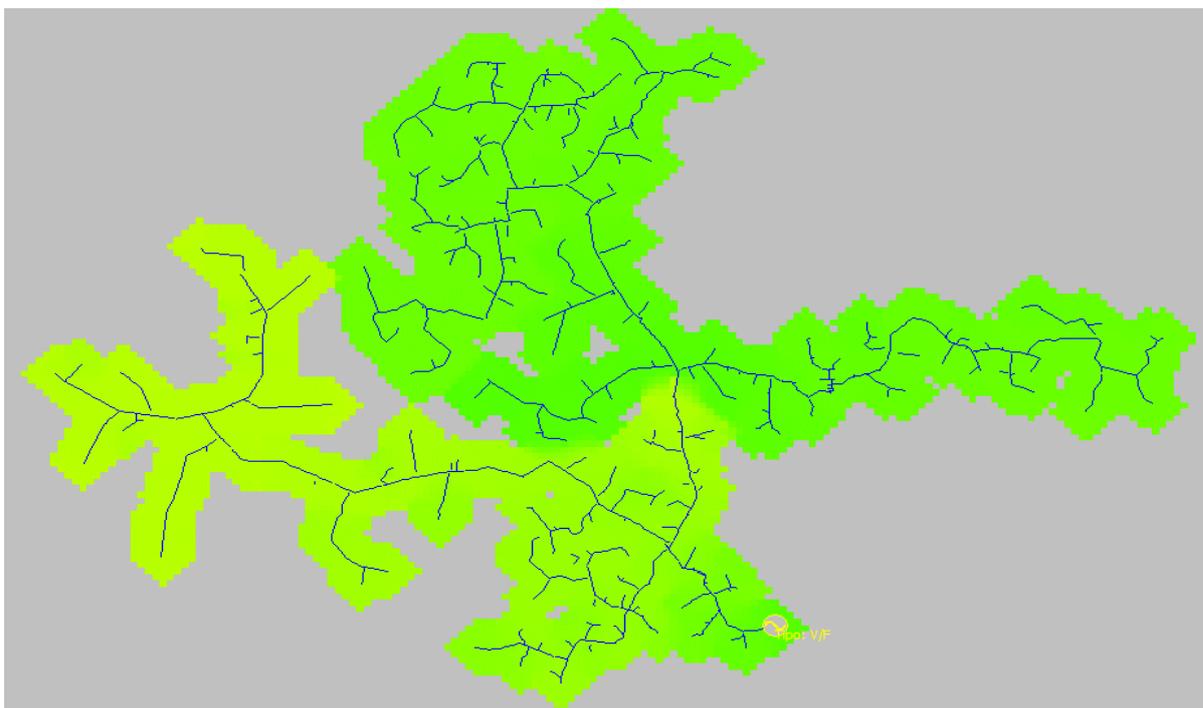
Na Figura 46 identifica – se que acerca do km 12, os níveis de tensão acabam entrando no patamar precário inferior e percorre desta maneira até o final do alimentador. Como é visto da Figura 3, a tonalidade da cor vermelha fica mais forte, sinalizando o agravamento da situação, ficando com níveis abaixo de 0.90 pu.

4.1.4 Patamar noite – situação atual

Para o patamar horário denominado noite, o *software* considera o intervalo da 19:00 às 01:00 horas, sendo feita a simulação e cálculos do fluxo de potência para este período, tomando como referência as 20:00 horas, onde identifica este horário como o de maior carregamento do sistema para este patamar.

A representação dos níveis de tensão para este patamar pode ser vista na Figura 47.

Figura 47 - Simulação para o patamar noite - situação atual



Fonte: *Software SinapGRID (2020)*.

Na Figura 47 podemos identificar que no período da noite os níveis de tensão sofrem uma melhora, onde que no período da tarde existia uma tonalidade vermelha, neste período não há mais, porém, ainda é possível identificar que algumas barras na região oeste estão indicando uma tonalidade saindo do verde para amarelo.

Figura 48 - Gráfico da tensão x distância para o patamar noite – situação atual



Fonte: *Software SinapGRID (2020)*.

Ao observar a Figura 48, é possível identificar que no decorrer do alimentador, os níveis de tensão sem encontram situação adequada, pois em nenhum trecho neste período, os níveis ficam abaixo de 0.93 pu. Este comportamento de tensão é similar ao do período da madrugada, identificando que a noite, o carregamento do sistema vai reduzindo ao longo que a noite vai se aproximando do período da madrugada.

4.2 Alternativas para correção dos níveis de tensão

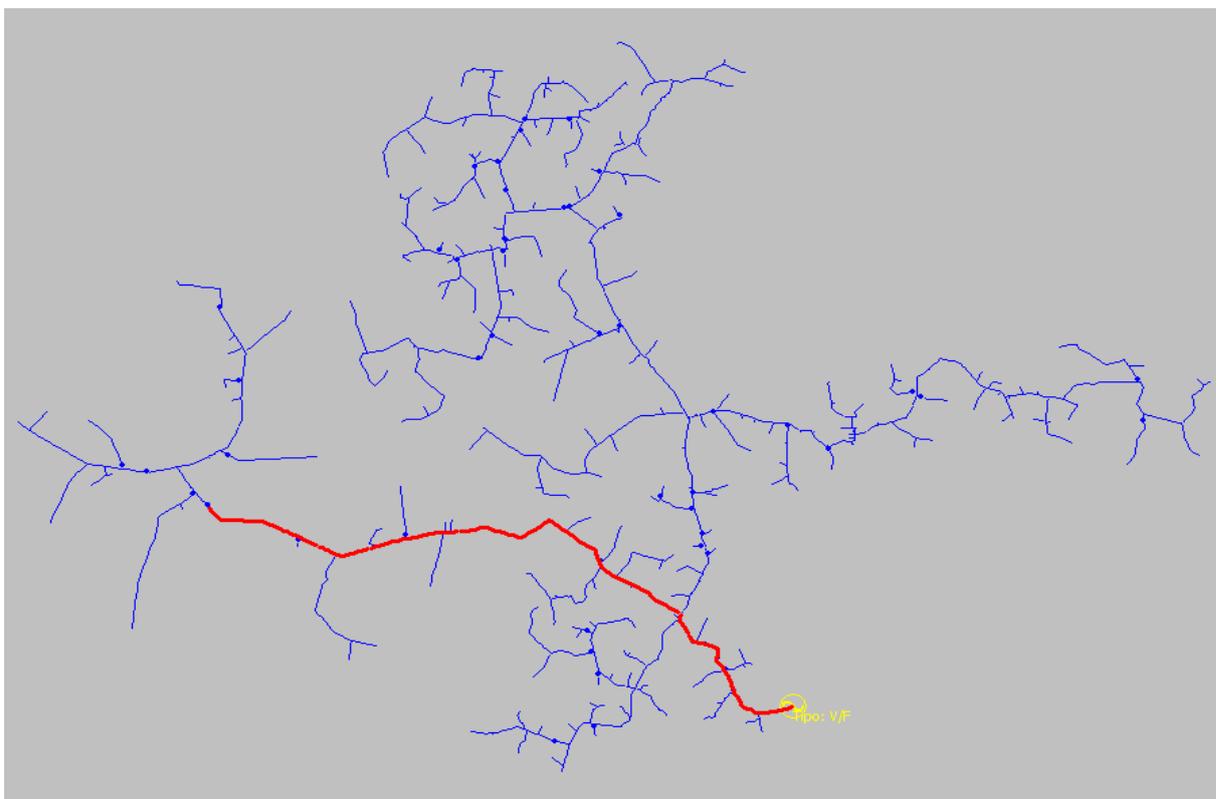
Ao identificar anteriormente a ocorrência de violação dos níveis de tensão em alguns trechos do AL ARV, se faz necessário realizar obras de melhorias que venham regular a tensão, deixando em regime adequado conforme a legislação, evitando a empresa de recebimento de multas e pagamento de compensações aos consumidores, e acima de tudo, levar a energia com qualidade a todos os associados.

4.2.1 Recondutoramento

Nesta primeira alternativa, foi realizado a simulação e estudo para recondutoramento dos trechos afetados pela queda de tensão, onde foi identificado na análise atual anterior e considerando o patamar da tarde, como o mais afetado, sendo necessário para esta alternativa, um recondutoramento de cerca de 20 km de rede.

Conforme podemos ver na Figura 49, orientado pela fonte do alimentador, aproximadamente em 3 km de rede é identificado que o sistema deixa de apresentar situação adequada, piorando este cenário até seus extremos, totalizando cerca de 23,5 km de rede trifásica em média tensão com condutores de bitola 4 CAA.

Figura 49 -Trecho em destaque para recondutoramento



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Temos destacados em vermelho o trecho do alimentador a ser recondutorado, iniciando na fonte do circuito e se estendendo até cerca de 23,5 km de rede trifásica em MT. A sugestão desta análise é utilizar uma configuração onde se aplica condutores que a Cerfox tem como utilização padrão, que neste caso seria o condutor 1/0 CAA.

Na Tabela 6 temos as informações inerentes aos condutores utilizados pela empresa e necessários para cálculos de queda de tensão.

Tabela 6 - Características técnicas condutores CAA

Bitola (AWG)	Ampacidade (A)	Massa (kg/km)	Diâmetro (mm)	Resistência elétrica (Ohm/km)	Reatância indutiva (Ohm/km)
4	140	85,6	6,36	1,712	0,4537
1/0	240	216,2	10,11	0,709	0,4186

Fonte: Autor (2020).

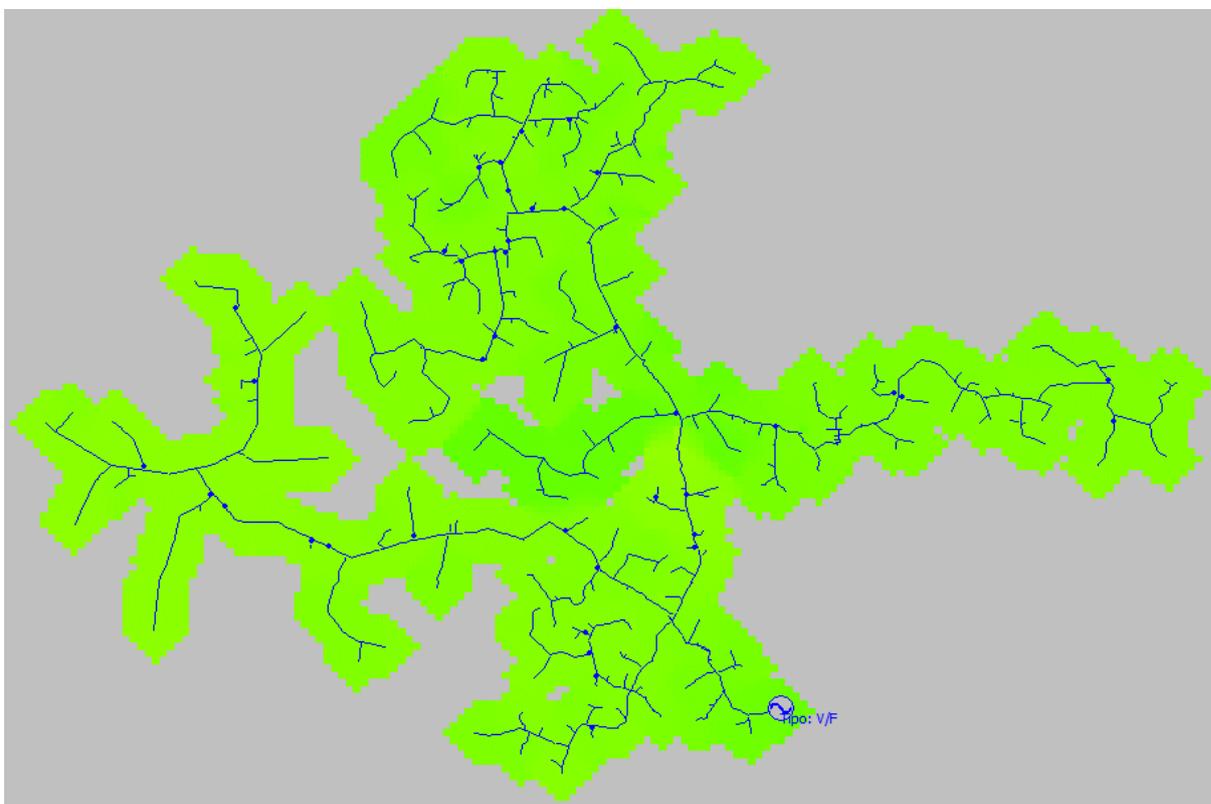
É comumente utilizado estes tipos de condutores em redes de distribuição pelas boas propriedades elétricas que possuem, aliados um bom valor de compra e baixo preço, se comparados aos condutores de cobre.

Para esta alternativa, a seguir será considerado a análise apenas do trecho reconduzido, pois o restante do circuito que é abrangido pelo regulador existente, se mantém com o mesmo comportamento para todos os patamares.

4.2.1.1 Patamar madrugada – 1º simulação

Na situação atual, este patamar não apresentava violação dos níveis da tensão em nenhuma parte do alimentador e este comportamento se manteve para esta simulação.

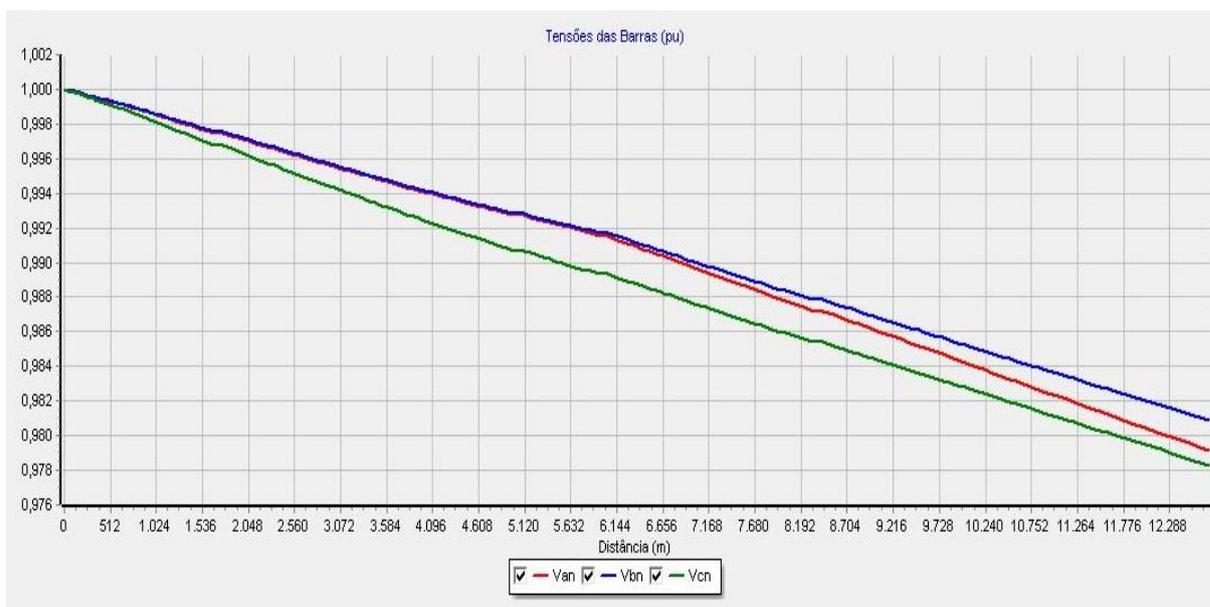
Figura 50 - Simulação para o patamar madrugada – 1º simulação



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Conforme a Figura 50, com a cor verde em todo alimentador, podemos identificar que a tensão permanece adequada em todo alimentador neste intervalo horário. Outro ponto, é que para este período, o sistema tem carregamento baixa, o que contribui para a tensão se manter adequada.

Figura 51 - Gráfico da tensão x distância para o patamar madrugada – 1º simulação



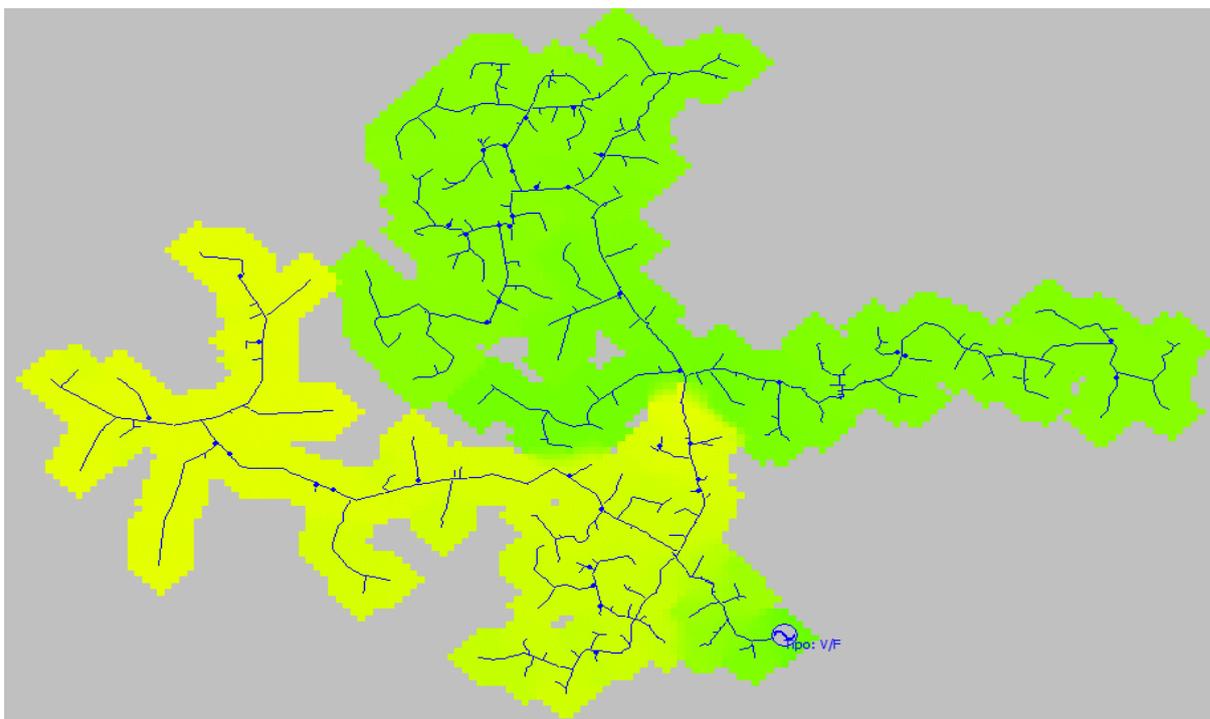
Fonte: Software SinapGRID (2020).

Analisando a Figura 51, é possível identificar que com condutor 1/0 os níveis obtêm uma melhora não muito significativa nos níveis de tensão, porém como comentado anteriormente, este patamar não apresentava problemas.

4.2.1.2 Patamar manhã – 1º simulação

Na situação atual neste patamar, o circuito começava a apresentar os defeitos na tensão, chegando alguns trechos apresentar níveis precários inferiores. O recondutoramento ocasionou uma melhora também para este patamar.

Figura 52 - Simulação para o patamar manhã – 1º simulação



Fonte: *Software SinapGRID (2020)*.

Conforme podemos ver na Figura 53, comparado ao da situação atual, há uma certo aumento nos níveis de tensão para este intervalo horário, porém de maneira não satisfatória, fazendo com que o alimentador continue apresentando um grande trecho com tensões precárias.

Figura 53 - Gráfico da tensão x distância para o patamar manhã – 1º simulação

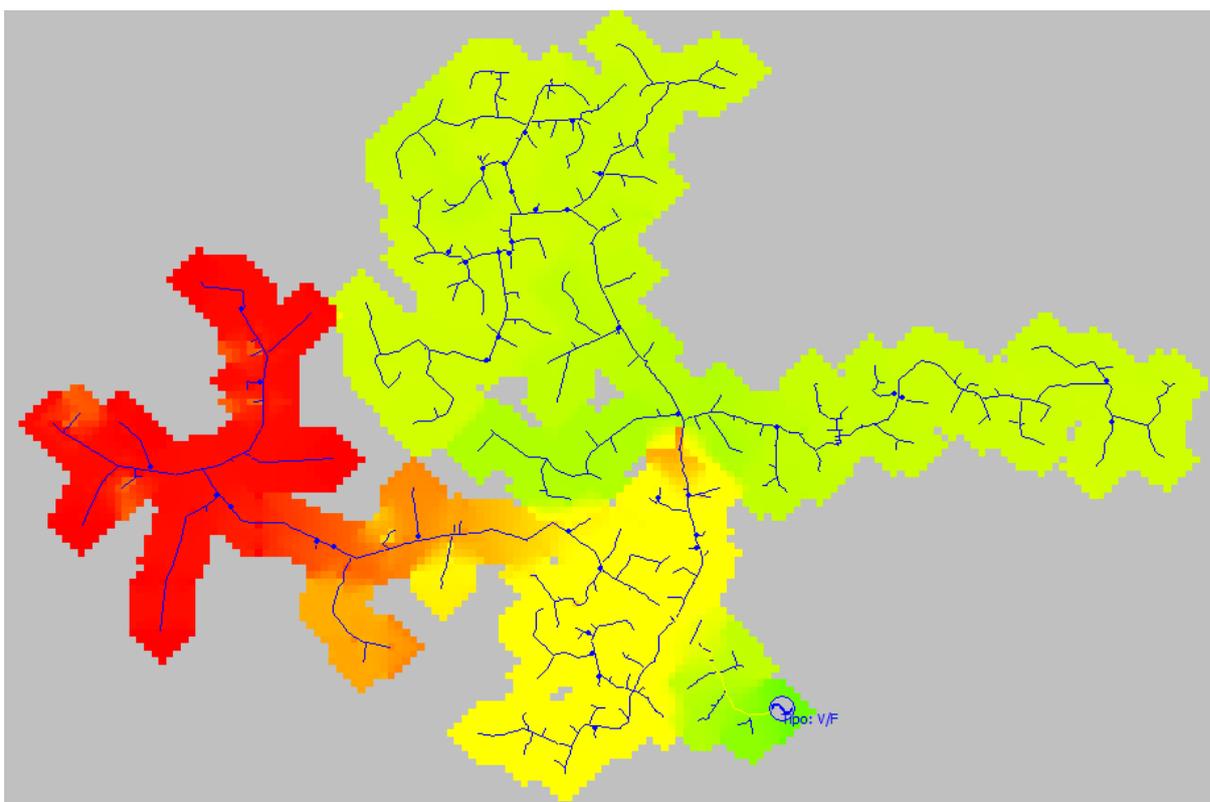


Fonte: *Software SinapGRID (2020)*.

4.2.1.3 Patamar tarde – 1º simulação

Considerado o pior patamar do alimentador, o horário da tarde é o que apresenta os piores níveis de tensão na situação atual do alimentador e conforme a Figura 54 é notável que há uma melhora na tensão, igualmente acontece nos outros patamares para esta alternativa.

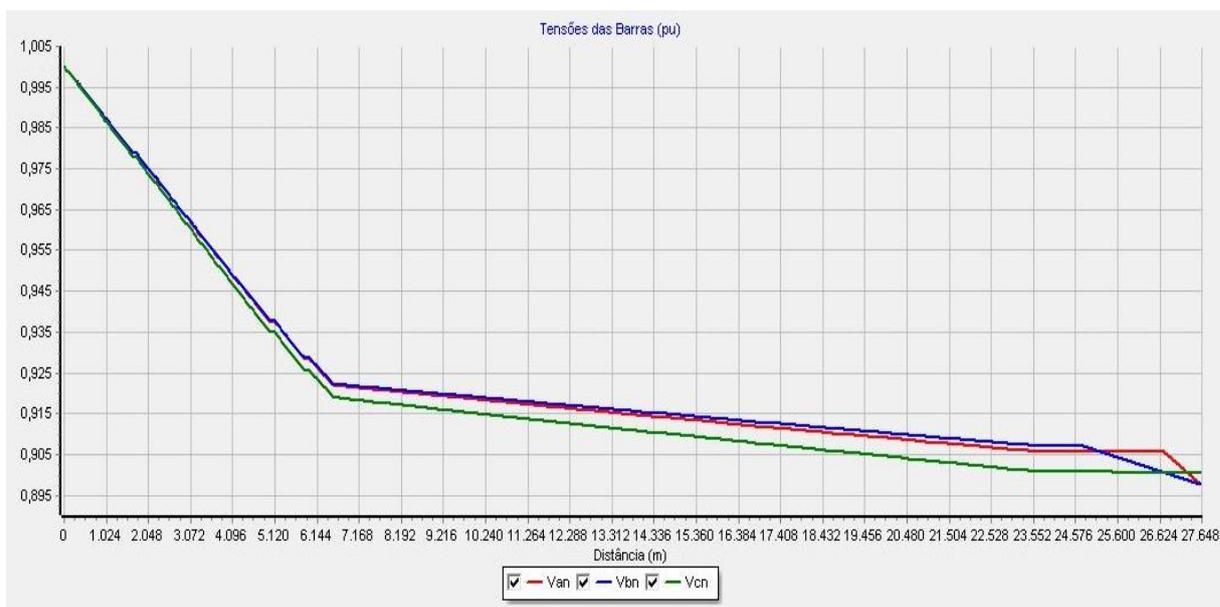
Figura 54 - Simulação para o patamar manhã – 1º simulação



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Porém esta melhora não faz com que ocorra uma adequação, porque o circuito mantém um comportamento de queda de tensão conforme vai se distanciando da fonte, fazendo com que grande trecho do sistema fique em tensão precária e crítica inferior.

Figura 55 – Gráfico de tensão x distância para o patamar manhã – 1º simulação



Fonte: Software SinapGRID (2020).

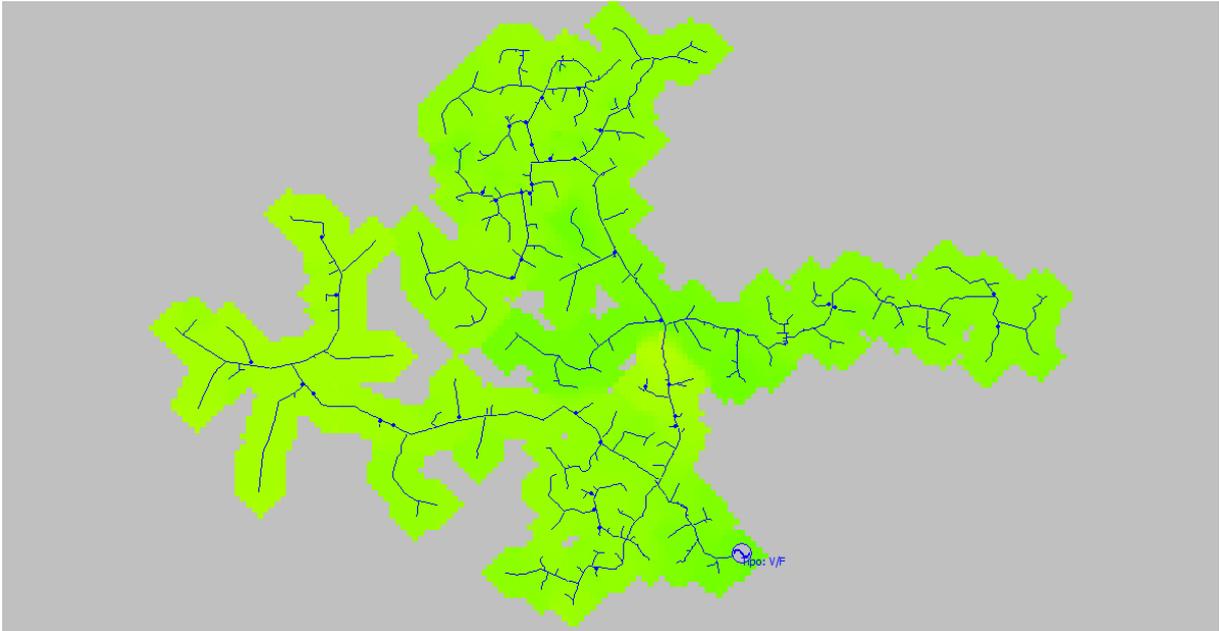
Conforme a Figura 55, ainda tem violação nos níveis de tensão para esta alternativa, o que identifica que não é a opção mais adequada para correção do problema.

O recondutoramento faz com que os trechos afetados por níveis críticos inferiores comecem com cerca de 15 km, realizando o ajuste para precário de aproximadamente 2 km, não sendo totalmente suficiente.

4.2.1.4 Patamar noite – 1ª simulação

Em relação a situação atual este patamar também apresenta uma melhora em todo seu sistema que não é considerada significativa e conforme a Figura 56, a coloração do alimentador, praticamente não altera para esta simulação.

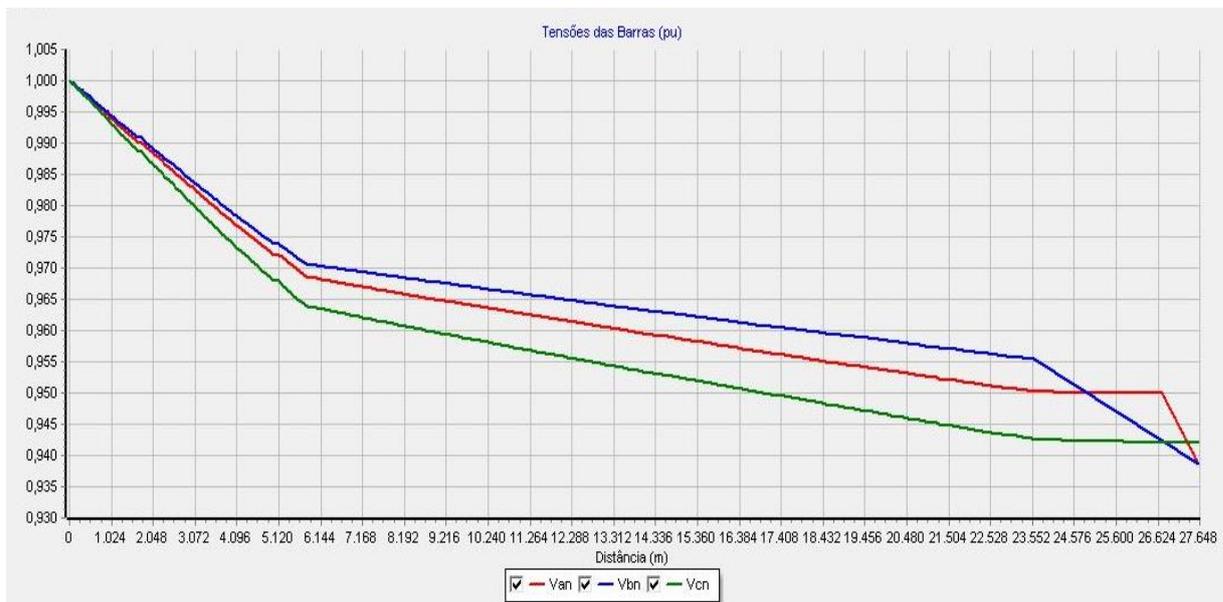
Figura 56 - Simulação para o patamar noite – 1º simulação



Fonte: Software SinapGRID (2020).

Igualmente para a Figura 57 ao comparar com a Figura 48, não é identificada uma alteração que possa ser significativa para esta alternativa, sendo que os níveis aumentam um pouco até o 5 km.

Figura 57 - Gráfico de tensão x distância para o patamar noite – 1º simulação



Fonte: Software SinapGRID (2020).

4.1.2 Instalação de equipamentos reguladores

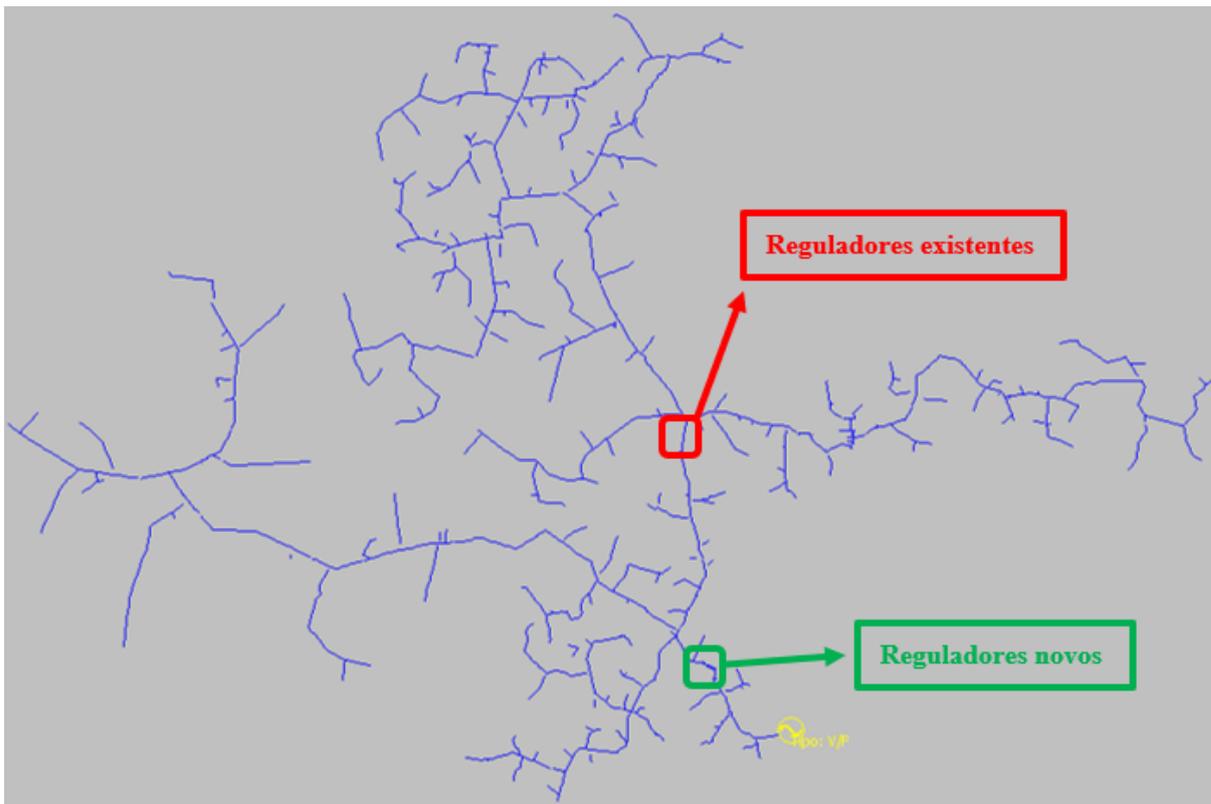
Nesta segunda alternativa, foi realizado a simulação e estudo de instalação de uma nova banca de reguladores, realizando o fluxo de potência para todos os patamares novamente.

Utilizando a ferramenta de alocação de regulador de tensão disponibilizada pelo *software* no seu módulo especial, que a partir da fonte, foi escolhido uma barra em que a tensão ainda estivesse em patamar adequado, para isso, foi escolhido 0.94 pu como tensão de referência para instalação destes novos equipamentos.

O motivo desta escolha se deu a partir deste ponto, a tensão começa a entrar em regime precário, aprofundando o problema até os extremos do circuito em sentido a região do interior de Soledade.

Diante disso, foi utilizado a ferramenta de alocação de regulador para circuitos primários radiais que faz parte dos módulos especiais do SINAPgrid, sendo configurada conforme equipamentos disponíveis em estoque da empresa e tensão alvo e desejada. A primeira escolhida de 0.94 pu conforme comentado anteriormente e a tensão alvo de 1.00 para correção a partir do ponto de instalação dos reguladores.

Figura 58 – Simulação para instalação de novos equipamentos



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Na Figura anterior, o *software* opta por manter os equipamentos existentes instalados na rede, acrescentando os equipamentos novos a cerca de 4 km da fonte, na rede tronco trifásica.

Novamente como comentado anteriormente, aproximadamente neste ponto a tensão começa a entrar em regime precário e por ser de fácil acesso, as margens da rodovia, este local é observado como o mais adequado para a nova instalação.

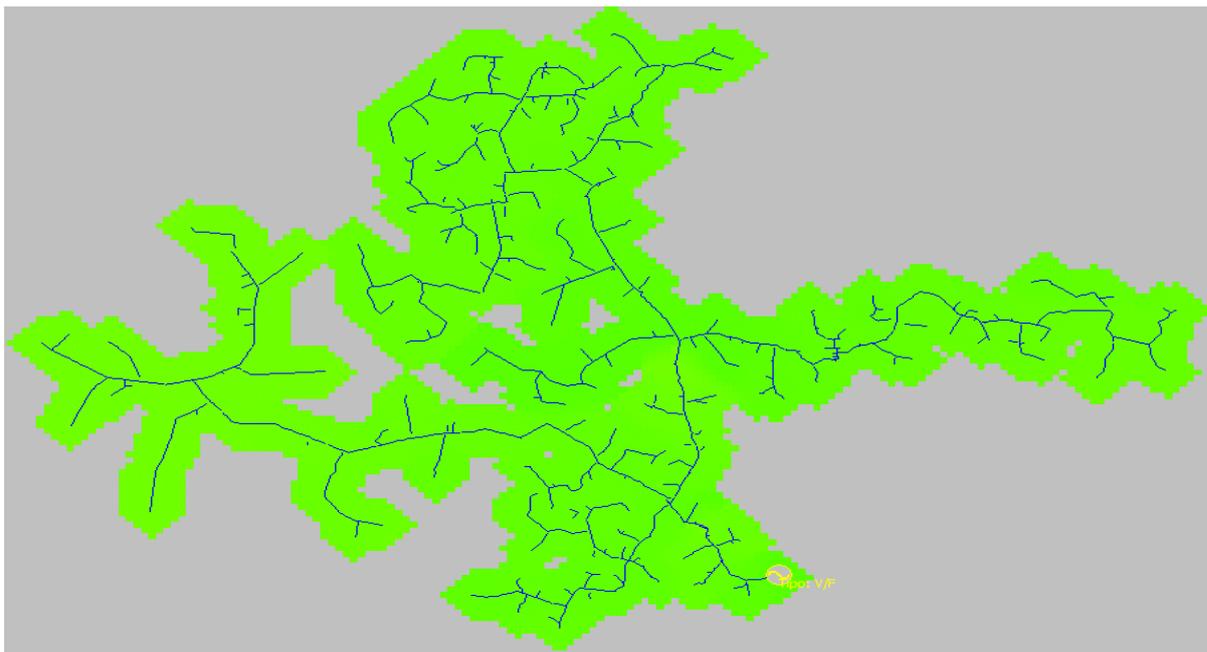
Pelo que se pode analisar na simulação atual, realizada anteriormente, os equipamentos existentes conseguem realizar o adequado ajuste da tensão ao seu jusante, mantendo todo o circuito com níveis adequados.

Conforme o departamento técnico da empresa, foi feita a análise respeitando a quantidade de equipamento em estoque da empresa, que no momento possui três equipamentos da marca Toshiba e modelo TBR 1000, com potência de 230 KVA.

4.1.2.1 Patamar madrugada – 2º simulação

Na situação atual, este patamar não apresentava violação dos níveis de tensão em nenhuma parte do sistema, e como na primeira simulação, se manteve para esta simulação.

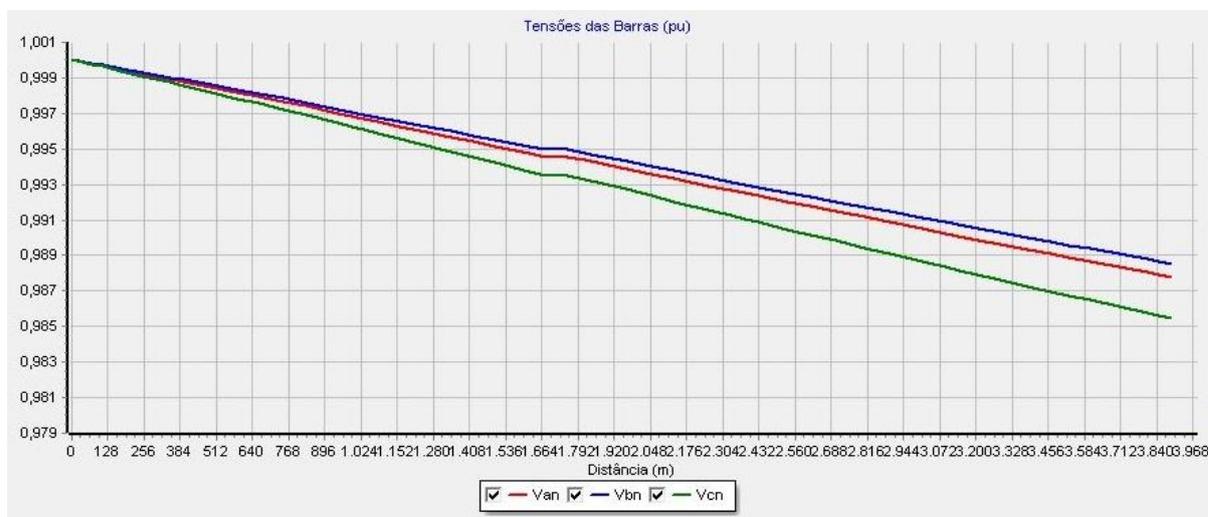
Figura 59 - Simulação para o patamar madrugada – 2º simulação



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Conforme podemos ver na Figura 59, a cor verde simboliza tensão adequada.

Figura 60 - Gráfico da tensão x distância para o patamar madrugada – 2º simulação

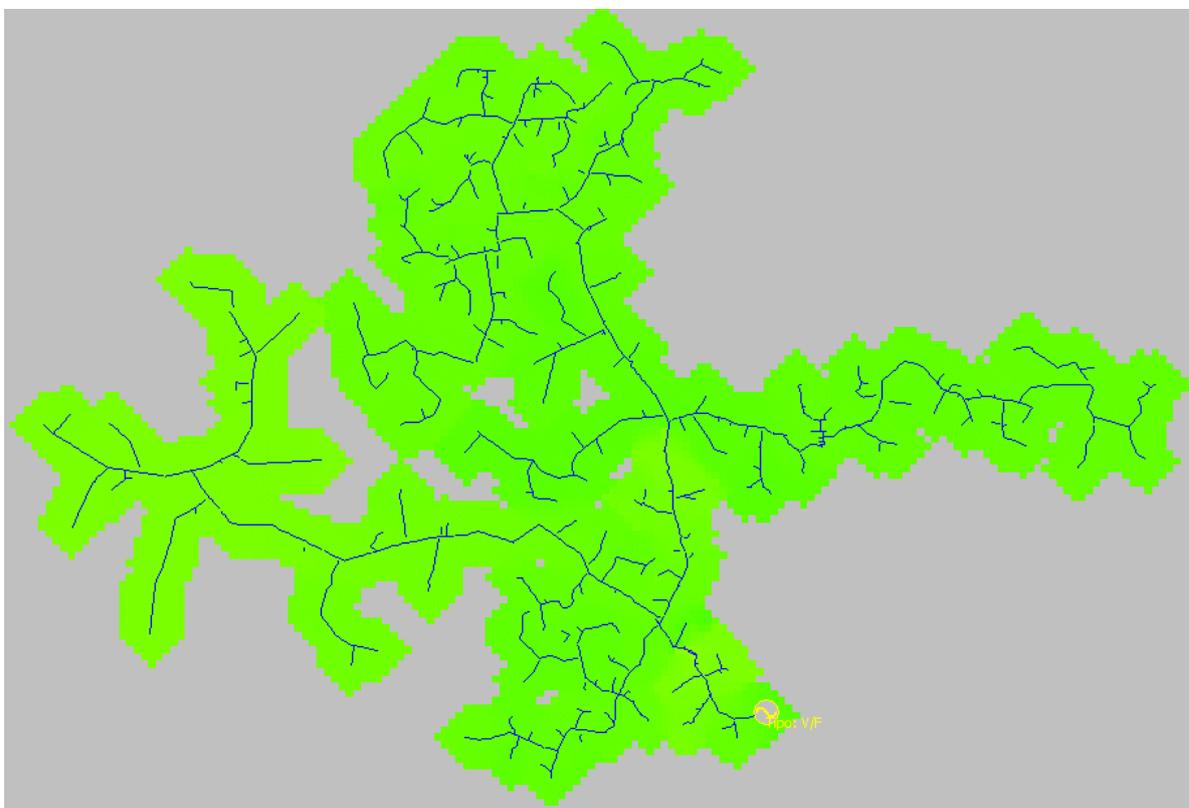


Conforme a Figura 60, é notável que em nenhum trecho a tensão viola os valores adequados, sendo que a faixa de oscilação é pequena e se mantém dentro da faixa adequada.

4.1.2.2 Patamar manhã – 2º simulação

Para este patamar na situação atual, era possível identificar que em alguns trechos já apresentavam leve violação dos níveis de tensão, sendo que a região que atendia o interior de Soledade apresentava o maior afundamento.

Figura 61 – Simulação para o patamar madrugada – 2º simulação



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Na Figura 61 novamente o *software* apresentou todo o circuito em coloração verde, representando que os novos equipamentos reguladores estão atuando de maneira correta na regulação nos pontos que havia queda níveis de tensão.

Figura 62 - Gráfico da tensão x distância para o patamar manhã – 2º simulação



Fonte: Software SinapGRID (2020).

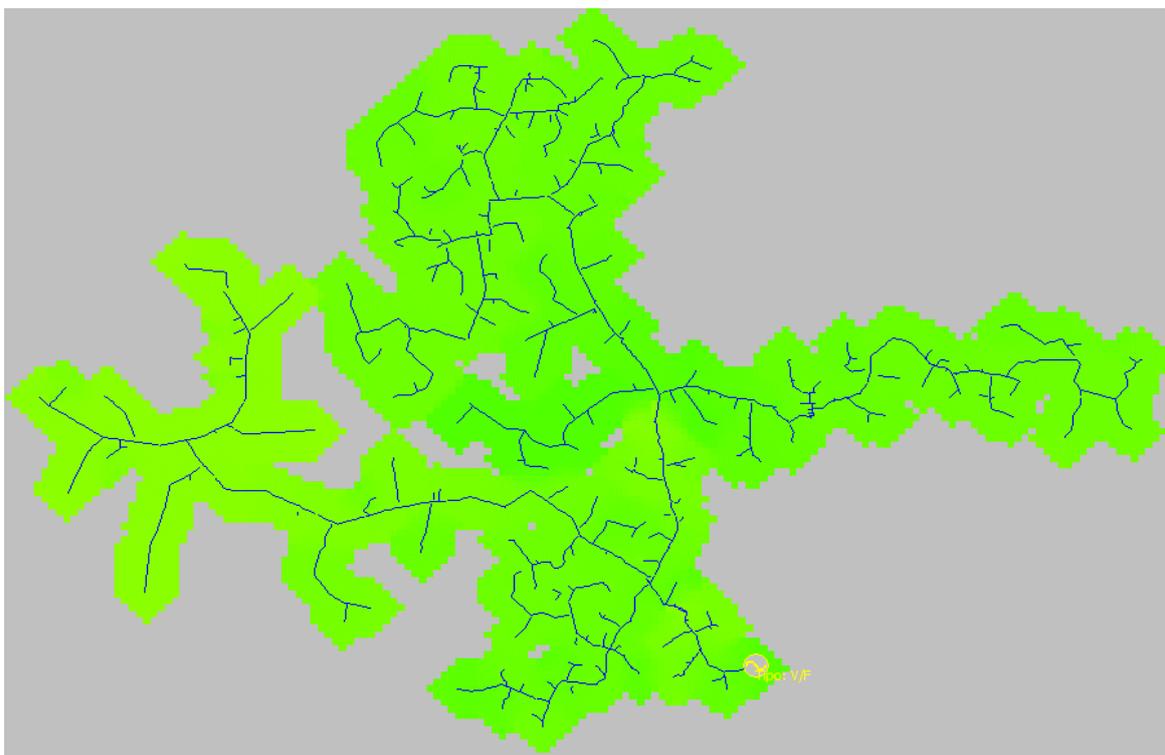
Para esta simulação como é também é possível ver na Figura 62, em nenhum ponto do circuito para este intervalo horário, a tensão violou os níveis adequados de operação.

4.1.2.3 Patamar tarde – 2º simulação

Considerado o pior cenário, o período horário da parte foi o patamar que apresentou maior violação dos níveis de tensão como também maior área atingida por este problema. Como foi possível ver na simulação considerando o circuito atual, as tensões chegaram a níveis críticos inferiores, alertando para um grande problema para a Cerfox.

Por esta característica apresentada durante a simulação do sistema atual, este patamar serviu como norte para escolha do melhor ponto para instalação dos novos equipamentos e após algumas simulações considerando a tensão da barra e o local, foi escolhido o ponto considerado mais adequado, conforme já foi visto na Figura 58.

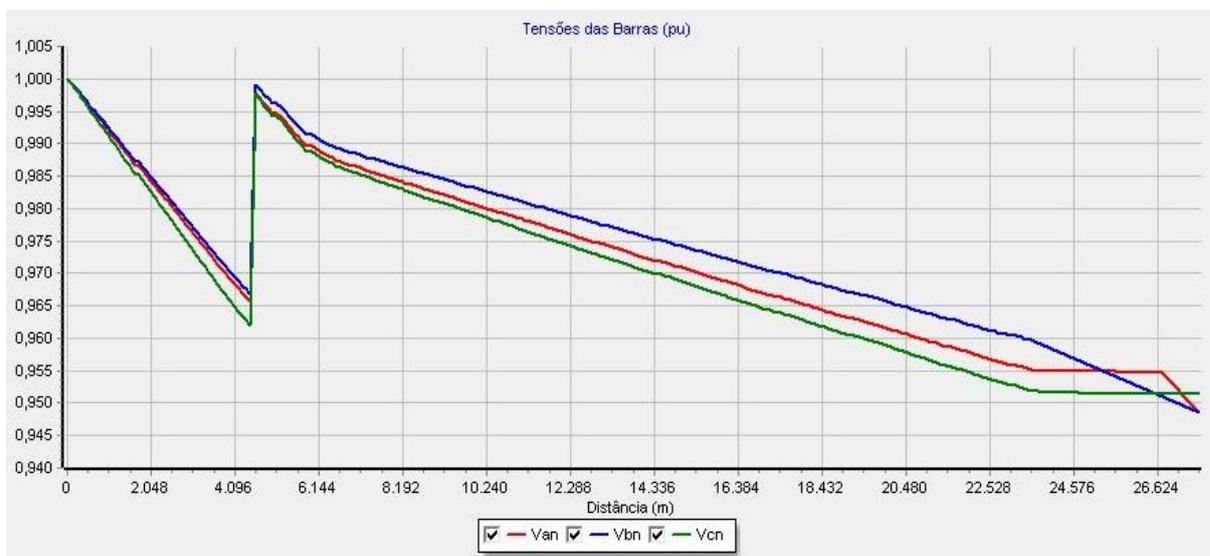
Figura 63 - Simulação para o patamar tarde – 2º simulação



Fonte: *Software SinapGRID (2020)*.

Novamente a instalação dos novos equipamentos se mostrou eficaz ao solucionar o problema de toda área afetada na situação atual, fazendo com que toda extensão do alimentador esteja em tensão adequada. Outro ponto importante é que a atual banca de reguladores também continuou apresentando bom resultado no seu trecho a jusante.

Figura 64 - Gráfico da tensão x distância para o patamar tarde – 2º simulação



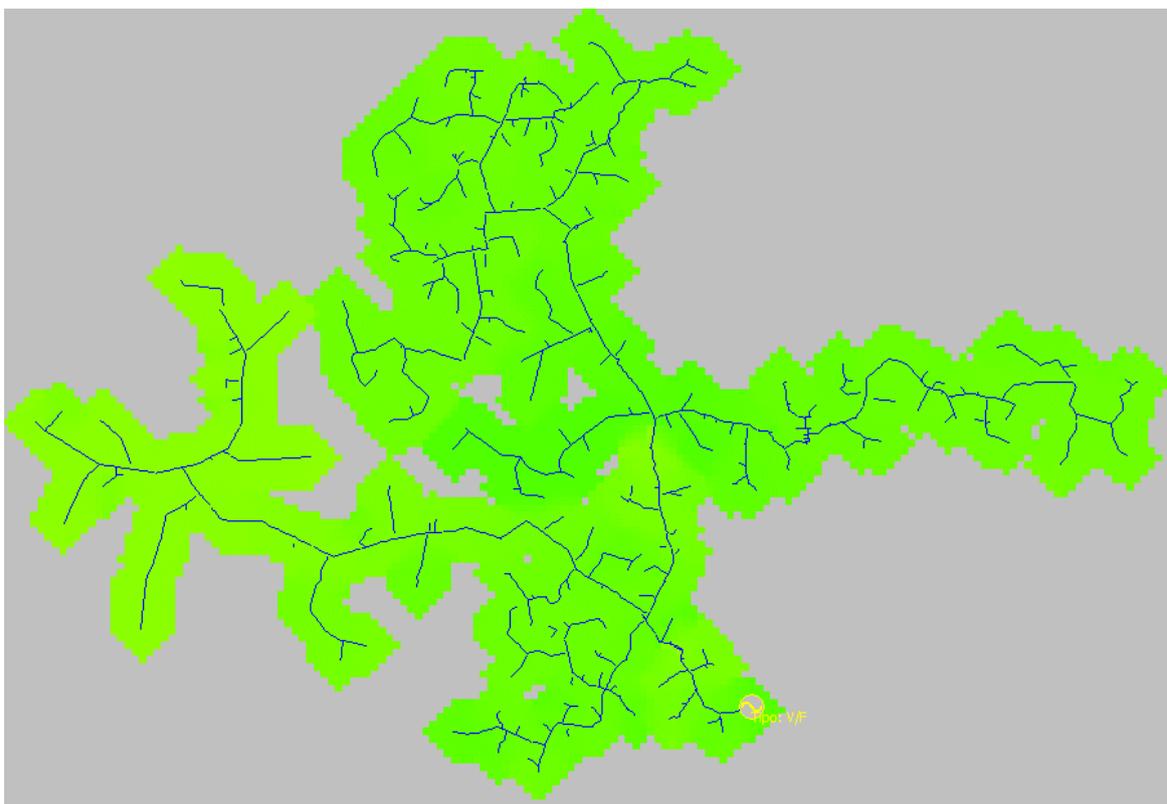
Fonte: *Software SinapGRID (2020)*.

Ao analisar a Figura 64 podemos identificar que o ponto escolhido para instalação da nova banca de reguladores realmente soluciona o problema para este patamar considerado o mais crítico, fazendo com que a tensão ao longo do circuito permaneça em patamar adequado.

4.1.2.4 Patamar noite – 2º simulação

Considerando a situação atual para o patamar da noite, o alimentador não apresentava situação tão crítica como o da tarde, porém, necessitava de um certo ajuste para adequar ainda mais os níveis da tensão, sendo que este horário possui um consumo considerável.

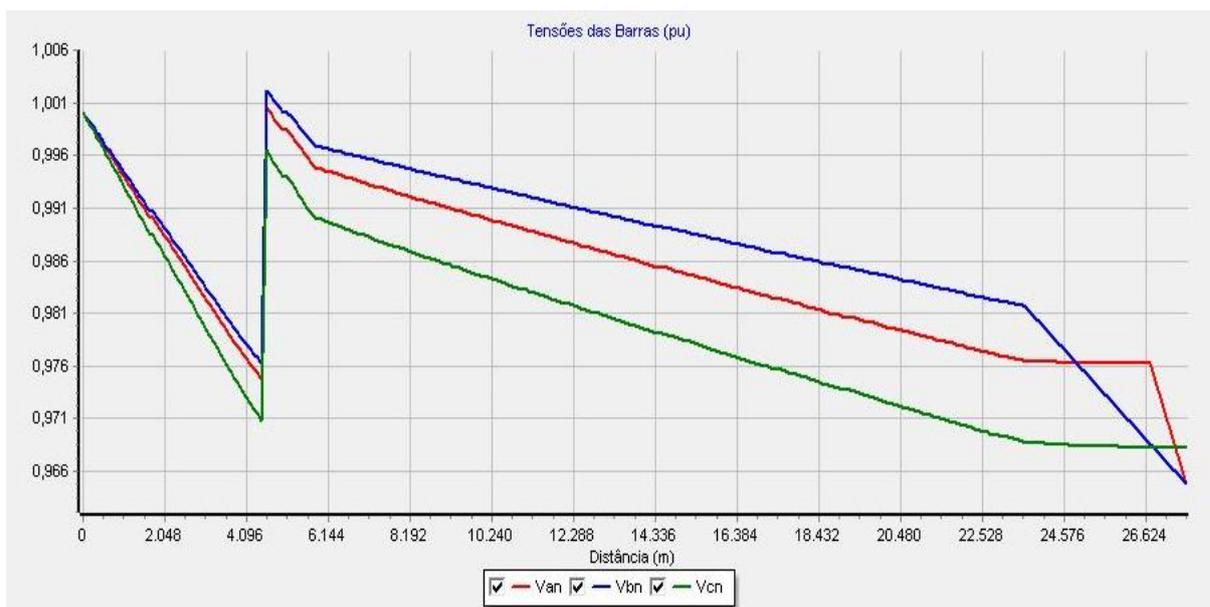
Figura 65 - Simulação para o patamar tarde – 2º simulação



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Conforme a Figura 65, após a instalação da nova banca de reguladores, este patamar passou a apresentar tensão adequada em todo circuito, novamente fazendo valer que esta solução está adequada para correção dos problemas apresentados atualmente.

Figura 66 - Gráfico da tensão x distância para o patamar tarde – 2º simulação



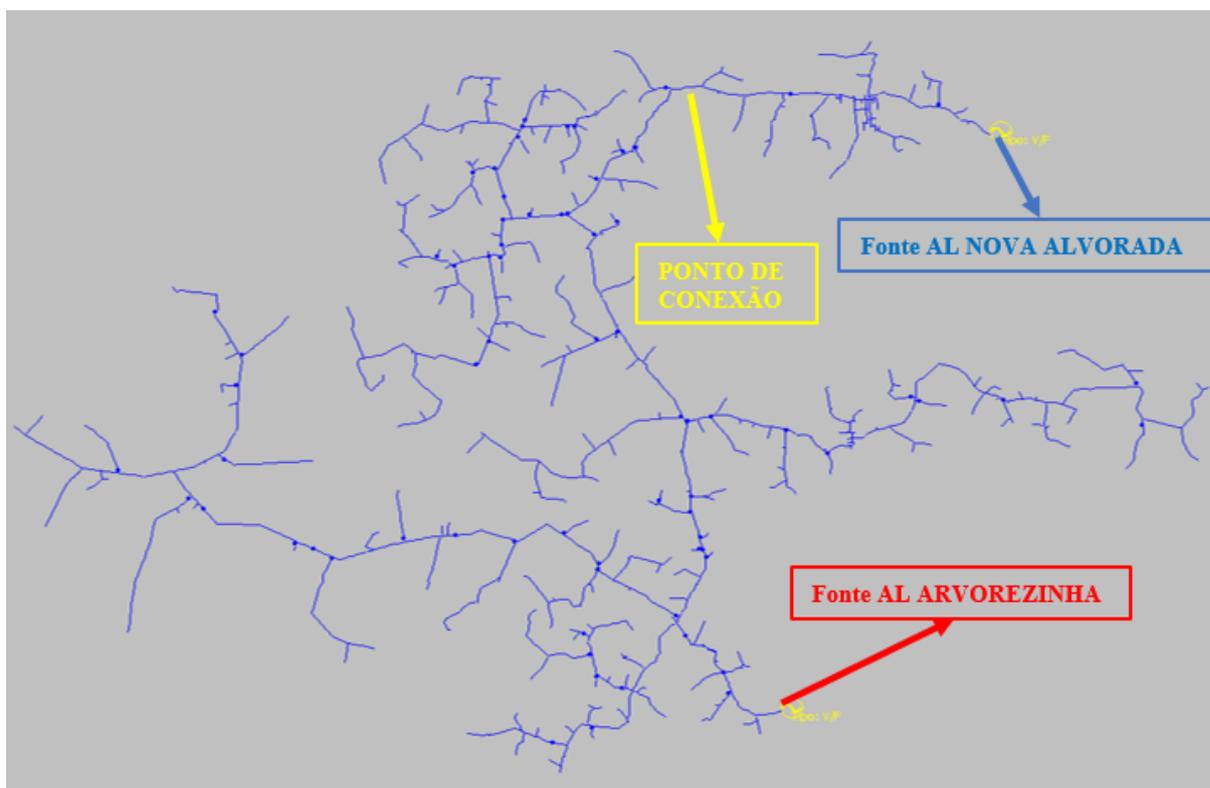
Fonte: Software SinapGRID (2020).

Conforme a Figura 66, é possível ver os novos níveis tensão ao longo do sistema, sendo que, em todos os trechos a tensão permanece em patamar adequado, permanecendo assim até seus extremos.

4.1.3 Remanejamento de carga

Conforme descrito anteriormente, para o estudo e a análise deste circuito, foi considerado este sistema de maneira radial simples, sem a possibilidade do remanejamento de carga através de uma fonte secundária de energia, porém em campo esta possibilidade existe.

Figura 67 - Alimentadores Arvorezinha e Nova Alvorada



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

A cerca de 29 km da fonte o alimentador Arvorezinha faz conexão com o alimentador de Nova Alvorada, que faz tomada primária de energia em MT com a RGE, cerca de 10 km de distância desta conexão.

Esta manobra é realizada em caso emergencial de falta de energia por parte do AL de arvorezinha, fazendo com que uma parte deste alimentador, sendo a região do interior de Nova Alvorada, seja alimentado pelo AL de Nova Alvorada.

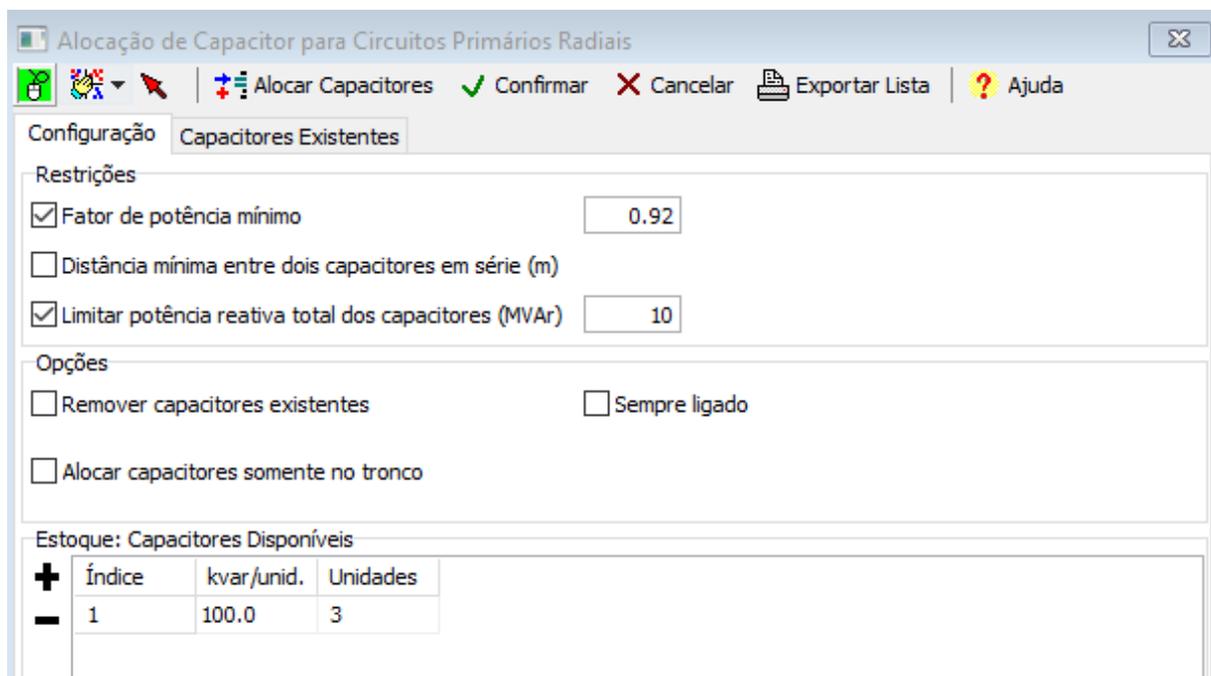
Também em caráter emergencial, quando energia há falta da energia da supridora na fonte do AL Nova Alvorada, o alimentador abrange todo este sistema.

4.1.4 Instalação de equipamentos capacitores

Utilizando a ferramenta de alocação de capacitor disponibilizada pelo programa, por meio do módulo de ferramentas especiais, foi testada a possibilidade da instalação de capacitores em todo o sistema.

Considerando os equipamentos já existentes no alimentador foi configurado a ferramenta para realizar uma varredura em todo alimentador buscando uma barra que foi utilizada como base para o FP mínimo.

Figura 68 - Ferramenta de alocação de capacitores



Fonte: *Software SinapGRID* (2020).

Dentro das configurações desta ferramenta foi utilizado um FP de 0.92 descrito em norma como o valor mínimo aceitável dos sistemas elétricos, para o não pagamento de multas. Foi aplicado 3 unidades de 100 KVAR, totalizando um banco de 300 KVAR.

Para esta configuração a ferramenta não identificou um ponto que fosse necessário a instalação da banca, sendo refeita a análise para valores menores que 0.92 de fator de potência, não sendo identificado a necessidade também.

Ao retirar o valor de base do fator de potência na varredura, a ferramenta localizou um ponto para instalação da banca de capacitores e analisando o patamar da tarde, não ocorreu a adequação.

5 CONCLUSÕES

Conforme o dever que toda empresa que trabalha no ramo da distribuição de energia elétrica possui, seja ela concessionária ou permissionária, ambas necessitam assegurar que se tenha uma energia que chegue na casa de seus consumidores com boa qualidade e segurança, garantindo a continuidade do serviço.

E para isso acontecer é necessário que o monitoramento dos sistemas elétricos seja feito de maneira rotineira, aliados a estudos e análises que venham contribuir para a correta tomada de decisão de quando é necessário a realização de melhorias nas redes.

Este trabalho apresentou as características atuais de um dos alimentadores da Cerfox, que através de simulações realizadas com o SINAPgrid, apresentou os piores níveis de tensão dentre os 11 sistemas que a empresa possui.

Estas alternativas foram elaboradas com base nas orientações e normas técnicas que a empresa possui, sendo aplicadas a uma taxa de crescimento de 3% ao longo de 4 anos.

Este alimentador apresentou os piores níveis de tensão durante o patamar da tarde, entrando em regime precário inferior, necessitando de melhoria para diminuir os impactos dos indicadores de qualidade.

Foram desenvolvidas e analisadas 4 alternativas para correção dos níveis de tensão, orientadas pelas normas vigentes da agência reguladora como também as normas internas da Cerfox.

A primeira alternativa para correção dos níveis de tensão foi a de reconduzir um trecho de rede trifásica com condutores de 04 CAA para condutores 1/0 CAA. Analisando o impacto desta melhoria, percebeu-se que ela seria válida se os condutores estivessem em sobrecarga, o que não está acontecendo.

Por ser um circuito extenso e não possuir sobrecarga nos condutores, esta alternativa do ponto de vista de regulação, para a condição atual do alimentador, fica inadequada.

O valor financeiro aplicado em materiais e mão de obra é alto, conforme podemos ver na Tabela 7, sendo outro fator que faz com que esta alternativa fique inviável.

Tabela 7 - Orçamento da primeira alternativa

Item	Valor
Materiais	R\$ 347.789,52
Mão de Obra	R\$ 153.608,80
Total do orçamento	R\$ 501.398,32

Fonte: Autor (2020).

Para reconduzir é necessário trocar cerca de 160 postes de madeira e concreto, com suas respectivas estruturas, devido ao esforço mecânico do novo condutor ultrapassar a capacidade destes postes.

Por fim a necessidade de diversos desligamentos impactaria muito nos indicadores da cooperativa, pela característica da obra, que necessita ser realizada sem a presença de tensão no circuito.

A segunda alternativa baseia na instalação de equipamentos reguladores no alimentador, sendo que esta, apresentou o resultado mais satisfatório dentre as apresentadas.

Para todos os patamares horários, inclusive o mais prejudicado, a instalação dos equipamentos corrigira todo o trecho de rede que estava sendo afetado por tensões precárias e críticas.

Quando analisado os níveis de tensão, com relação ao planejamento para o horizonte de 4 anos, notou-se que os mesmos, se mantiveram adequados, em praticamente todo o alimentador.

Surge como melhor alternativa então, realizar a instalação destes novos equipamentos mantendo os equipamentos existentes, tornando assim, todo o alimentador com níveis de tensão em caráter adequado, conforme PRODITS.

Tabela 8 – Orçamento da segunda alternativa

Item	Valor
Materiais	R\$ 94.667,04
Mão de Obra	R\$ 12.504,81
Total do orçamento	R\$ 107.171,85

Fonte: Autor (2020).

Do ponto de vista financeiro, esta alternativa se torna mais adequada, sendo mais barata que a primeira. Outro ponto positivo é em relação aos indicadores por desligamento, sendo necessário apenas 1 para realização desta obra.

Esta ideia já vinha sendo sinalizada pelo departamento técnico da empresa, que era necessário a instalação de mais alguns equipamentos reguladores, devido a existência de apenas uma banca reguladora instalada atualmente. Também pela grande área que não é atendida por este equipamento.

As demais alternativas propostas não tiveram um resultado satisfatório para regulação do sistema, porém servirão de base para estudo de aplicação em outros sistemas.

Para a alternativa de remanejamento de cargas, o departamento de engenharia da empresa orientou a permanecer com o alimentador em modo radial simples, pela obrigatoriedade da atualização dos contratos de energia e demanda junto a RGE, o que impactaria em aumento dos custos. Esta alteração contratual impacta em diversos fatores, o que para o presente estudo não é interessante.

Por fim, a alternativa escolhida para este sistema, foi a segunda, correspondendo de maneira eficaz, os parâmetros técnicos e financeiros da empresa, sendo que foi possível realizar a correção da tensão nas barras afetadas por um custo financeiro menor que a primeira.

Outro ponto importante é que para realizar uma obra deste tipo, é necessário um efetivo menor de colaboradores, tornando a atividade com um grau maior de segurança e qualidade.

Considerando a situação atual do alimentador e com base as alternativas escolhidas, é importante salientar que este *software* demonstrou ser uma importante ferramenta no auxílio das análises e projetos de melhorias nas redes de distribuição, auxiliando na análise dos circuitos existentes e seu comportamento perante a diversas aplicações.

Essas alternativas podem ser exploradas e aprimoradas nos trabalhos aplicados aos demais alimentadores, podendo ser analisado outras opções como a implantação de subestações com novos sistemas alimentadores, diminuição de perdas de energia e estudos de proteção. Todas estas atividades fazem parte do planejamento da distribuição, realizada todos os anos pelas distribuidoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A GERADORA. **Tipos e fontes de geração de energia elétrica**. Disponível em <<https://www.ageradora.com.br/tipos-e-fontes-de-geracao-de-energia-eletrica/>>. Acesso em abril 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em abril 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo2_Revis%C3%A3o7.pdf/c1cf5bd8-b2bc-4d57-9b42-285a7fd8c2a5>. Acesso em: abril 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: abril 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 414 – Condições gerais de fornecimento de energia elétrica**, de 19 de dezembro de 2017. Brasília, 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 505**, de 26 de novembro de 2001. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bres2001505.pdf>>. Acesso em: abril 2019.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **NBR 14039 Instalações elétricas de média tensão de 10 kV a 36,2 kV**. Rio de Janeiro. 2005.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5356: Transformador de potência**. Rio de Janeiro. 1993.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5440: Transformadores para redes aeres de distribuição - requisitos**. Rio de Janeiro. 2011.

Atlas Socioeconômico Rio Grande Do Sul. **Distribuição de energia elétrica, 2019**. Disponível em <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/distribuicao-de-energia>>. Acesso em abril 2019.

Distribuidora Cummins Minas LTDA (DCML). **Geração de energia elétrica: quais são os principais tipos?** Disponível em <<https://www.dcml.com.br/blog/tipos-geracao-de-energia-eletrica/>>. Acesso em abril 2019.

Eletrobras Amazonas Energia. **Manual de procedimentos de Redes de distribuição**. 2012. Disponível em <<http://www.eletobrasamazonas.com/cms/wp-content/uploads/2013/11/Manual-Projeto-de-Redes-Distribui%C3%A7%C3%A3o-A%C3%A9reas-Urbanas-00.pdf>>. Acesso em abril 2019.

Federação Das Cooperativas De Energia, Telefonia E Desenvolvimento Rural Do Rio Grande Do Sul (FECOERGS). **Regulamento De Instalações Consumidoras Fornecimento Em Baixa Tensão (RIC-BT)**. Porto Alegre. 2019.

Federação Das Cooperativas De Energia, Telefonia E Desenvolvimento Rural Do Rio Grande Do Sul (FECOERGS). **Regulamento De Instalações Consumidoras Fornecimento Em Média Tensão (RIC-MT)**. Porto Alegre. 2017.

FUCHS, Rubens Dario. **Transmissão de Energia Elétrica: Linhas aéreas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

Geo – Conceição. **Fontes de energia**. Disponível em <<http://geoconceicao.blogspot.com/2015/08/fontes-de-energia.html>>. Acesso em maio 2019.

MAMEDE. João, Filho, **Manual de equipamentos elétricos 3**. ed. Rio de Janeiro LTC, 2005.

Mattede, Henrique, **Um pouco mais sobre o sistema elétrico de potência (SEP)**. Disponível em <<https://www.mundodaeletrica.com.br/um-pouco-mais-sobre-o-sistema-eletrico-de-potencia-sep/>>. Acesso em maio 2019.

Ministério de Minas e Energia (MME). 2018. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: maio 2019.

Ministério de Minas e Energia (MME). **O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em abril 2019.

MONTICELLI, A. J.; GARCIA, A. V. **Introdução a sistemas de energia elétrica**. 1a ed. São Paulo: Editora da Unicamp, 2004.

NISSON, James. RIEDEL, Susan. **Circuitos Elétricos**. 6a ed. São Paulo: Pearson. 2003.

OLIVEIRA, C. C. B.; SCHIMIDT, H. P.; KAGAN, N.; ROBBA, E. J. **Introdução a sistemas elétricos de potência**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2000.

Operador Nacional Do Sistema Elétrico (ONS). **O que é ONS?** Disponível em <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em abril 2019.

Operador Nacional Do Sistema Elétrico (ONS). **O que é SIN?** Disponível em <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em abril 2019.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2a ed. Editora Manole, Barueri/SP, 2013.

STEVENSON, William D. **Elementos de Análise de Sistemas de Potência**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.