



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**FRANQ COSTA IZIDÓRIO**

**ESTUDO DE CASO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DE FORNECIMENTO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL**

Tubarão

2019

**FRANQ COSTA IZIDÓRIO**

**ESTUDO DE CASO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DE FORNECIMENTO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dilsonei José Rigotti, Lic.

Tubarão

2019

**FRANQ COSTA IZIDÓRIO**

**ESTUDO DE CASO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DE FORNECIMENTO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de novembro de 2019



---

Professor orientador Dilsonei José Rigotti, Lic.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Francisco Duarte de Oliveira, Ms.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Eng. Maxciel Neto Mendes, Bel.  
Faculdade SATC

## **AGRADECIMENTOS**

Pensar sobre a trajetória que percorri no decorrer desta graduação é a melhor forma de agradecer a tantas pessoas que colaboraram para a concretização de mais essa etapa de minha vida. Sem a colaboração destes não teria conseguido.

Sou grato, sobretudo a Deus pela oportunidade de realizar um sonho, e também por me dar força todos os dias para seguir em frente.

Agradeço aos meus pais, Nilton da Silva Izidório e Laudeci Costa Izidório, pelo alicerce que representam em minha vida, pela dedicação e amor incondicional, pelas motivações e conselhos para nunca desistir, quando as dificuldades pareciam ser insuperáveis.

Um especial agradecimento ao Professor Disonei José Rigotti, meu orientador, pelo apoio e encorajamento no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, pela competência e exemplo profissional.

Agradeço também ao Engenheiro eletricista da Cooperativa de Eletricidade de Gravatal - SC (CERGRAL), Maxciel Neto Mendes, pelo auxílio e contribuição para obtenção dos dados analisados na pesquisa em questão.

E por fim, agradeço ao Curso de Engenharia Elétrica da UNISUL e a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.” (Leonardo da Vinci).

## RESUMO

A Energia Elétrica é um elemento essencial nos dias atuais, pois ela em conjunto com as novas tecnologias sustentadas por eletricidade proporciona conforto, bem-estar, segurança, bem como, lazer para a sociedade. O presente trabalho tem como intuito a proposição de um estudo de caso realizado em uma Indústria localizada no Estado de Santa Catarina, cuja linha de produção se concentra no ramo de madeiras. Nesse estudo de caso efetuou-se uma análise para identificar se a indústria possui potência instantânea total equilibrada e constante, pois ao oferecer um equilíbrio na distribuição de energia elétrica há redução de desperdício da mesma e aumento da vida útil das máquinas, possibilitando que os equipamentos operem com mais eficiência. Outro aspecto a ser avaliado é o fator de potência de energia, pois se é mantido em nível abaixo do solicitado pela distribuidora acarreta o mau aproveitamento e desperdício da energia, levando a perdas internas da instalação e queda de tensão. Os dados para análise desse estudo foram coletados por meio de um analisador de energia elétrica, disponibilizado pela distribuidora local. Na planta industrial foram identificadas algumas deficiências, dentre estas pode-se citar: Incidências de picos de corrente, reativos excedentes e outros. Contudo, esse trabalho pautou-se em procedimentos direcionados no intuito de usar racionalmente a energia elétrica e conter seus desperdícios, através de propostas de melhorias.

Palavras Chaves: Qualidade. Instalação Industrial. Fator Potência.

## **ABSTRACT**

Electricity is an essential element today as it, together with the new technologies supported by electricity, provides comfort, well-being, safety as well as leisure for society. This paper aims to propose a case study conducted in an industry located in the state of Santa Catarina, whose production line focuses on the wood industry. In this case study, an analysis was performed to identify if the industry has a constant and constant total instantaneous power, because offering a balance in the distribution of electricity reduces its waste and increases the useful life of the machines, enabling the equipment operate more efficiently. Another aspect to be evaluated is the energy power factor, since it is kept below the level requested by the distributor causing poor use and waste of energy, leading to internal losses of the installation and voltage drop. The data for analysis of this study were collected through an electric energy analyzer, made available by the local distributor. In the industrial plant some deficiencies were identified, among which we can mention: Incidences of current surges, surplus reactive and others. However, this work was based on procedures aimed at rationally using electricity and containing its waste through proposals for improvements.

**Keywords:** Quality. Industrial installation. Power factor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Caneca de cerveja .....	31
Figura 2 - Layout da planta industrial.....	35
Figura 3 - Serra fita.....	37
Figura 4 - Abridor de toras.....	37
Figura 5 - Serra Multilâminas.....	38
Figura 6 - Destopadeira de madeira.....	38
Figura 7 - Mesa de montagem e pregador pneumático.....	39
Figura 8 - Quadro geral de distribuição.....	39
Figura 9 - Diagrama Unifilar.....	40
Figura 10 - Descrição do Painel Frontal (Analisador de Energia RE6081).....	41
Figura 11 - Painel inferior do analisador de energia.....	42
Figura 12 - Ligação do analisador RE6081.....	43
Figura 13 - Apresenta os tipos de descarregamentos.....	43
Figura 14 - Comparativo entre: Partida direta, estrela triângulo e softstarter.....	44
Figura 15 - Demonstra as faixas críticas, precárias e adequadas de tensão.....	48
Figura 16 - Demonstra as faixas críticas, precárias e adequadas de variação de tensão de linha/fase.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição do consumo energético 2017. ....	15
Gráfico 2 - Tensões $V_a$ , $V_b$ e $V_c$ no período de análise de quinze dias. ....	48
Gráfico 3 - Período de funcionamento da indústria, fora de ponta.....	49
Gráfico 4 - Período que a empresa não está em funcionamento. ....	49
Gráfico 5 - Variação da tensão de linha / fase no período de quinze dias. ....	52
Gráfico 6 – Picos de corrente no período de 15 dias. ....	54
Gráfico 7 - Pico de corrente acima do limite nominal do transformador.....	54
Gráfico 8 - Representa o fator de potência do período de quinze dias de análise. ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tensão de Fornecimento.....	22
Tabela 2 - Categoria de atendimento .....	26
Tabela 3 - Limites para os desequilíbrios de tensão. ....	28
Tabela 4 - Limite para flutuação de tensão .....	29
Tabela 5 - Potência utilizada pelo transformador .....	32
Tabela 6 - Apresenta a condução máxima de corrente elétrica que um condutor suporta.....	45
Tabela 7 - Relatório de valores de tensão máximas, médios e mínimos no período de quinze dias .....	47
Tabela 8 - Limites para os desequilíbrios de tensão .....	50
Tabela 9 - Tensão de linha / fase referente a fase A,B e C .....	51
Tabela 10 - Relação de potência (kVA/CV), voltagem (VOLTS), corrente (AMPERES) trifásico.....	53
Tabela 11 - Fator de potência médio na fase A,B e C .....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Apresenta a variação da seção de um condutor, em relação ao fator de potência .	32
Quadro 2 - Características das máquinas e equipamentos da indústria .....	36
Quadro 3 - Comparação de condutores atual x condutores recomendados pelo critério de passagem de corrente .....	45
Quadro 4 - Terminologia.....	50
Quadro 5 - Estimativa de custo para implantar banco de capacitores em baixa tensão.....	62
Quadro 6 - Estimativa para adaptar a ligação de entrada da indústria para média tensão .....	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CA - Corrente Alternada

CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina

DIT - Divisão Internacional do Trabalho

DNAEE - Departamento de Águas de Energia Elétrica

DR (kW) - Demanda registrada

DF (kW) - Demanda faturada

DC (kW) - Demanda contratada

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FP - Fator de Potência

(F) - Horário fora de ponta

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional

kW – Kilowatt

kV - Quilovolts

kWh – Quilowatts-hora

(P) - Horário de ponta

PRODIST - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

QDC - Quadro de Distribuição

SC- Santa Catarina

SDBT - Sistema de Distribuição de Baixa Tensão

SDAT - Sistema de Distribuição de Alta Tensão

SDMT - Sistema de Distribuição de Média Tensão

THS - Tarifa Horo-Sazonal

(v) - Tensão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	16
1.3 OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1 Objetivo geral</b> .....	17
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	17
1.4 DELIMITAÇÕES .....	17
1.5 METODOLOGIA .....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2 ASPECTOS REGULATÓRIOS DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA</b> .....	21
2.1 LEGISLAÇÕES SOBRE O SISTEMA ELÉTRICO.....	21
<b>2.1.1 Conexão de unidades consumidoras ao sistema de distribuição de baixa tensão</b> ...	22
<b>2.1.2 Definições e conceitos</b> .....	23
<b>2.1.3 Estrutura tarifária</b> .....	24
<b>2.1.4 Classes de consumidores</b> .....	25
<b>2.1.5 Limites de fornecimento de energia elétrica</b> .....	25
<b>2.1.6 Qualidade de Energia Elétrica</b> .....	26
<b>2.1.7 Desequilíbrio de tensão</b> .....	27
<b>2.1.8 Flutuação de tensão</b> .....	28
<b>2.1.9 Variação de frequência</b> .....	29
2.2 FATOR DE POTÊNCIA.....	30
<b>2.2.1 Consequências de um baixo fator de potência nas instalações elétricas</b> .....	31
<b>3 ANÁLISE DO OBJETO DE ESTUDO</b> .....	34
3.1 ASPECTOS GERAIS .....	34
<b>3.1.1 Informações da indústria</b> .....	34
<b>3.1.2 Produtos e serviços</b> .....	34
3.2 INFORMAÇÕES DA PLANTA ELÉTRICA DA INDÚSTRIA.....	35
<b>3.2.1 Maquinário</b> .....	37
<b>3.2.2 Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)</b> .....	40
<b>3.2.3 Diagrama unifilar atual da indústria</b> .....	40
3.3 COLETAS DE DADOS .....	40
<b>3.3.1 Analisador de energia</b> .....	41

<b>3.3.2 Modo de instalação do RE 6081</b> .....	42
<b>3.3.3 Descarregamento de dados do analisador de energia</b> .....	42
<b>3.4 CARACTERÍSTICAS INICIAIS IDENTIFICADOS NA PLANTA INDUSTRIAL</b> .....	44
<b>3.5 CARACTERÍSTICAS EM FUNÇÃO DA COLETA DADOS COLETADOS</b> .....	47
<b>3.5.1 Tensão nominal e desequilíbrio de tensão entre fases</b> .....	48
<b>3.5.2 Análise de corrente Ia,Ib e Ic</b> .....	54
<b>3.5.3 Análise de fator de potência</b> .....	56
<b>4 PROPOSTAS DE MELHORIAS</b> .....	58
<b>4.1 PROPOSTAS NA PLANTA ANALISADA DE BAIXO CUSTO</b> .....	58
<b>4.1.2 Cálculos realizados para obtenção de melhorias em baixo e médio custo</b> .....	58
<b>4.2 PROPOSTAS DE MELHORIAS DE MÉDIO A ALTO CUSTO.</b> .....	59
<b>4.2.1 Cálculos para a indústria se adaptar a ligação de média tensão</b> .....	59
<b>5 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO AO ADAPTAR AS MELHORIAS SUGERIDAS NA INDÚSTRIA EM ANÁLISE</b> .....	62
<b>5.1 CUSTOS PARA QUE A INDÚSTRIA PERMANEÇA EM BAIXA TENSÃO.</b> .....	62
<b>5.2 CUSTOS PARA QUE A INDÚSTRIA MIGRE PARA MÉDIA TENSÃO</b> .....	62
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	68

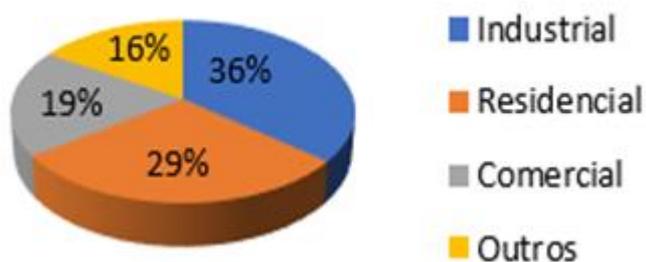
# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Nos tempos atuais, com o aumento da distribuição de energia no país, a sociedade vem se preocupando com atitudes de uso racional de energia, pois hábitos de vida modernos exigem uso freqüente da eletricidade nas rotinas diárias, fator que propicia benefícios aos consumidores residenciais, comerciais, bem como, industriais de energia elétrica, seja na conservação de alimentos, condicionamento de ambientes, no lazer e facilidades domésticas.

O Brasil possui uma considerável distribuição de energia elétrica para os mais variáveis consumidores, conforme os índices de consumo energético anual identificados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição do consumo energético 2017



Fonte: Azevedo (2017).

A distribuição de energia elétrica é um serviço desafiante na sociedade contemporânea, onde defeitos momentâneos no mesmo podem gerar grandes perdas financeiras na produtividade de uma indústria. Segundo a Azevedo (2017), a energia consumida no setor industrial corresponde a 36 % da demanda total do país, neste sentido, existe uma grande preocupação com a qualidade no fornecimento e na forma de utilização da energia elétrica nesse setor. Ao analisar a qualidade de energia em uma planta industrial, pode-se verificar que a mesma pode gerar benefícios, tais como o aumento da produtividade dos serviços desenvolvidos.

Outro fator relevante a ser analisado é a caracterização do tipo de ligação de entrada de energia, pois de acordo com Centrais Elétricas Brasileiras S.A – ELETROBRAS

(2013), para o tipo de ligação trifásico de energia elétrica em média tensão industrial ou comercial, sugere-se efetuar uma instalação individual superior a 75 kW, a partir de redes de distribuição aéreas ou subterrâneas com tensões nominais de 13,8Kv e 34,5kV, como também, realizar exigências mínimas para as entradas de serviço das instalações consumidoras (ELETROBRAS, 2013).

É importante abordar que o fator de potência de energia no setor industrial, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.13), possui “[...]conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0.92 (noventa e dois centésimos) e 1.00 (um) indutivo ou 1.00 (um) e 0.92 (noventa e dois centésimos) capacitivo”. Diante disso, se houver correção do fator de potência conforme as normas regulamentares, a indústria fará uso correto e econômico da energia elétrica sem desperdícios, ou seja, beneficiando-se da transformação de energia elétrica em trabalho útil (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016b).

Contudo, a energia elétrica distribuída em empresas é feita sob a forma de sistemas trifásicos, fator necessário devido à quantidade de equipamentos e máquinas que exigem alto consumo de energia. Esse sistema oferece significativas vantagens, tais como, potência instantânea total equilibrada e constante, isto é, não varia no tempo. Assim, a energia trifásica é a forma mais eficaz de distribuir energia para longas distâncias, pois permite que grandes equipamentos industriais operem com mais eficiência.

A definição de qualidade da energia elétrica refere-se a algumas alterações que podem ocorrer no sistema elétrico. Pode-se dizer que um sistema elétrico com qualidade é aquele que possui a tensão com a sua amplitude e forma de onda o mais próximo possível de um parâmetro ideal e adequado, sem alterações em amplitude, frequência ou fase.

Diante disso, o presente trabalho visa analisar uma planta industrial, com intuito de identificar a qualidade de energia elétrica utilizada por uma indústria localizada no Estado de Santa Catarina. Para isso, o trabalho apresenta as técnicas necessárias para enquadrar a planta industrial em questão aos conceitos normativos existentes.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este estudo aborda algumas deficiências identificadas na planta elétrica industrial localizada na Cidade de Gravatal – SC, referente à avaliação e controle da qualidade da energia elétrica, pois há indícios de quedas de tensão, bem como, em alguns momentos o disjuntor geral de entrada desarma, fator que prejudica a produtividade da indústria.

Diante disso, é interessante ressaltar da importância de desenvolver um planejamento adequado das instalações elétricas industriais, haja vista que calcular a quantidade de cargas de fases distribuídas ao imóvel e identificar o equilíbrio entre elas é indispensável para o desempenho eficaz das máquinas e equipamentos.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade de fornecimento de energia elétrica em uma instalação industrial, na cidade de Gravatal – SC.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar o tipo de instalação de entrada de energia elétrica, de acordo com as normas da distribuidora local;
- Avaliar o sistema industrial em questão, com base nas premissas técnicas e nas legislações existentes;
- Verificar o equilíbrio de carga nas fases da indústria em análise;
- Analisar possibilidades de melhorias nas instalações elétricas da indústria em questão;
- Constatar o custo da implantação ao adaptar as melhorias sugeridas.

### 1.4 DELIMITAÇÕES

Esta pesquisa visa estabelecer uma análise com base nas normas regulamentadoras PRODIST e ANEEL e a realidade prática, isto é, avaliar a qualidade de energia elétrica em uma instalação industrial e analisar como esse sistema suporta e se comporta em sua operação e carga, ou seja, se o fator de potência está adequado. Além disso, visa identificar o quanto da potência elétrica está sendo convertida em trabalho útil, se ocorrem variações de tensão, distúrbios de energia e desequilíbrio de tensão, pois um sistema elétrico com amplitudes desadequadas pode ocasionar o mau desempenho de máquinas e equipamentos e até mesmo sua falha.

Por se tratar de um estudo de caso, para que o presente trabalho possa ser aplicado em outras unidades comerciais, devem ser avaliadas as especificidades de cada instalação, a fim de proporcionar uma análise assertiva.

## 1.5 METODOLOGIA

Para sustentar o estudo de caso em questão, faz-se necessário a consulta em sites e obras renomadas, que tratam sobre os procedimentos metodológicos utilizados na elaboração deste estudo.

No presente trabalho serão utilizados procedimentos científicos, como pesquisas aplicadas, qualitativas, exploratória, bibliográfica e estudo de caso. Segue algumas abordagens sobre as pesquisas citadas anteriormente.

Para Marconi e Lakatos (1996), pesquisa aplicada deve ser realizada quando se tem por objetivo a aplicação de tipos de pesquisas relacionadas às necessidades imediatas dos diferentes campos da atividade humana.

A pesquisa proposta, e seu objeto de estudo e análise, iniciam do estudo de um problema. Diante disso, faz-se necessário identificar a metodologia para examinar as causas envolvidas nesse estudo.

A abordagem do problema da pesquisa em questão classifica-se como qualitativa.

De acordo com Beuren e colaboradores (2006, p.92), “na pesquisa qualitativa concebem-se análises mais profundas em relação ao fenômeno que está sendo estudado”.

A pesquisa em questão, com base nos objetivos elencados, classifica-se também como pesquisa exploratória, ou seja, pretende avaliar a qualidade de fornecimento de energia em uma instalação industrial, isto é, analisar o sistema de entrada de energia da indústria em questão, com base em premissas existentes.

Beuren e colaboradores (2008) defendem que a pesquisa exploratória normalmente se dá quando há pouco conhecimento sobre o assunto a ser abordado, ou seja, tem a finalidade compreender o assunto, tornando-o mais claro.

Vale ressaltar, que por ser uma análise de uma instalação de energia elétrica já existente, faz-se necessário, além de pesquisas bibliográficas uma análise de dados mais aprimorada.

Pesquisa bibliográfica é o que explica um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos. Diante disso, para Beuren e colaboradores (2006, p. 87), “[...] o material consultado na pesquisa bibliográfica abrange todo o referencial já tornado público

em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, dissertações, teses, entre outros”.

Dentre os procedimentos aplicados neste trabalho, fez-se necessário o estudo de caso, que busca o delineamento adequado para investigar um fato dentro de seu contexto real. Neste sentido, entende-se que o estudo de caso sempre envolve uma instância em ação, ou seja, uma escolha particular do objeto a ser estudado.

Lüdke e André (1986, p.57) enfatizam que “[...] as características do estudo de caso partem de alguns pressupostos teóricos iniciais, mas procuram manterem-se constantemente atentos a novos elementos emergentes e importantes para discutir a problemática em questão”.

Pretende-se neste estudo de caso analisar a qualidade de fornecimento de energia elétrica de uma instalação industrial com base em premissas existentes, bem como, identificar o desequilíbrio de tensão das fases, análise da corrente das fases e o fator de potência adequado.

Contudo, pretende-se obter com o estudo de caso e os demais procedimentos metodológicos aqui elencados, o aprofundamento do tema em questão.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso está dividido de maneira didática, isto é, para o melhor entendimento e desenvolvimento dos conceitos que norteiam os estudos e o desenvolvimento do mesmo. Com a finalidade de atingir as metas citadas, o presente trabalho apresenta-se dividido em capítulos:

- a) Introdução: Este capítulo exhibe uma breve descrição sobre o trabalho, com base no cenário atual, bem como, objetivos e organização do estudo em questão;
- b) Referencial teórico: Apresenta a pesquisa bibliográfica para levantamento de conceitos fundamentais em qualidade da energia elétrica de forma a motivar e embasar o autor de argumentos para a elaboração do trabalho. Esta pesquisa permite também, a identificação de algumas legislações sobre o sistema elétrico, fator de potência e características de instalações industriais;
- c) Análise do objeto de estudo: Neste item, foram coletados os dados da planta industrial atual, por meio de um analisador de energia para verificar a tensão, desequilíbrio de tensão, corrente e o fator de potência. Além disso, foram

efetuados cálculos para identificar a ligação adequada para indústria em questão;

- d) Propostas de melhorias: Este item aborda, sugestões de melhorias para planta elétrica industrial em análise;
- e) Custos de implantação ao adaptar as propostas de melhorias sugeridas na indústria: Esta unidade aborda duas opções de custos, no qual a indústria pode se adaptar, isto é, custos para que indústria permaneça em baixa tensão, bem como, custos para que migre para média tensão;
- f) Considerações finais: Apresenta a conclusão obtida no decorrer deste trabalho, bem como sugestões para o prosseguimento do mesmo;
- g) Referências bibliográficas: Esta unidade apresenta as obras, tais como, livros, sites, entre outros, utilizada na elaboração deste estudo de caso.

## 2 ASPECTOS REGULATÓRIOS DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

### 2.1 LEGISLAÇÕES SOBRE O SISTEMA ELÉTRICO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão responsável por estabelecer padrões de qualidade e eficiência da energia elétrica, esta tem por objetivo de um lado, garantir ao consumidor, o pagamento de um valor justo e a possibilidade de acesso a um serviço contínuo e de qualidade e, por outro lado, visa assegurar à distribuidora o equilíbrio econômico-financeiro necessário ao cumprimento do Contrato de Concessão.

De acordo com a Lei nº 9.074, de 1995, que regula a outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos de distribuição de energia elétrica (BRASIL, 1995).

As concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica poderão, conforme regulação da Aneel, negociar com consumidores de que tratam os Arts. 15 e 16 desta Lei, afastada a vedação de que trata o inciso III do § 5º, contratos de venda de energia elétrica lastreados no excesso de energia contratada para atendimento à totalidade do mercado (MARTINIANO, 2018, p. 1).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010), a executora de concessão federal para prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, é denominada distribuidora.

Diante disso, o atendimento ao consumidor no Estado de Santa Catarina, qualquer que seja o seu porte são realizados pelas distribuidoras de energia elétrica, como Celesc e cooperativas de eletrificação rural, isto é, entidades de pequeno porte que transmitem e distribuem energia elétrica exclusivamente para os associados.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica:

Em 2008, a Aneel relaciona 53 cooperativas que, espalhadas por diversas regiões do país, atendem a pequenas comunidades. Desta soma, apenas 25 haviam assinado contratos de permissão com a Aneel, após a conclusão do processo de enquadramento na condição de permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica para cumprimento da Lei n.º 9.074/1995 e da resolução Aneel no 012/2002 (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, [2019], p. 7);

Neste sentido, a ANEEL por meio do Procedimento de Distribuição e Energia Elétrica no Sistema Nacional (PRODIST), busca regulamentar e padronizar as atividades referentes ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica e dispõe que:

Estabelece as condições de acesso, compreendendo as conexões e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as demais instalações de transmissão – DIT, e defini os critérios técnicos e operacionais os requisitos do projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessos, em como a os existentes (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016a, p.4.).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, Prodist Módulo 1 (2008), o procedimento de Distribuição e Energia Elétrica tem o intuito disciplinar os meios técnicos para as atividades relacionadas ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica, ou seja, planeja o crescimento da operação dos sistemas de distribuição e a verificação da aferição e à qualidade da energia elétrica. Além disso, visa verificar o fator de potência mínimo de uma instalação elétrica, índices máximos e mínimos de frequência elétrica e limites de variação de tensão (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

### 2.1.1 Conexão de unidades consumidoras ao sistema de distribuição de baixa tensão

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016a), a distribuidora responsável pelas instalações que se conectam ao Sistema de Distribuição de Baixa Tensão – SDBT deve assegurar que as mesmas estejam em conformidade com os regulamentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

As tensões de conexão em baixa estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tensão de Fornecimento

<b>Sistema</b>	<b>Tensão Nominal (V)</b>
Trifásico	220 / 127
	380 / 220
Monofásico	254 / 127
	440 / 220

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016a)

Tensões de conexão diferentes das relacionadas na Tabela 1 são admissíveis nos sistemas de distribuição em operação, se estiverem em consonância com a legislação pertinente.

Sendo assim, é interessante ressaltar que segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b), na tensão em regime permanente a distribuidora deve acompanhar todo o seu sistema de distribuição, por meio de técnicas adequadas para prevenir que a tensão em regime permanente se mantenha dentro dos limites desejados.

Para atender o regime permanente, ou seja, em um estado estacionário que não varia no tempo de com acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b) é imprescindível que a tensão seja avaliada com base em um conjunto de leituras adquiridas por meio de medição apropriada, conforme a metodologia descrita para os indicadores individuais e coletivos.

Sendo assim, em regime permanente faz-se necessário observar parâmetros referentes à qualidade do produto, tais como:

- a) Tensão em regime permanente;
- b) Fator de potência;
- c) Harmônico;
- d) Desequilíbrio de tensão;
- e) Flutuação de tensão;
- f) Variação de frequência.

### 2.1.2 Definições e conceitos

O Manual de Tarificação da Energia Elétrica regulamenta as tarifas de energia elétrica no Brasil e baseia-se nos conceitos e definições apresentados (ELETROBRAS, 2011):

- a) **Demanda (kW)** – Refere-se à média das potências elétricas ativas ou reativas de um sistema elétrico, referente à proporção da carga instalada na unidade consumidora, em um intervalo de tempo específico.
- b) **Demanda Registrada – DR (kW)** – Refere-se ao maior valor da demanda mensurada em intervalos de 15 minutos, no decorrer de um período específico.
- c) **Demanda Faturada – DF (kW)** – Equivale ao valor da demanda da potência ativa, identificada com base em padrões definidos para fins de faturamento, ou seja utilizando a tarifa em quilowatts (Kw).
- d) **Demanda Contratada – DC (kW)** – É o valor da demanda que a distribuidora se compromete por meio de contrato de fornecimento, a dispor ao consumidor.

- e) **Consumo – CA (kWh)** – É a quantidade de energia elétrica ativa registrada em um determinado período.
- f) **Horário de ponta – (p)** – Refere-se a um intervalo de três horas, equivalentes ao período entre as 17:00 e 22:00 horas, com exceção nos fins de semana, determinado de acordo com as características da carga e do sistema elétrico da distribuidora.
- g) **Horário fora de ponta (f)** – Refere-se ao lapso de tempo das horas complementares às três horas equivalentes ao horário de ponta, bem como fins de semana.

### 2.1.3 Estrutura tarifária

No Brasil, nos anos 90 existia uma única tarifa de energia elétrica, esta tinha a finalidade de assegurar a remuneração das concessionárias, independentemente de seu nível de eficiência. Sendo assim, esse sistema não tinha o intuito de alcançar a eficiência por parte da distribuidora, visto que os custos eram transferidos ao consumidor. (POLÍTICA, 2018).

Sendo assim, a nova estrutura tarifaria atual, possui dois tipos a monômnia e a binômnia. A Monômnia visa o faturamento sobre o consumo de energia (kWh), de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2012, p.4) “Tarifa monômnia é aquela que é constituída por valor monetário aplicável unicamente ao consumo de energia elétrica ativa, obtida pela conjunção da componente de demanda de potência e de consumo de energia elétrica”.

A estrutura tarifária binômnia tem por objetivo o faturamento sobre o consumo efetivo de energia, inclui um componente que remunera a capacidade de energia disponibilizada e incorpora preços distintos dependendo da hora do dia e época do ano.

Para a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010, p.10) a Tarifa Convencional Binômnia é utilizada nas unidades consumidoras do grupo A identificadas como tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas usadas durante o dia. O grupo A “[...] composto de unidades consumidoras com fornecimento com tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistemas subterrâneos de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômnia”. Comumente, se encaixam nessa definição, indústrias e estabelecimentos comerciais de médio ou grande porte.

Ainda de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010, p.10) a Tarifa Convencional Binômnia esta dividida nos seguintes subgrupos:

- a) Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- c) Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- e) Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 a 25 kV; e
- f) Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistemas subterrâneo de distribuição.

#### **2.1.4 Classes de consumidores**

Para a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010), o consumo de energia é um relevante indício do progresso econômico e do nível de qualidade de vida da sociedade na qual estamos inseridos, ou seja, está associado ao progresso das atividades dos setores industrial, comercial e de serviços, bem como, à capacidade da sociedade a fim de obter bens e serviços tecnologicamente inovadores, como eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

Os consumidores ou unidades consumidoras de energia elétrica classificam-se em grupo A e B. O grupo A, constituído por unidades consumidoras que recebem energia igual ou superior a 2,3 quilovolts (kV), são efetivadas por meio de um sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica, isto é, destinada ao consumo e à demanda faturável.

Neste sentido, para a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010, p.10) o grupo B é “[...] composto de unidade consumidoras com fornecimentos e tensão inferior a 2,3 kv, caracterizado pela tarifa monômica”.

Ainda de acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (2010), os consumidores de energia estão subdivididos em quatro subgrupos.

- a) B1- residencial;
- b) B2 - rural;
- c) B3 - estabelecimentos comerciais ou industriais de pequeno porte;
- d) B4 - iluminação pública.

#### **2.1.5 Limites de Fornecimento de energia elétrica**

Conforme Energisa (2017, p.14), “o fornecimento de energia será feito em tensão secundária de distribuição para instalações com carga instalada igual ou inferior a 75 kW, ressalvados os casos previstos na legislação vigente”.

### 2.1.5.1 Tipos de Atendimento

Ainda segundo Energisa (2017), os tipos de atendimentos são divididos em três categorias, com propósito de atender desde consumidores residenciais, estabelecimentos de médio porte, bem como grandes indústrias.

- a) Tipo M (dois fios – uma fase e neutro);
- b) Tipo B (três fios – duas fases e neutro);
- c) Tipo T (quatro fios – três fases e neutro)

É importante ressaltar, que a tensão em 380/220 V, o sistema trifásico deve manter o neutro aterrado.

A Tabela 2 apresenta a demanda para o atendimento das categorias monofásicas, bifásicas, bem como, trifásicas.

Tabela 2 - Categoria de atendimento

CATEGORIA			DEMANDA
Monofásico	Demanda Provável (kVA)	M1	$0,00 < D \leq 6,00$
Monofásico	Demanda Provável (kVA)	M2	$6,00 < D \leq 11,00$
Monofásico	Demanda Provável (kVA)	M3	$11,00 < D \leq 15,40$
Bifásico	Demanda Provável (kVA)	B1	$00,0 < D \leq 17,60$
Bifásico	Demanda Provável (kVA)	B2	$17,60 < D \leq 22,00$
Trifásico	Demanda Provável (kVA)	T1	$0,00 < D \leq 26,30$
Trifásico	Demanda Provável (kVA)	T2	$26,30 < D \leq 32,90$
Trifásico	Demanda Provável (kVA)	T3	$32,90 < D \leq 46,05$
Trifásico	Demanda Provável (kVA)	T4	$46,05 < D \leq 65,80$
Trifásico	Demanda Provável (kVA)	T5	$65,80 < D \leq 75,00$

Fonte: Energisa (2012).

## 2.1.6 Qualidade de Energia Elétrica

### 2.1.6.1 Principais características da qualidade de energia elétrica

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2017), uma das definições da qualidade de energia elétrica caracteriza-se como a proporção equivalente do

quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores, isso é comumente associado a forma de onda e de tensão recebida pelos mesmos.

Para uma boa qualidade de energia elétrica, faz-se necessário o suprimento de alguns parâmetros para operação segura tanto do sistema, quanto das cargas elétricas distribuídas.

Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (2017), os principais parâmetros para uma boa qualidade de energia elétrica é:

- a) Tensão em regime permanente;
- b) Fator de potência;
- c) Harmônicos;
- d) Desequilíbrio de tensão;
- e) Flutuação de tensão;
- f) Variação de frequência;

#### 2.1.6.2 Metodologia de medição da energia elétrica

Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2017), as leituras de energia elétrica devem ser efetivadas por meio de equipamentos que operam de acordo com princípio de amostragem digital. Para isso, utiliza-se um único instrumento de medição para auferir todos os fenômenos da qualidade da energia elétrica fornecida.

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2017, p.24 e 25):

[...] o conjunto de leitura para gerar os indicadores da qualidade do produto, de regime permanente (distorções harmônicas, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão) devem compreender o registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos de cada 10 minutos. Com intuito de se obter 1008 leituras válidas, intervalos adicionais devem ser agregados, sempre consecutivamente.

#### 2.1.7 Desequilíbrio de tensão

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.16), “o desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120

° entre as tensões de fase do mesmo sistema”. No sistema trifásico, quando se opera máquinas com tensões desbalanceadas ocorre danos e redução da vida útil das mesmas.

Para se obter um sistema trifásico livre de desequilíbrios, deve-se considerar a fase “a” na referencia e sequências das fases positivas, conforme equação 1.

$$\begin{aligned} V_a &= 1,0 \angle 0^\circ \\ V_b &= 1,0 \angle -120^\circ \\ V_c &= 1,0 \angle +120^\circ \end{aligned} \quad (1)$$

No entanto, nem sempre as tensões são corretamente equilibradas, pois os desequilíbrios se devem a fatores de instalações internas tanto das concessionárias, quanto dos consumidores, e estão relacionados com as cargas instaladas.

Diante disso, pode ocorrer um problema de queda de tensão se houver amplitudes de tensões diferentes de 1,0 p.u, e mantendo-se o defasamento angular de 120° entre as fases.

Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Limites para os desequilíbrios de tensão.

<b>Indicador</b>	<b>Tensão nominal</b>	
<b>Indicador</b>	<b><math>V_n \leq 1,0 \text{ kV}</math></b>	<b><math>1 \text{ kV} &lt; V_n &lt; 230 \text{ kV}</math></b>
FD95%	3,0%	2,0%

Fonte: Agência Nacional de Engenharia Elétrica (2016b).

Os limites na Tabela 3 representam o valor máximo desejável no sistema de distribuição.

### 2.1.8 Flutuação de tensão

De acordo com Paulillo e Teixeira (2013), flutuações na tensão são variações sistemáticas de valores de tensão, ou modificações eventuais, isto é, uma grande incidência de oscilações na tensão, que regularmente não ultrapassam faixas de valores preestabelecidos entre 0,95 p.u e 1,05 p.u.

Segundo Matos (1992-2003), sistema por unidade (p.u) consiste na definição de valores de base para as grandezas, ou seja, tensão, corrente, potência, etc. Estas variações,

repetitivas, eventuais ou aleatórias geralmente são ocasionadas por variações rápidas nas potências ativas e reativas das cargas elétricas.

A tabela 4 apresenta os limites utilizados para verificação do desempenho do sistema de distribuição referentes as flutuações de tensão.

Tabela 4 - Limite para flutuação de tensão

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0\text{kV}$	$1,0\text{kV} < V_n < 69\text{kV}$	$69\text{kV} \leq V_n < 230\text{kV}$
Pst95%	1,0 p.u	1,5 p.u	2,0 p.u

Fonte: Agência Nacional de Engenharia Elétrica (2016b).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b), a determinação da qualidade da tensão no que se refere ao sistema de distribuição quanto a flutuação de tensão tem o propósito de avaliar contratempos provocados pelos efeitos de oscilações luminosas, que tenha em sua unidade alimentação por meio de baixa tensão.

### 2.1.9 Variação de frequência

A variação de frequência elétrica é uma flutuação, ou seja, um movimento alternado em sentidos opostos de locomoção da energia.

Conforme Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.19), “O sistema de distribuição e as instalações de geração devem apresentar em condições normais de operação e em regime permanente, isto é, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.”

Ainda segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b), na ocorrência de falhas no sistema de distribuição, as unidades geradoras devem assegurar que a frequência seja retomada num lapso de trinta segundos posteriores ao descumprimento, ou seja, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, permitindo a restauração do equilíbrio carga – geração.

Neste sentido, verifica-se que durante toda a dimensão de uma rede de distribuição, não há possibilidade de permanecer com a mesma tensão em uma frequência linear nas instalações, pois por mínima que seja, sempre ocorre queda de tensão, diante disso, no fim de uma rede haverá diferenças consideráveis com relação ao início dessa.

## 2.2 FATOR DE POTÊNCIA

Segundo Scarpin (2017), o Fator de Potência (FP) equivale à proporção da quantidade da potência elétrica consumida, ou seja, se esta está sendo convertida em trabalho útil.

Neste sentido, a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.13) assevera da importância do controle do fator de potência:

O controle do fator de potência deve ser efetuado por medição permanente e obrigatória no caso de unidades consumidoras atendidas pelo SDMT e SDAT e nas conexões entre distribuidoras, ou por medição individual permanente e facultativa nos casos de unidades consumidoras do Grupo B com instalações conectadas pelo SDBT, observando do disposto em regulamentação. (Prodist 8 - Resolução Normativa 794).

O Decreto nº 479, de 1992, refere-se a uma determinação, na qual, o fator de potência deve ser mantido o mais próximo da unidade (1,0), essa exigência cabe tanto as concessionárias como aos consumidores, além disso, também houve orientações ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) quanto ao limite de referência para o fator de potência indutivo e capacitivo, como sobre os critérios de avaliação de faturamento da energia reativa caso ultrapasse os limites estabelecidos na legislação vigente (BRASIL, 1992).

Diante disso, é interessante ressaltar que antigamente as concessionárias cobravam o faturamento com base no ajuste por baixo fator de potência, entretanto passaram a cobrar sobre a quantidade de energia ativa que poderia ser conduzida no espaço utilizado pelo consumo reativo. Fator que leva a aplicação de tarifas de demandas e consumo de ativos, até mesmo para consumidores de ponta e fora de ponta enquadrados em tarifas horosazonal.

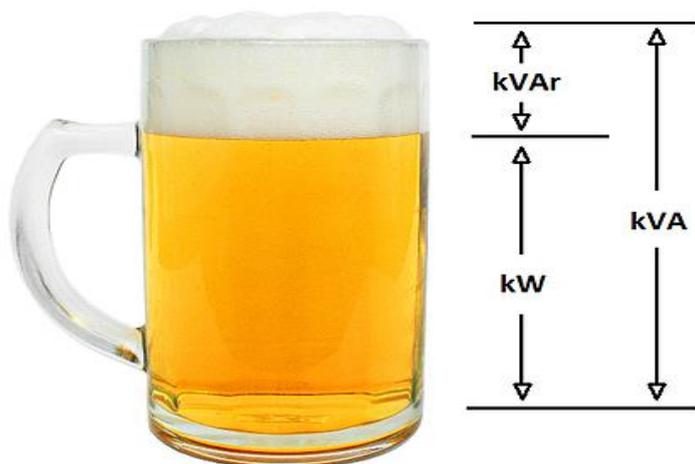
De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica – Prodist 8 (2016b, p.13), os valores de referência para obter um fator de potência adequado são:

Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um ) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos ) capacitivo, de acordo com a regulamentação vigente.

Segundo Scarpin (2017), para melhor compreensão do que é fator de potência pode-se utilizar como exemplo uma caneca de cerveja com espuma, isto é, a Potência Aparente equivale à altura da caneca. Essa potência geralmente é mensurada por meio de

medidores convencionais. Já a Potência Reativa, corresponde à espuma, esta ocupa espaço na caneca, no entanto não mata a sede. Por fim, a Potência Ativa é representada pelo líquido, isto é o mais importante e mata a sede, apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Caneca de cerveja



Fonte: Scarpin (2017).

### 2.2.1 Conseqüências de um baixo fator de potência na instalação elétrica

De acordo com Manual para correção do fator de potência – WEG (2009), uma das principais conseqüências do baixo fator de potência é o desperdício e o aumento das contas de energia. Além disso, pode-se ressaltar outros problemas provocados pelo baixo fator de potência para as indústrias.

- a) Redução de tensão nas instalações elétricas: acarretam a redução de energia e conseqüentemente a capacidade de transmissão elétrica, levando ao superaquecimento dos motores ou até mesmo a ocorrência de danos as máquinas e equipamentos;
- b) Aquecimento de condutores: Além causar desperdícios de energia, pode provocar curtos circuitos ou até mesmo incêndios nas indústrias;
- c) Redução no aproveitamento da capacidade dos transformadores: Essa redução pode colocar a segurança e estabilidade da planta industrial elétrica em risco;
- d) Sobrecarga do sistema: Essa sobrecarga ocorre devido a maior incidência de potência instalada, bem como o baixo fator de potência, para isso é necessário que o transformador possua potência maior para atender a demanda.

A tabela 5 apresenta a potência total do transformador para atender uma carga útil de 800 kW para fatores de potência crescentes

Tabela 5 - Potência utilizada pelo transformador

Potência útil absorvida kW	Fator de Potência	Potência do trafo - kVA
800	0,50	1.600
	0,80	1.00
	1,00	800

Fonte: Manual para correção do fator de potência – WEG (2009)

Para obter proteção e controle das máquinas e equipamentos é necessária a frequência da energia reativa, ou seja, para alcançar a mesma potência e sem perdas, é necessário aumentar os condutores na proporção que o fator de potência diminui.

Observa-se no Quadro 1 a diferença da seção de um condutor de acordo com fator de potência, pois há uma relação entre fator de potência adequado, isto é, condutor com seção equivalente a potência. E fator de potência baixo, ou seja, a seção do condutor necessita ser maior, para compensar o baixo fator de potência.

Quadro 1 - Apresenta a variação da seção de um condutor, em relação ao fator de potência

Seção relativa	Fator de Potência
1,00 	1,00
1,23 	0,90
1,56 	0,80
2,04 	0,70
2,78 	0,60
1,00 	0,50
6,25 	0,40
11,10 	0,30

Fonte: Manual para correção do fator de potência – WEG (2009).

Contudo, verifica-se que se houver a correção do fator de potência em uma instalação elétrica industrial haverá conseqüentemente um aumento na capacidade para instalação de novas máquinas. Para isso, não haverá necessidade de alterar a seção de condutores ou até mesmo substituir os transformadores, fator que acarretará uma redução de custo para indústria.

### **3 ANÁLISE DO OBJETO DE ESTUDO**

#### **3.1 ASPECTOS GERAIS**

Este capítulo desenvolveu-se no segundo semestre do ano de 2019, e tem como base de estudo a planta elétrica de uma indústria. Esta etapa aborda o levantamento de informações gerais dessa indústria, fator que possibilita a análise e estudos técnicos para um diagnóstico da qualidade da energia obtida pela planta industrial elétrica adotada pela mesma.

##### **3.1.1 Informações da indústria**

A indústria em análise, localizada em uma pequena cidade do Estado de Santa Catarina, possui administração familiar e está inserida no mercado há 20 anos, disponibilizando produtos e serviços de qualidade para seus clientes. A indústria tem como atividade principal a fabricação de paletes de madeira, onde sua principal finalidade é oferecer o modelo e medida de paleta ideal para cada segmento do mercado, garantindo uma boa movimentação e armazenamento de mercadorias nos setores têxtil, construção civil, alimentício, entre outros.

O Quadro funcional da indústria é composto por um administrador, uma secretária e três operadores de máquinas, um que desenvolve o desdobramento de madeiras e dois que processam a madeira efetuando os acabamentos necessários. A empresa dispõe de dois funcionários para montagem dos paletes e dois motoristas que operam na entrega das mercadorias.

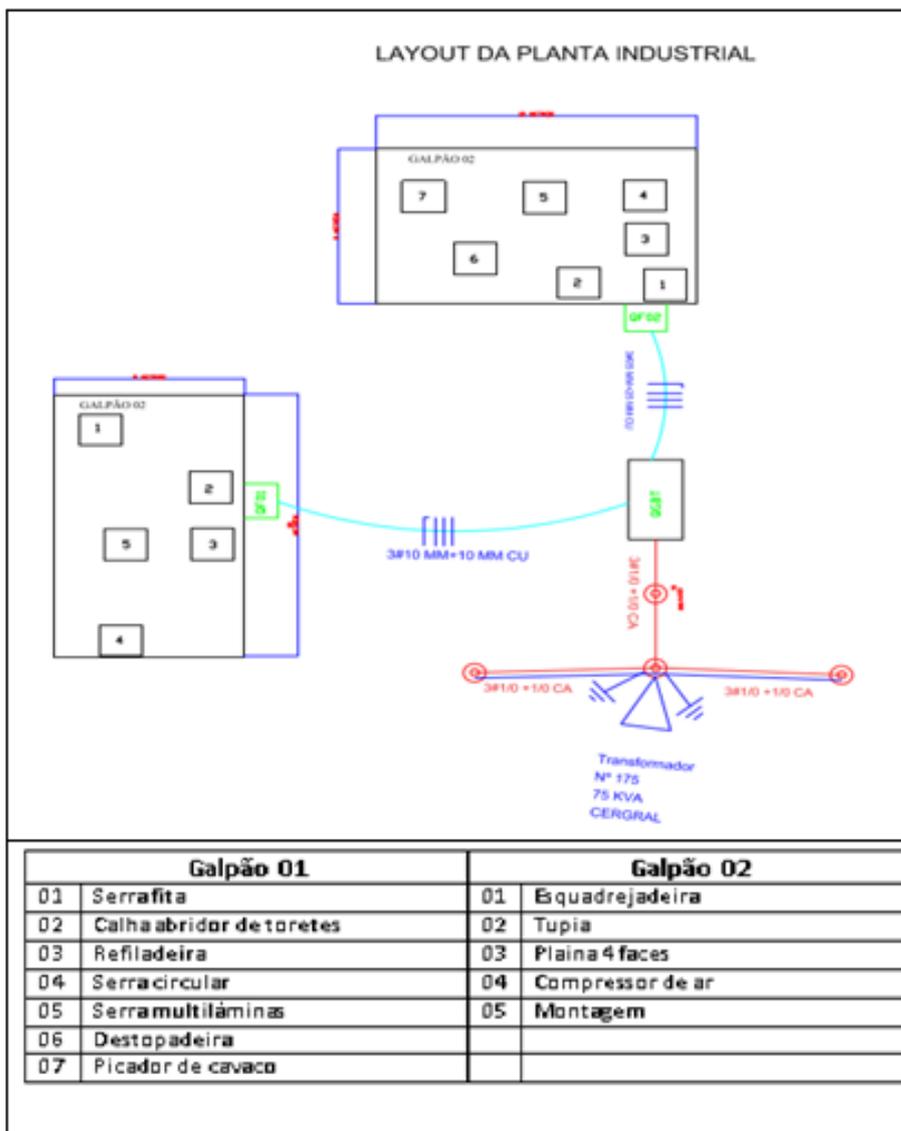
##### **3.1.2 Produtos e serviços**

A indústria trabalha com o desdobramento de madeiras brutas com intuito de produzir paletes nas suas mais diversas metragens e modelos. Além disso, essa também atua na produção de cavaco de madeira, isto é, utiliza as sobras de madeiras dos paletes para sua fabricação. O cavaco é um produto geralmente usado para geração de bioenergia na forma de calor, geralmente utilizado por cerâmicas ou fornalhas.

### 3.2 INFORMAÇÕES DA PLANTA ELÉTRICA DA INDÚSTRIA

A indústria atualmente se divide em duas unidades conforme, na primeira, possui um galpão (01) que efetua o desdobramento de madeiras, isto é, opera com equipamentos que necessitam de uma maior potência elétrica. Na segunda unidade, possui outro galpão (02) com máquinas para acabamento e montagem do produto, neste por serem equipamentos menores consomem menos potência elétrica, de acordo com a Figura 2.

Figura 2 - Layout da planta industrial



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

A indústria faz uso de máquinas para o desenvolvimento de seus produtos, conforme apresenta no Quadro 2.

Quadro 2 - Características das máquinas e equipamentos da indústria

<b>Itens</b>	<b>Máquinas</b>	<b>Potências dos motores</b>	<b>Corrente Nominal</b>	<b>Ano</b>
01	Abridor de toras	02 motores de 25 CV	74 A	2007
		01 motor de 3 CV	5,2 A	
01	Serra fita	01 motor de 20 CV	30 A	1995
01	Multilâmina	01 motor de 40 CV	60 A	2007
		01 motor de 7,5 CV	13 A	
01	Refiladeira	01 motor de 10 CV	16 A	2004
		01 motor de 2 CV	3,8 A	
01	Serra Circular	01 motor de 20 CV	30 A	1985
01	Destopadeira	01 motor de 7,5 CV	13 A	2005
		01 motor de 1.5 CV	2,9 A	
03	Correias transportadoras	01 motor de 3 CV	5,2 A	2004
		01 motor de 5 CV	8,7 A	
01	Exaustor	01 motor de 10 CV	16 A	2004
01	Picador de cavaco	01 motor de 60 CV	87 A	2007
		03 motor de 3 CV	15,6 A	
01	Amolador de serras	01 motor de 3 CV	5,2 A	1996
01	Esquadrejadeira	01 motor de 7,5 CV	13 A	1994
01	Plaina	01 motor de 7,5 CV	13 A	2003
		01 motor de 3 CV	5,2 A	
01	Tupia	01 motor de 5 CV	8,7 A	1985
01	Compressor de ar	01 motor de 7,5 CV	13 A	2006
	Potência total instalada (CV)	282,00 CV		
	Potência total instalada em (W)	207,55 kW		

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

### 3.2.1 Maquinário

A Indústria apresenta a seguir uma breve descrição das principais máquinas.

Na primeira unidade, conforme Figura 3, a indústria possui alguns equipamentos necessários para desenvolvimento de seu produto final uma serra fita utilizada para o desdobramento inicial de toras, isto é, madeiras in natura, transformando-as em pranchas ou pranchões. Essa máquina se movimenta continuamente por meio de uma rotação de volantes e polias acionadas por um motor elétrico.

Figura 3 - Serra fita



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Outra máquina que a empresa possui é o abridor de toras, essa tem finalidade similar a serra fita, isto é, desdobramento inicial de toras. Entretanto, é mais ágil, pois com apenas uma operação efetua o desdobramento de uma ou mais pranchas. Esse equipamento possui uma calha que transporta a tora até a serra que é acoplada no eixo do motor. Conforme Figura 4.

Figura 4 - Abridor de toras



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Além disso, ainda nessa unidade a empresa possui uma multilâminas, equipamento utilizado com intuito de refilar pranchas. Essa máquina possui dois eixos, sendo o superior móvel regulável na altura, fator que possibilita a utilização de várias laminas de pequeno diâmetro para produção de tábuas, reduzindo o custo e perda da madeira. Conforme, Figura 5.

Figura 5 - Serra Multilâminas



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Ainda nessa unidade, conforme Figura 6, a empresa também dispõe de uma destopadeira, essa com intuito de atender o comprimento previamente ajustado para o trabalho contínuo da produção. Essa máquina transporta as madeiras serradas por meio de correntes, na qual são executados destopos simultâneos. A principal finalidade dessa máquina é a remoção de falhas identificadas nos topos das taboas, além de fazer cortes transversais na madeira, resultando peças com extremidades esquadrejadas com comprimentos pré-determinados.

Figura 6 - Destopadeira de madeira



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Na unidade dois da empresa, de acordo com a Figura 7, onde ocorre a montagem do produto final é utilizado dois pregadores, uma ferramenta pneumática que utiliza pregos de modelo espiral, no qual tem por intuito a fixação das tábuas e barrotes de forma adequada e ágil facilitando o maior desempenho da produção.

Figura 7 - Mesa de montagem e pregador pneumático



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

### 3.2.2 Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)

O Quadro geral de distribuição fica localizado fora da empresa, onde ocorrem ramificações de entrada para cada unidade. Atualmente a indústria possui a entrada de energia em baixa tensão, ou seja, é identificada como do grupo B, caracterizada por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV. Conforme Figura 8:

Figura 8 - Quadro geral de distribuição

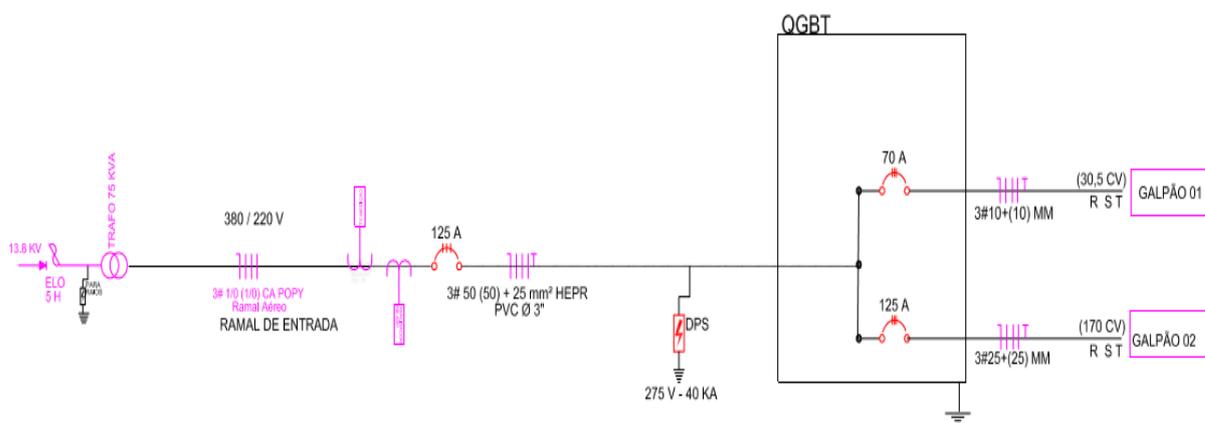


Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Para Agência Nacional de Energia Elétrica (2008), os consumidores estão subdivididos em quatro subgrupos. A Indústria em questão, está enquadrada no subgrupo B3, que são os consumidores como estabelecimentos comerciais ou industriais de pequeno porte.

### 3.2.3 Diagrama unifilar atual da indústria

Figura 9 - Diagrama Unifilar



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

### 3.3 COLETAS DE DADOS

Utilizou-se para a realização deste estudo de caso, um analisador de energia marca Embrasil modelo RE6081, disponibilizado pela Distribuidora de Energia elétrica local. O mesmo possui vários modos de operação, sendo que o modo de operação realizado foi medições e registros de grandezas integralizadas. O período de integração dos registros ocorreu em 20 de setembro de 2019, a partir das 09:00 horas até as 09:00 horas do dia 04 de outubro de 2019, ou seja, durante um período de 360 horas, com medições registradas a cada 30 segundos, totalizando 43.200 registros.

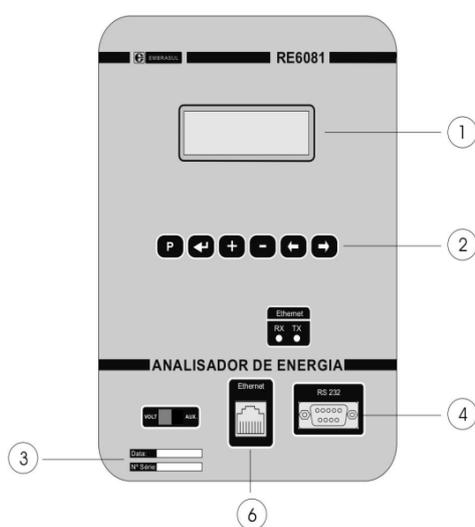
Neste estudo, levando em consideração as grandezas registradas pelo RE6081, foram analisadas as: tensões de fases, desequilíbrio entre as tensões de linha, corrente de fase e fator de potência.

### 3.3.1 Analisador de energia

O Manual de Instalação e Operação - Embrasul, modelo RE6081 é um registrador de grandezas elétricas em tempo real. Segundo Rosa (2007, p.4) “Possui entradas para tensão em três fases e neutro e de corrente através de sensores de corrente de 1000A, com ranges de 100A e 1000A”.

Sendo assim, a medição de tensão é de 80 a 300V fase/neutro. A alimentação desse medidor se dá por meio da entrada de medição entre o neutro e uma das fases, ou seja, a alimentação desse aparelho ocorre por qualquer uma das três fases. Conforme apresenta a figura 10.

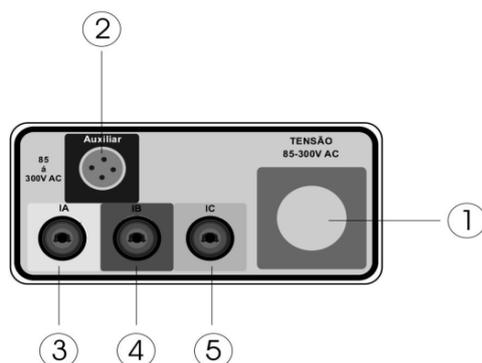
Figura 10 - Descrição do Painel Frontal (Analisador de Energia RE6081)



- ① Display alfanumérico de 16 colunas x 2 linhas
- ② Teclado
- ③ Data de fabricação e número de série
- ④ Porta de Comunicação RS232
- ⑤ Porta de Comunicação Ethernet

Fonte: Rosa (2007).

Figura 11 - Painel inferior do analisador de energia



- ① Prensa-cabos para entrada dos sinais de tensão fase A (amarelo), fase B (vermelho), fase C (azul) e neutro (preto).
- ② Entrada Auxiliar de Alimentação
- ③ Prensa-cabos para entrada do sinal de corrente da fase A, amarelo.
- ④ Prensa-cabos para entrada do sinal de corrente da fase B, vermelho.
- ⑤ Prensa-cabos para entrada do sinal de corrente da fase C, azul.

Fonte: Rosa (2007).

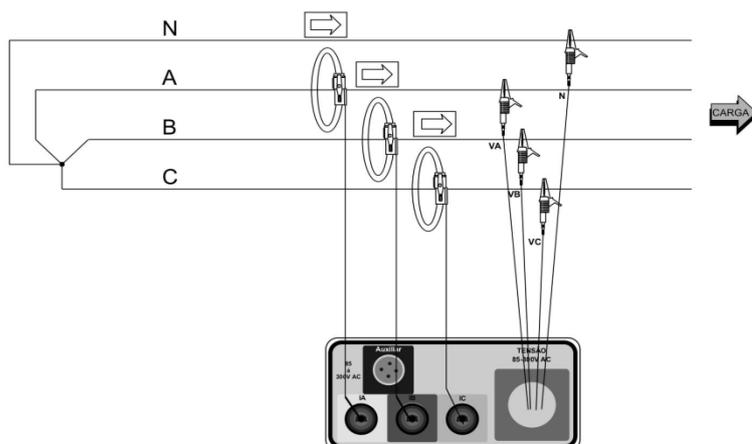
### 3.3.2 Modo de instalação do RE 6081

O eletricista enviado pela Distribuidora de Energia ao instalar o analisador de energia na indústria, manteve a chave seletora de alimentação que se localiza no painel do instrumento na posição “aux.”. Em seguida, instalou as ponteiras de alimentação, garra jacaré e cintas amperimétricas, ou seja, no sensor de corrente, mantendo a correspondência de fases entre tensão e corrente.

Neste sentido, o eletricista mudou a chave seletora de alimentação da posição “aux.” para “volt.” energizando o instrumento. Logo em seguida, o mesmo pressionou a tecla “avança”  para verificar no display do analisador as leituras instantâneas de grandeza.

Por fim, o instalador verificou na tela “Sequência de Fases” se a sequência apresentada está correta, ou seja, se estão posicionados em (+++). Segundo o eletricista, os sensores devem estar fixados no conector da peça, direcionado para a carga. Pois, é imprescindível que estejam corretamente direcionados, caso contrário, pode ocorrer o risco de uma fase apresentar fluxo reverso de energia ao invés de consumo.

Figura 12 - Ligação do analisador RE6081



Fonte: Rosa (2007).

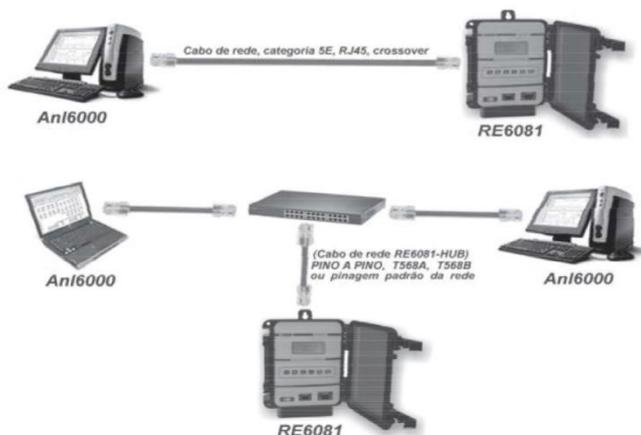
### 3.3.3 Descarregamento de dados do analisador de energia

Ao fim do período pré-determinado de captação de dados de quinze dias, o funcionário disponibilizado pela Distribuidora de Energia dirigiu-se a indústria para retirada do analisador de energia para descarregar as informações.

O Manual de Instalação e Operação – Embrasul apresenta três maneiras de conectar-se o RE6081 ao computador, conforme assegura (Rosa 2007, p.23).

- Diretamente à placa de rede, através do cabo Crossover que acompanha o equipamento;
- Através de um HUB, utilizando a pinagem padrão da rede;
- Através do cabo serial RS232

Figura 13 - Apresenta os tipos de descarregamentos



Fonte: Rosa (2007).

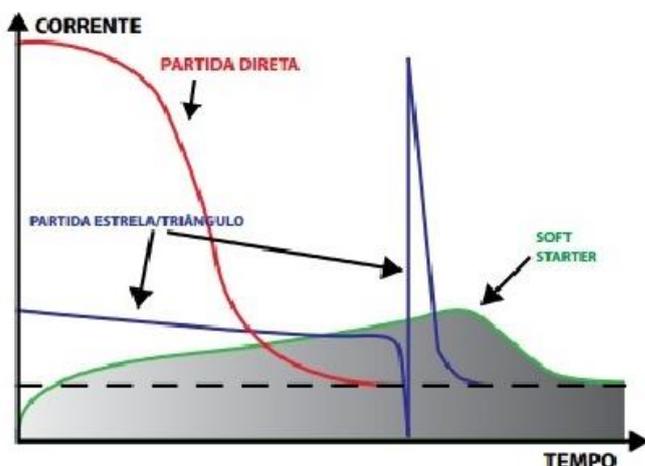
### 3.4 CARACTERÍSTICAS INICIAIS IDENTIFICADOS NA PLANTA INDUSTRIAL

No primeiro contato com a planta elétrica industrial em análise, observou-se que a maioria das máquinas possui ligação com partida direta, aumentando a sua corrente quando são acionadas, causando quedas de tensão em pequenos intervalos de tempo.

De acordo com o Mundo da Elétrica (2019) a partida direta prejudica diretamente no funcionamento do motor trifásico principalmente na rede elétrica e o transformador onde o motor está instalado. Neste sentido, a partida direta é indicada para que o motor obtenha um desempenho maior no instante da partida, seu principal é o torque de partida, entretanto, dependendo da situação é indicado aplicação da partida benefício indireta. O sistema de partida direta é sugerido para motores com potência máxima de 7,5 CV.

A Figura 14 apresenta o comparativo entre Partida direta, estrela triângulo e softstarter.

Figura 14 - Comparativo entre: Partida direta, estrela triângulo e softstarter



Fonte: Portal eletricista (2014).

Ainda de acordo com Mundo da Elétrica (2019) a estrela triângulo tem o objetivo de propiciar uma maior impedância e menor tensão nas bobinas, ou seja, reduzir a corrente de partida, fator que resulta uma perda relevante no torque de partida. Por meio dessa manobra, o motor efetua uma partida mais suave, isto é, diminui a corrente de partida para cerca de 1/3 da que seria utilizada em partida direta.

Segundo Andrade (2017), Soft starter é um dispositivo eletrônico com o intuito de controlar a tensão da partida do motor, bem como, sua desenergização. Com

esse dispositivo é possível reduzir a corrente de partida, isto é, evitar picos de corrente, além de permitir uma partida suave e promover por consequência a proteção do sistema.

Ao analisar a planta atual, foi verificado que ocorrem dificuldades na ligação dos equipamentos, pois ao serem acionados ao mesmo tempo ocorre um sobrecarga no disjuntor ocasionando o desligamento do mesmo, prejudicando a produção e o custo benéfico da empresa em questão.

É interessante ressaltar, que alguns equipamentos possuem ligações de condutores com espessuras menores que as recomendadas pela norma, fator que dificulta a operação eficiente destes.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) a Tabela 6 tem por finalidade apresentar a condução máxima de corrente elétrica suportada por cada condutor, com isolamento PVC/70° C.

Tabela 6 - Apresenta a condução máxima de corrente elétrica que um condutor suporta

Seção em mm <sup>2</sup>	Corrente máxima suportada por cada condutor elétrico
1,5 mm <sup>2</sup>	15,5 Ampéres
2,5 mm <sup>2</sup>	21 Ampéres
4 mm <sup>2</sup>	28 Ampéres
6 mm <sup>2</sup>	36 Ampéres
10 mm <sup>2</sup>	50 Ampéres
16 mm <sup>2</sup>	68 Ampéres
25 mm <sup>2</sup>	89 Ampéres
35 mm <sup>2</sup>	111 Ampéres
70 mm <sup>2</sup>	171 Ampéres
95 mm <sup>2</sup>	237 Ampéres

Fonte: NBR 5410 (2004).

Quadro 3 - Comparação de condutores atual x condutores recomendados pelo critério de passagem de corrente

(continua)

Maquinário	Potência dos motores	Corrente nominal	Cabo atual	Cabo recomendado
Abridor de toras	Motor 25 CV	37 A	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
	Motor 3 CV	5,2 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>

Quadro 3 - Comparação de condutores atual x condutores recomendados

(conclusão)

Maquinário	Potência dos motores	Corrente nominal	Cabo atual	Cabo recomendado
Serra Fita	Motor 20 CV	30 A	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>
Multilâmina	Motor 40 CV	60 A	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
	Motor 7,5 CV	13 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Serra circular	Motor 20 CV	30 A	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>
Destopadeira	Motor 7,5 CV	13 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
	Motor 1,5 CV	2,9 A	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Correia transportadora	Motor 3CV	5,2 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
	Motor 5 CV	8,7 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Exaustor	Motor 10 CV	16 A	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>
Picador de cavaco	Motor 60 CV	87 A	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
	Motor 3 CV	5,2 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Amolador de serras	Motor 3CV	5,2 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Esquadrejadeira	Motor 7,5 CV	13 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Plaina 4 faces	Motor 7,5 CV	13 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
	Motor 3 CV	5,2 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Tupia	Motor 5 CV	8,7 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
Compressor de ar	Motor 7,5 CV	13 A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Nota: vermelho: sobredimensionado, azul: adequado

### 3.5 CARACTERÍSTICAS EM FUNÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Para análise da qualidade de energia, utilizou-se um software ANL6000 durante o período de quinze dias, onde foram realizados 43,200 registros, totalizando 360 horas.

Por meio dessa análise é interessante ressaltar que, avaliou-se somente os dados em regime permanente, ou seja, não foi avaliado o regime transitório.

### 3.5.1 Tensão nominal e desequilíbrio de tensão entre fases

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.8), “a tensão a ser contratada nos pontos de conexão pelos acessantes atendidos em tensão igual ou inferior a 1 kV deve ser a tensão nominal do sistema”.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2001) resolução 505, Art. 4º, de 26 de novembro de 2001, os limites máximos e mínimos de tensão nominal respectivamente são 201V e 231 V.

Na coleta dos valores identificados pelo software ANL6000 são apresentados na Tabela 7, os valores máximos e mínimos atingidos pelas tensões por fase da indústria em análise.

Tabela 7 - Relatório de valores de tensão máximas, médios e mínimos no período de quinze dias

<b>Fase A: tensões [V]</b>	<b>Fase B: tensões [V]</b>	<b>Fase C: tensões [V]</b>
Média 226,05	Média 227,45	Média 227,48
Mínimo 209,56	Mínimo 210,74	Mínimo 211,93
Máximo 233,75	Máximo 234,41	Máximo 235,03

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

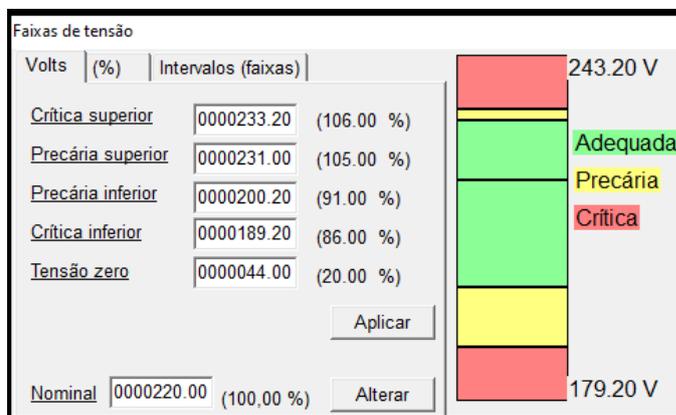
Por meio da análise dos dados identificados no relatório acima citado, com relação aos valores nominais das tensões de fases, verificou-se que os valores de tensão média estão dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL, entretanto, existem alguns intervalos de tempo que a tensão máxima chega a 235,03 V ultrapassando os limites estabelecidos na legislação competente.

Para melhor entendimento dos Gráficos apresentados a seguir é interessante ressaltar que o software ANL6000, está com seus parâmetros regulados de acordo com distribuidora de energia local e conforme o PRODIST.

De acordo com a Figura 15, a faixa adequada de tensão, ou seja, faixa nominal, indicada no Gráfico na cor verde, corresponde a 220 V, isto é, equivalente a 100 %. A faixa precária de tensão superior, na cor amarela, corresponde a 231,00 V, está não pode ultrapassar 104,00%. Na faixa crítica superior, que está representada no Gráfico na cor vermelha, corresponde a 233,20V, não podendo ultrapassar 106,00 %. A faixa precária inferior, identificada na cor amarela, corresponde a 200,20 V, não podendo ultrapassar 91%. Por fim,

na faixa crítica inferior, representada pela cor vermelha, corresponde a 189,20 V, não podendo ultrapassar 86%.

Figura 15 - Demonstra as faixas críticas, precárias e adequadas de tensão

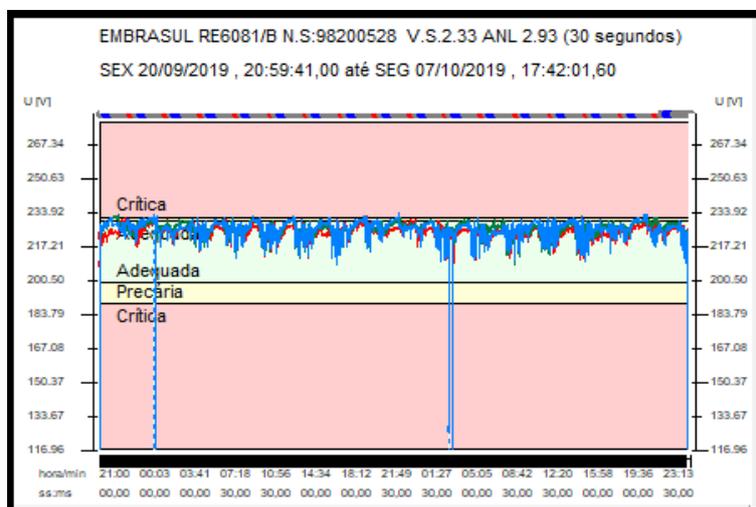


Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Conforme dados identificados pelo analisador RE6081, o Gráfico 2, demonstra que as tensões permaneceram na maioria do tempo entre o limite da faixa adequada e precária, apresentando em alguns momentos a faixa crítica. É interessante ressaltar, que houve duas faltas de energia, isto é, a primeira no domingo, dia vinte dois de setembro de 2019, das 09:55 às 11:14 horas, e a segunda falta de energia, aconteceu segunda feira, dia trinta de setembro de 2019 das 19:53 a 21:43 horas.

O Gráfico 2 demonstra as tensões Va, Vb e Vc no período de análise de quinze dias.

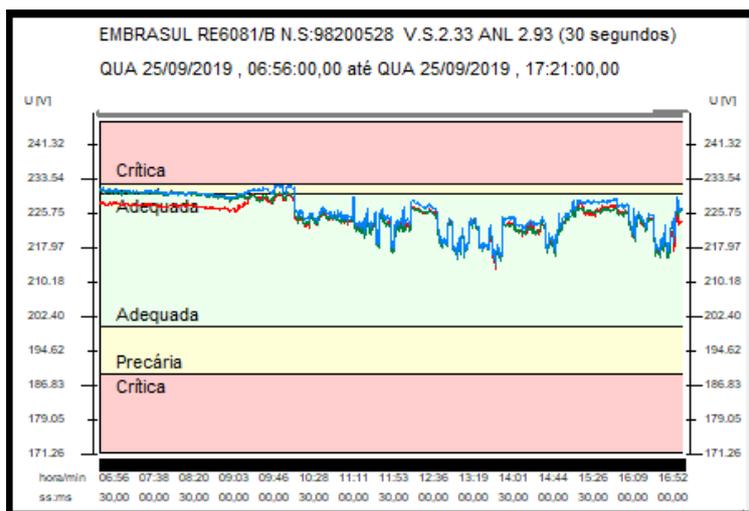
Gráfico 2 - Tensões Va, Vb e Vc no período de análise de quinze dias



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Durante o horário de funcionamento da indústria, isto é, das 07:00 às 17:00 horas, é considerado fora de ponta, conforme o Gráfico 3. É relevante ressaltar, que no início do dia, das 08:00 as 10:08 horas a tensão se manteve em nível precário, não atingindo nível crítico. Entretanto, no resto do dia permaneceu na faixa adequada.

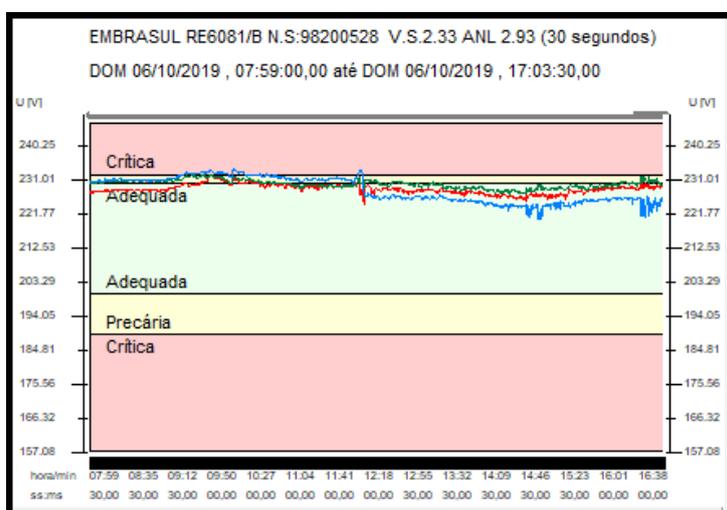
Gráfico 3 - Período de funcionamento da indústria, fora de ponta



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Neste sentido, quando não há expediente na indústria, bem como, nos sábados nos períodos vespertinos e domingos o dia todo, as máquinas permanecem desligadas, diante disso, o valor máximo de 231 V é ultrapassado, ocasionando uma sobre tensão.

Gráfico 4 - Período que a indústria não está em funcionamento



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Observa-se no Gráfico 4 que no período matutino, isto é, das 08:40 as 11:46 horas a tensão permaneceu no nível precário e em alguns momentos com picos chegando a nível crítico. Todavia, no restante do dia manteve-se a tensão das fases Va apresentado na cor vermelha e Vc na cor azul, em nível adequado e a fase Vb na cor verde, manteve-se entre a faixa adequada e precária superior.

De acordo com Agência Nacional De Energia Elétrica - Prodist modulo 8 (2016b, p.16), “o desequilíbrio de tensão é um fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes, entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema”. O Quadro 4, apresenta a terminologia aplicável ao cálculo do desequilíbrio de tensão.

Quadro 4 - Terminologia

<b>IDENTIFICAÇÃO DA GRANDEZA</b>	<b>SÍMBOLO</b>
Fator de desequilíbrio de tensão	<b>FD</b>
Magnitude da tensão eficaz de sequência negativa – frequência fundamental	<b>V-</b>
Magnitude da tensão eficaz de sequência positiva – frequência fundamental	<b>V+</b>
Magnitudes das tensões eficazes de linha – frequência fundamental	<b>Vab, Vbc e Vca</b>
Valor do indicador FD% que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	<b>FD95%</b>

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b).

Para o Agência Nacional De Energia Elétrica (2016b), Prodist módulo 8, os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão estão apresentados na Tabela 8.

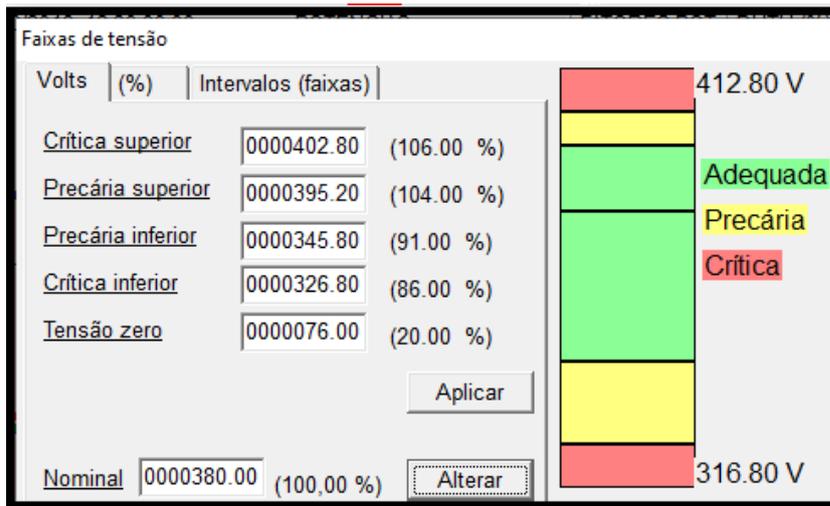
Tabela 8 - Limites para os desequilíbrios de tensão

	<b>Tensão nominal</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Vn ≤ 1,0 KV</b>	<b>1 KV &lt; Vn &lt; 230KV</b>
FD95%	3,0%	2,0%

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b).

Para melhor entendimento do Gráfico de variação de tensão de linha/fase a Figura 16 representa faixas críticas, precárias e adequadas de variação e seus valores correspondentes de tensão e porcentagem.

Figura 16 - Demonstra as faixas críticas, precárias e adequadas de variação de tensão de linha/fase.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

De acordo com dados identificados pelo software ANL6000 são apresentados na Tabela 9, os valores máximos e mínimos atingidos pelas tensões de linha por fase da indústria em análise durante o período de quinze dias.

Tabela 9 - Tensão de linha / fase referente a fase A,B e C

(continua)

Tensões	Fase A	Tensão de linha / fase
Média	$226,05 \times \sqrt{3}$	391,53 V
Mínimo	$209,56 \times \sqrt{3}$	362,96 V
Máximo	$233,75 \times \sqrt{3}$	404,86 V
Tensões	Fase B	Tensão de linha / fase
Média	$227,45 \times \sqrt{3}$	393,95 V
Mínima	$210,74 \times \sqrt{3}$	365,01 V
Máxima	$234,41 \times \sqrt{3}$	406,01 V

Tabela 9 - Tensão de linha / fase referente a fase A,B e C.

**(conclusão)**

Tensões	Fase C	Tensão de linha / fase
Média	$227,48 \times \sqrt{3}$	394,00 V
Mínimo	$211,93 \times \sqrt{3}$	367,07 V
Máximo	$235,03 \times \sqrt{3}$	407,08 V

Fonte: adaptado pelo autor (2019).

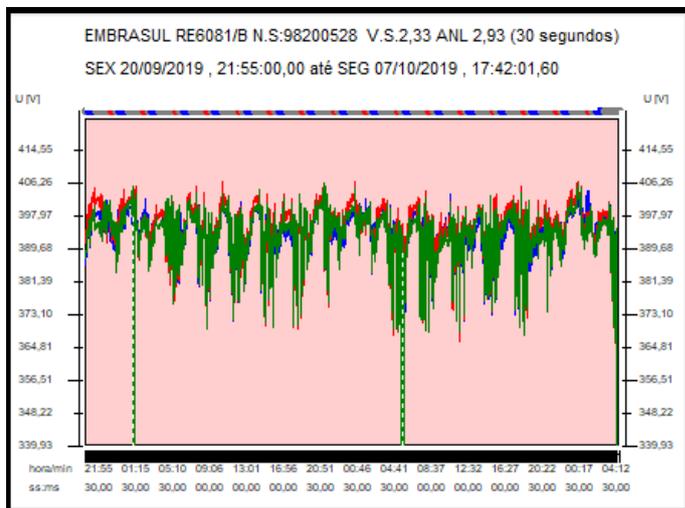
Utiliza-se para calcular o desequilíbrio de tensão de linha o valor da maior tensão (V máximo), bem como, a menor tensão (V mínimo) para um período determinado, onde há três valores de tensão Va, Vb e Vc.

A equação para o calcular o desequilíbrio de tensão é:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \cdot 100 \quad (2)$$

Os valores identificados na indústria em análise, com relação aos desequilíbrios de tensão variam aproximadamente entre 11,22 % conforme o Gráfico 5. Esses dados identificados causam problemas quando consumidores com alimentação trifásica evidenciam uma distribuição de carga ineficaz, determinando correntes desequilibradas no circuito da distribuidora local.

Gráfico 5 - Variação da tensão de linha / fase no período de quinze dias.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

### 3.5.2 Análise de corrente Ia, Ib e Ic

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (2016a), Prodist módulo 3, o fornecimento de energia deve ser feito em tensão secundária de distribuição, para instalações com carga igual ou inferior a 75 kW, ressalvados os casos previstos em legislações vigentes.

Levando em consideração que o ramal onde a indústria em análise está conectada ao transformador é de 75 kVA, ao calcular sua corrente para 380 V, constatou-se uma corrente de 113,95A. Conforme a Tabela 10.

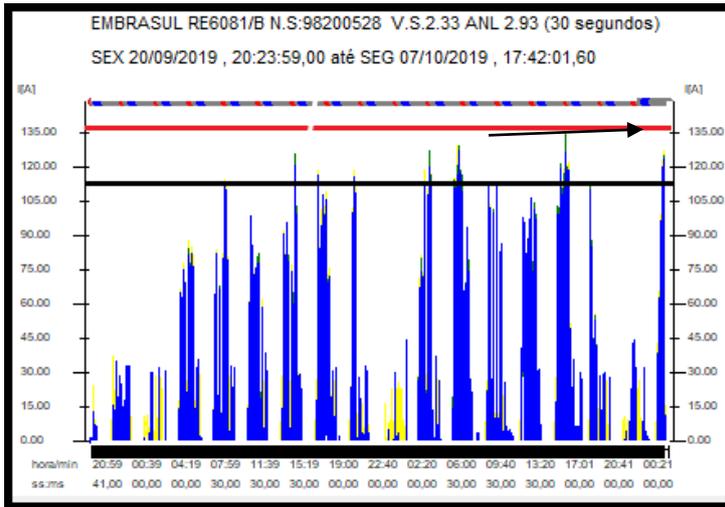
Tabela 10 - Relação de potência (kVA/CV), voltagem (VOLTS), corrente (AMPERES) trifásico

POTÊNCIA		CORRENTE		
		AMPERES		
kVA	CV	220V	380V	440V
30	37,65	78,73	45,58	39,36
45	56,47	118,09	68,37	59,05
75	94,12	196,82	113,95	98,41
112,5	141,18	295,24	170,93	147,62
150	188,25	393,65	227,9	196,82

Fonte: adaptado pelo autor (2019).

Os dados obtidos pelo Software ANL6000 referente à corrente da indústria em questão, demonstra por meio do Gráfico número 6 o período de análise de quinze dias, no qual apresenta em alguns momentos picos de corrente com intervalos de até um minuto, que chegam ao máximo de 136,16 A, conforme linha traçada na cor vermelha. Levando em consideração, que o transformador onde a empresa está conectada é de 75 kVA, e corrente máxima trifásica de 113,95, de acordo com a linha traçada na cor preta, constatou-se que o transformador em alguns momentos sofre uma sobre corrente de até 22 A.

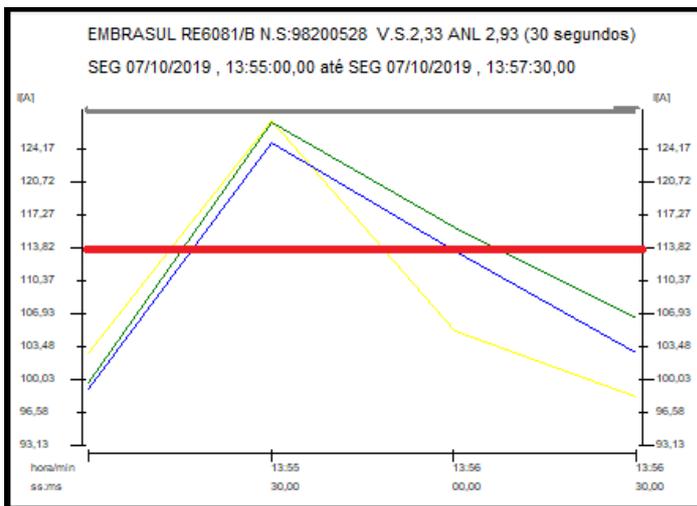
Gráfico 6 – Picos de corrente no período de 15 dias.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Nota: a seta representa o pico de corrente no dia sete de setembro de 2019, onde demonstra a corrente acima do limite nominal do transformador, representado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Pico de corrente acima do limite nominal do transformador.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Nesse sentido, um problema comum com relação a falhas dos transformadores é a sobrecarga, fator que acarreta superaquecimento e eventualmente degradação térmica que atua através de rachaduras no isolamento. Diante disso, quando surgem problemas no isolamento desenvolvem-se mais problemas no transformador, como absorção de umidade no óleo, acarretando na diminuição da vida útil ou até mesmo sua queima.

### 3.5.3 Análise de fator de potência

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.13), “o valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados da potência ativa e reativa (P, Q), ou das respectivas energias (EA, ER)”.

Utilizando - se as seguintes fórmulas:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \text{ ou } \frac{EA}{\sqrt{EA^2+ER^2}} \quad (3)$$

Sendo assim, ainda levando em consideração Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b, p.13), “para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 Kv, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com a regulamentação vigente”.

Na análise do fator de potência da indústria em estudo, conforme a Tabela 11 identificado pelo software ANL6000, constatou-se que o fator de potência médio é de 0,697 indutivo, diante disso, verifica-se que o mesmo está em desacordo com os valores estabelecidos pela norma regulamentadora.

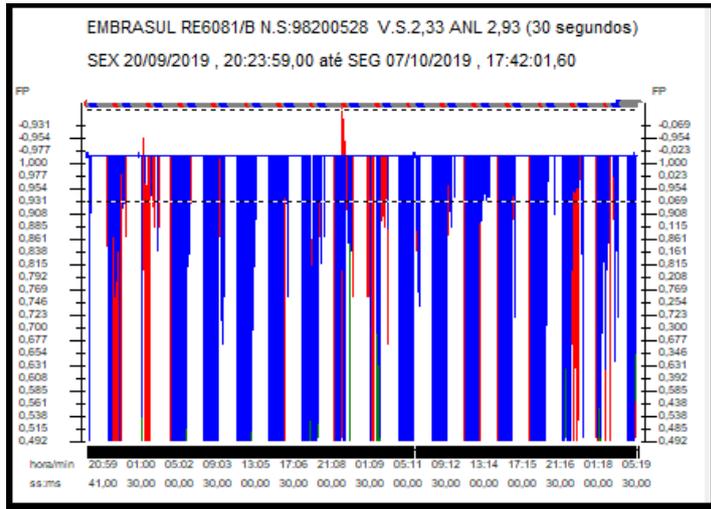
Tabela 11 - Fator de potência médio na fase A,B e C

<b>Fase</b>	<b>FP</b>
A	0,693
B	0,678
C	0,718
<b>Total</b>	<b>0,697</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Conforme Gráfico 8 foi verificado que fator de potência em alguns períodos do dia esteve com grande incidência de oscilações, ou seja, em desacordo com as normas regulamentares. Averiguou-se que os motores das máquinas não trabalham com carga constante, ou seja, os motores desempenham-se em alguns intervalos de tempo a vazio, ocasionando picos no fator de potência atingindo à incidência de FP 0, 100 a 0, 200 indutivo.

Gráfico 8 - Representa o fator de potência do período de quinze dias de análise.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

## 4 PROPOSTAS DE MELHORIAS

### 4.1 PROPOSTAS NA PLANTA ANALISADA DE BAIXO CUSTO

Em uma análise econômica, para que a indústria permaneça ligada em baixa tensão, pode-se adotar algumas medidas de baixo custo para a melhor obtenção da qualidade de energia, aumentando assim a vida útil de suas máquinas e equipamentos.

- Elaborar um cronograma para que ao ligar as máquinas e ou equipamentos não haja picos de corrente;
- Instalar chaves tipo: estrela triângulo, soft starter, de ligação para motores acima de 7,5 CV para que a mesma se encarregue de evitar picos de partida ao ligar as máquinas e ou equipamentos;
- Instalar um banco de capacitores para correção do fator de potência com um controlador, para melhor gerenciamento dos horários de aplicação;
- Redimensionar a bitola dos condutores da instalação em questão.

#### 4.1.2 Cálculos realizados para obtenção de melhorias em baixo e médio custo.

Utilizando-se os dados identificados pelo software ANL6000, foi possível calcular os valores para o fator de potência, consoante as normas regulamentadoras, isto é, 0,92. Conforme, exposto no cálculo abaixo.

Dados do cálculo:

Demanda máxima = 67,450 KW

Fator de potência atual = 0,695 = ao fazer o inverso do cosseno obtém-se 45,973°

Fator de adequado = 0,920 = ao fazer o inverso do cosseno obtém-se 23,074°

$$Q1 = 67,450 \times \operatorname{tg} 45,973^\circ = 69,780 \text{ KVAr} \quad (4)$$

$$Q2 = 67,450 \times \operatorname{tg} 23,074^\circ = 28,734 \text{ KVAr}$$

$$QT = 69,780 - 28,784 = 41,46 \text{ KVAr}$$

Levando-se em consideração o cálculo do banco de capacitor foi constatado uma instalação de um banco com capacidade mínima de 41,46 kVAr. De acordo com o Catalogo de correção de capacitores Weg para tensão de 380 V, a mesma não possui capacitor com esse

valor de kVAr, entretanto, pode-se adaptar um correspondente que a mesma dispõe no valor de 45,0 kVAr (WEG, 2019).

Entretanto, para evitar valores capacitivos, deve-se instalar junto ao banco de capacitores um controlador, para que o mesmo acione o banco de capacitores somente em momentos necessários. Como os motores da empresa em análise trabalham em intervalos de tempo a vazio, ocorre uma grande variação no fator de potência, diante disso, poderia ser efetuada a correção do mesmo junto aos equipamentos, adequando-os conforme cálculos expressos anteriormente.

Calculo para identificar a nova corrente e potência aparente do novo valor do fator de potência (0,92).

Fator de potência atual (5)

$$P = 67,450 \text{ KW}$$

$$FP = 0,697$$

$$S = P/FP = 96,77 \text{ KVA}$$

$$I = S/380 \sqrt{3} = 147,03 \text{ A}$$

Fator de adequado

$$P = 67,450 \text{ KW}$$

$$FP = 0,920$$

$$S = P/FP = 73,31 \text{ KVA}$$

$$I = S/380 \sqrt{3} = 111,38 \text{ A}$$

De acordo com os cálculos apresentados acima, ao adicionar um banco de capacitores de 45 kVAr, foi constatado que a corrente diminuiu para 111,38 A, ou seja, houve uma redução de 35,65 A. Dessa forma, o transformador de entrada da indústria não irá trabalhar acima de sua corrente nominal, isto é, 113,95 A.

Diante do exposto, é interessante ressaltar que se a empresa em questão permanecer em um período de aproximadamente cinco anos sem obter aumento na sua produção a aplicação das propostas acima citadas será válido para o desempenho de suas atividades, demandando poucos recursos financeiros.

## 4.2 PROPOSTAS DE MELHORIAS DE MÉDIO A ALTO CUSTO

Para que a indústria migre para média tensão, esta deve se adaptar as melhorias citadas no item número 4.1.1, pois, em média tensão a distribuidora local irá cobrar a correção do fator de potência.

A indústria ao se adaptar em média tensão irá modificar sua tarifação para tarifa convencional binômica, aquela aplicada a consumidores do grupo A, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas de utilização do dia.

- Redistribuir o circuito da indústria conforme as cargas correspondentes das máquinas, reduzindo as sobrecargas;
- Redimensionar a bitola dos condutores da instalação e questão;
- Adaptar a instalação de entrada da indústria em análise para média tensão, ou seja, 13,8 kV.

### 4.2.1 Cálculos para a indústria se adaptar a ligação de média tensão

#### 4.2.1.1 Quadro de carga instalada da indústria em análise

Composto por 1 motores 40 cv.

P. eixo motor  $40 \times 0,87 = 34,8 \text{ CV}$

Demanda  $34,8 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 32,37 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor= 49,2 A

Composto por 2 motores 25 cv.

P. eixo motor  $25 \times 0,85 = 21,25 \text{ CV}$

Demanda  $21,25 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 19,77 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor= 30 A

Composto por 2 motor 20 cv.

P. eixo motor  $20 \times 0,83 = 16,6 \text{ CV}$

Demanda  $16,6 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 15,44 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor= 23,46 A

Composto por 2 motores 10 cv.

P. eixo motor  $10 \times 0,83 = 8,3 \text{ CV}$

Demanda  $8,3 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 7,72 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor=  $11,73 \text{ A}$

Composto por 5 motores 7,5 cv.

P. eixo motor  $7,5 \times 0,83 = 6,225 \text{ CV}$

Demanda  $6,225 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 5,79 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor=  $9 \text{ A}$

Composto por 2 motores 5 cv.

P. eixo motor  $5 \times 0,83 = 4,15 \text{ CV}$

Demanda  $4,15 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 3,86 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor=  $5,86 \text{ A}$

Composto por 4 motores 3 cv.

P. eixo motor  $3 \times 0,7 = 2,1 \text{ CV}$

Demanda  $2,1 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 1,95 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor=  $2,96 \text{ A}$

Composto por 1 motores 2 cv.

P. eixo motor  $2 \times 0,7 = 1,4 \text{ CV}$

Demanda  $1,301 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 1,301 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor=  $2,00 \text{ A}$

Composto por 1 motores 1,5 cv.

P. eixo motor  $1,5 \times 0,7 = 1,05 \text{ CV}$

Demanda  $1,05 \times 0,736 / (0,86 \times 0,92) = 0,976 \text{ KVA}$

Corrente de cada motor=  $1,48 \text{ A}$

Quadro Iluminação

15 luminárias fluorescente 40 w .

Dil. =  $(1,8 \times 15 \times (40+210)) / 1000$

Dil =1,635 KVA

Demanda no Quadro de distribuição geral (QGF) – demanda máxima

$$D_{\max} = (32,37) \times 0,90 + (2 \times 19,77) \times 0,80 + (2 \times 15,44) \times 0,85 + (5 \times 1,625) \times 0,85 + (2 \times 7,72) \times 0,85 + (2 \times 3,86) \times 0,60 + (4 \times 1,94) \times 0,60 + (1,301) \times 0,60 + (0,976) \times 0,60 + (1,635) = 136,858 \text{ KVA}$$

Transformador Trifásico de 150 KVA 220/380 Volts

$$I \text{ corrente} = 150000 / (380 \times 1,732) = 225 \text{ A}$$

Disjuntor trifásico de caixa moldada de 225 A

De acordo com a Tabela de ampacidade de cabos deve-se usar cabos de 120 mm.

Contudo, se houver um aumento da produtividade da indústria em questão, caso a mesma possua recursos financeiros disponíveis, poderá investir nas propostas acima citadas, isto é, adaptar sua ligação de entrada para média tensão, ou seja, 13,8 kV, evitando dessa forma, que a indústria sofra redução na produtividade e por consequência o aumento de seu custo benefício.

## 5 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO AO ADAPTAR AS MELHORIAS SUGERIDAS NA INDÚSTRIA EM ANÁLISE

### 5.1 CUSTOS PARA QUE A INDÚSTRIA PERMANEÇA EM BAIXA TENSÃO.

Conforme descrito no item 4.1 a indústria, levando em consideração as propostas sugeridas nesse estudo de caso, ao optar por permanecer em baixa tensão, pode adaptar a sua planta elétrica um banco de capacitores em baixa tensão.

A indústria precisa, além disso, calcular os condutores adequando-os as cargas elétricas equivalentes as necessidades dos equipamentos, conforme normas regulamentadoras.

Outro fator relevante seria efetuar um levantamento de todos os motores e adaptar chaves para evitar picos de corrente de partida. Diante disso, pode-se citar algumas chaves de partida que podem reduzir os picos de corrente, tais como, estrela triângulo e soft starter.

Contudo, buscou-se por meio de pesquisas identificar o custo dos materiais necessários para adaptação do mesmo. Conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Estimativa de custo para implantar banco de capacitores em baixa tensão

(continua)

<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço unitário R\$</b>	<b>Preço Total R\$</b>
01	Capacitor trifásico anti explosivo 2,50 kVar 380 V	62,80	62,80
01	Capacitor trifásico anti explosivo 5,00 kVar 380 V	83,65	83,65
01	Capacitor trifásico anti explosivo 7,50 KVar 380 V	110,25	110,25
01	Capacitor trifásico anti explosivo 10,0 kVar 380 V	127,69	127,69
01	Capacitor trifásico anti explosivo 20,0 kVar 380 V	215,62	215,62
01	Barramento de cobre 1 x ¼ 359 A	94,20	94,20
01	Barramento de cobre 3/4 x ¼ 269 A	64,30	64,30
01	Contator para capacitor de 3 kVAR	44,01	44,01

Quadro 5 - Estimativa de custo para implantar banco de capacitores em baixa tensão

(conclusão)

<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço unitário R\$</b>	<b>Preço Total R\$</b>
01	Contator para capacitor de 5 kVAR	45,98	45,98
01	Contator para capacitor de 7,50 kVar	74,78	74,78
03	Contator para capacitor de 10 kVar	86,88	260,64
01	Controlador de fator de potência	427,11	427,11
01	Disjuntor caixa moldada tripolar 100 A	175,83	175,83
01	Isolador epox diâmetro 30mm	3,24	3,24
01	Isolador epox diâmetro 40mm	3,70	3,70
01	Isolador epox diâmetro 50mm	3,85	3,85
01	Quadro de comando 1200 x 680 x 220	650,00	650,00
01	Terminal de compressão para cabo	0,83	0,83
01	Terminal de compressão para cabo 120 mm	7,63	7,63
01	Terminal de compressão para cabo	3,15	3,15
01	Terminal de compressão para cabo	5,14	5,14
01	Tripolar 10 A 3 KA	18,88	18,88
02	Tripolar 20 A 3 KA	18,88	37,76
03	Tripolar 32 A 3 KA	18,88	56,64
01	Tripolar 40 A 3 KA	19,68	19,68
01	Mão de obra	2.500,00	2.500,00
<b>Total R\$</b>			<b>5.097,36</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2019)

## 5.2 CUSTOS PARA QUE A INDÚSTRIA MIGRE PARA MÉDIA TENSÃO

A indústria, ao optar por modificar sua ligação de entrada para média tensão, deve adaptar a sua planta elétrica atual, as propostas sugeridas no item 4.2, bem como, os custos citados no item 5.1. Para isso, buscou-se por meio de pesquisas identificar o custo dos materiais necessários para implantação da ligação de entrada para média tensão. Conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Estimativa para adaptar a ligação de entrada da indústria para média tensão

(continua)

<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço unitário R\$</b>	<b>Preço Total R\$</b>
01	Transformador a óleo mineral 150 kVa/13.800 – 380/220	15.400,00	15.400,00
03	Chave fusível indicadora unipolar 15 kV300A	460,80	1.382,40
01	Poste de concreto duplo T 1000/12	2.690,00	2.690,00
03	Cruzeta de concreto armado 1,900 mm	120,00	360,00
24	Porca quadrada para parafuso M 16 x 2	6,90	165,60
28	Arruela quadrada 50 x 3 mm	6,50	182,00
03	Gancho olhal	24,00	73,20
03	Manilha sapatilha para alça pré formada	25,86	77,58
03	Olhal para parafuso de 5/8	22,00	66,00
04	Parafuso cabeça quadrada M 16 x 2 C – 350	23,50	94,00
04	Parafuso cabeça quadrada M 16 x 2 C – 400	23,50	94,00
08	Parafuso cabeça quadrada M 16 x 2 C – 500	23,50	188,00
03	Alça preformada de distribuição para condutor de alumínio 4 AWG	14,50	43,50
06	Isolador de suspensão vidro ou porcelana 15 kV	36,10	216,60
03	Para raios 10 kV/10 kA	185,00	555,00
36 M	Cabo de cobre 120 mm <sup>2</sup>	68,00	2.444,00
12 M	Cabo de cobre 70 mm <sup>2</sup>	42,00	504,00
21 M	Fio de cobre nu 50 mm <sup>2</sup>	36,80	772,80
03	Pára – raio tipo válvula para sistema 12 kV	360,00	1.080,00
03	Elo fusível 8 k	14,90	47,70
06	Aste de terra em aço cobreado seção 13 x 2000 mm	40,90	245,40

Quadro 6 - Estimativa para adaptar a ligação de entrada da indústria para média tensão

(conclusão)

<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço unitário R\$</b>	<b>Preço Total R\$</b>
06	Conector reforçado para aste terra em aço cobreado seção 13 x 2000 mm	25,00	150,00
07	Conector para condutor de aço cobreado 7 x 10 AWG	24,00	168,00
01	Quadro para medição semi - direta grupo A	2.690,00	2.690,00
09	Eletroduto de PVC de 3 polegadas	26,90	242,10
03	Curva de PVC roscavel 3 polegadas	19,50	58,50
08	Luva de PVC roscavel de 3 polegadas	14,30	114,40
01	Disjuntor trifásico 225 A	1.259,00	1.259,00
01	Caixa de proteção da medição 500/223 mm	1.290,00	1.290,00
01	Montagem	10.800,00	10.800,00
<b>Total R\$</b>			<b>43.453,78</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico da qualidade de energia elétrica efetuada na planta industrial em questão, teve como intuito analisar por meio do produto oferecido pela distribuidora local, os critérios de tensão  $V_a$ ,  $V_b$  e  $V_c$ , desequilíbrio de tensão, correntes  $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$  fator de potência, bem como, o tipo de ligação de entrada. Para isso, foram utilizados parâmetros baseados em normas regulamentadoras, tais como, Prodist módulo 3 e módulo 8.

Para isso, foram realizadas medições, utilizando-se um analisador de energia RE6081, conectado à rede elétrica da indústria, durante um período de quinze dias. Sendo assim, verificou-se que a tensão em regime permanente da indústria em análise, obteve variações nos níveis de tensão permanecendo por grande parte do tempo entre o limite de tensão adequada a tensão precária, atingindo em alguns momentos o nível crítico. Com relação ao desequilíbrio de tensão, foi identificada uma variação aproximadamente entre 11,2%, sendo que de acordo com a norma regulamentadora, isto é, Prodist módulo 8, a variação máxima permitida é de 3%.

Por ser uma indústria alimentada em baixa tensão, sua corrente de alimentação é limitada conforme a potência do transformador, neste caso de 75 kVA, com corrente máxima trifásica de 113,95 A. Diante disso, a corrente analisada apresentou picos de 136,16 A, fator que acarreta uma sobre corrente no transformador.

Verificou-se que o fator de potência está em desacordo com as normas regulamentadoras, ou seja, apresentou em alguns momentos uma grande incidência de oscilações, chegando a FP 0,1 e 0,2 indutivo. Utilizando os dados coletados pelo software ANL6000, foi calculado um banco de capacitores para adequar o fator de potência da indústria em questão as normas vigentes.

Diante do exposto, a indústria possui duas opções de propostas de melhorias que podem ser avaliadas, ou seja, caso não obtenha uma perspectiva de aumento produtiva iminente, esta pode apenas corrigir o fator de potência e permanecer em baixa tensão. Entretanto, se a mesma possuir uma percepção de aumento de produtividade e recursos financeiros suficientes, esta pode efetuar sua ligação de entrada em média tensão.

Contudo, para que a indústria obtenha uma energia de qualidade, é necessário que a mesma se adapte a uma das sugestões acima citadas, monitorando o desempenho da planta industrial para identificar se foram supridas as deficiências identificadas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 12**, de 11 de janeiro de 2002. Estabelece as condições gerais para a regularização de cooperativas de eletrificação rural, nos termos do art. 23 da Lei nº 9.074/95. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/res2002012.pdf> Acesso em: 03 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução normativa nº 414**, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf> Acesso em: 07 abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução normativa nº 479**, de 3 de abril de 2012. Altera a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>. Acesso em: 07 jun. de 2019.

\_\_\_\_\_. **PRODIST - Módulo 1**. 2008. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1\\_Revis%C3%A3o10/f6c63d9a-62e9-af35-591e-5fb020b84c13](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1_Revis%C3%A3o10/f6c63d9a-62e9-af35-591e-5fb020b84c13) Acesso em: 06 nov. 2019

\_\_\_\_\_. **PRODIST - Módulo 3**. 2016a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-3>. Acesso em: 07abr.2019.

\_\_\_\_\_. **PRODIST - Módulo 8**. 2016b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em: 12 abr.2019.

\_\_\_\_\_. **PRODIST - Módulo 8**. 2017. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9). Acesso em: 12 abr.2019.

\_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil: Capítulo 1**. [2019]. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf) Acesso em: 06 nov. 2019.

ANDRADE, Camila. **Qual a diferença entre Soft starter e Inversor de frequência**. Disponível em: <https://www.saladaeletrica.com.br/qual-diferenca-entre-soft-starter-e-inversor-de-frequencia/>. Acesso em: 01 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5460**: Sistemas elétricos de potência. 1992. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/100161185/NBR-5460-1992-Sistemas-Eletricos-de-Potencia>. Acesso em: 28 abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 5410**. Instalações elétricas de baixa tensão. 2008. Disponível em: [https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr\\_5410.pdf](https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf). Acesso em: 22 jun.2019.

AZEVEDO, Beatriz de. **Os 3 Setores que Consomem mais Energia no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://thermomixbrasil.com.br/os-3-setores-que-consomem-mais-energia-no-brasil/>. Acesso em: 01 out. 2019.

BELINOVSKI, K. D.; BISPO, D.; DE PAULA SILVA, S. F. Análise de Eficiência Energética em uma Indústria de Palitos. In.: **3º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética**, 2009, Belém-PA. Anais do CBEE 2009 - 3º Edição, 2009.

BERGHAN, B. B. et al. Qualidade de energia: estudo de caso de uma indústria metalmeccânica no sul do Brasil. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, n. 3, v.315, 2017. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/319309876\\_Qualidade\\_de\\_energia\\_estudo\\_de\\_caso\\_de\\_uma\\_industria\\_metalmeccanica\\_no\\_sul\\_do\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/319309876_Qualidade_de_energia_estudo_de_caso_de_uma_industria_metalmeccanica_no_sul_do_Brasil). Acesso em: 03 jun. 2019.

BEUREN, I. M. et al. **Como elaborar trabalhos monográficos em Contabilidade**. 3 ed. São Paulo, Atlas 2008.

BRASIL. **Lei nº 9074**, de 07 de julho de 1995. Estabelece Normas Para Outorga e Prorrogações das Concessões e Permissões de Serviços Públicos e Dá Outras Providências. Brasília, DF, 07 jul. 1995. Disponível em:

[http://novo.more.ufsc.br/legislacao/inserir\\_legislacao](http://novo.more.ufsc.br/legislacao/inserir_legislacao). Acesso em: 21 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 479, de 20 de março de 1992. **Altera A Redação do Art. 7º do Decreto Nº 62.724, de 17 de Maio de L968**. Brasília, Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1990-1994/D479.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D479.htm)>. Acesso em: 06 nov. 2019.

BRAGA, N. C. **Fator de potência - A necessidade da correção (ART111)**. 2019.

Disponível em:

[http://www.newtoncbraga.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=819:fator-de-potencia-a-necessidade-da-correcao-art111&catid=54:dicas&Itemid=41](http://www.newtoncbraga.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=819:fator-de-potencia-a-necessidade-da-correcao-art111&catid=54:dicas&Itemid=41) Acesso em: 22 jun. 2019.

CARVALHO, A. C. de. **Estudo de Caso: diagnóstico do consumo e da qualidade de energia numa indústria metalúrgica**. 2004. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.

Disponível em:

[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87247/carvalho\\_ac\\_me\\_ilha.pdf;jsessionid=F0CFAC7D3C1EB2F6863D8783F7AD9B16?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87247/carvalho_ac_me_ilha.pdf;jsessionid=F0CFAC7D3C1EB2F6863D8783F7AD9B16?sequence=1). Acesso em: 05 mai. 2019.

CELESC. **Padronização de entrada de energia elétrica de unidades consumidoras de baixa tensão E-321. 0001**. 2012. Disponível em:

<http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/E3210001.pdf> Acesso em: 18 mai. 2019.

COLAUTO, Romualdo Douglas; BEUREN, Ilse Maria. Coleta, análise e interpretação dos dados. In. BEUREN, Ilse Maria. (Org). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2006.

ECCO ENGENHARIA. **6 aspectos importantes sobre a tarifa horo-sazonal que você precisa entender**. 2018. Disponível em: <https://blog.eccoengenharia.com.br/tarifa-horo-sazonal/>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ELETRONBRAS (Org.). **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. 2011. Disponível em:

[http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores//asset\\_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores//asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false) Acesso em: 22 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de Distribuição: Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão (13,8 kV e 34,5 kV)**. 1 ed. 2013. Disponível em: [http://www.eletronbrasamazonas.com/cms/wp-content/uploads/2013/12/NDEE\\_1\\_MT\\_VERSAO\\_DEZEMBRO\\_2013.pdf](http://www.eletronbrasamazonas.com/cms/wp-content/uploads/2013/12/NDEE_1_MT_VERSAO_DEZEMBRO_2013.pdf) Acesso em: 06 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Norma Técnica de Fornecimentos de Energia Elétrica em Média Tensão**. 2014. Disponível em: <[https://www.cepisa.com.br/wp-content/uploads/2016/06/NDEE-01\\_Fornecimento-Energia-em-MT-138-KV-e-345KV.pdf](https://www.cepisa.com.br/wp-content/uploads/2016/06/NDEE-01_Fornecimento-Energia-em-MT-138-KV-e-345KV.pdf)> Acesso em: 22 jun. 2019.

ENERGISA (Org.). **Norma de distribuição unificada – NDU-001: fornecimento de energia elétrica em tensão secundária edificações individuais ou agrupadas até 3 unidades consumidoras**. 2010. Disponível em: [http://www.ufjf.br/ivo\\_junior/files/2010/12/NDU001-Energisa.pdf](http://www.ufjf.br/ivo_junior/files/2010/12/NDU001-Energisa.pdf). Acesso em: 25 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Norma de Distribuição Unificada – Ndu-001: fornecimento de energia elétrica em tensão secundária edificações individuais ou agrupadas até 3 unidades consumidoras**. 2012. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Documents/pdfs/ndu/ndu001.pdf> Acesso em: 06 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Norma de Distribuição Unificada NDU – 001**. 2017. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20001%20-%20Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Tens%C3%A3o%20Secund%C3%A1ria%20Edifica%C3%A7%C3%B5es%20Individuais%20ou%20Agrupadas%20at%C3%A9%203%20Unidades%20V5.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ENGELELETRICA. **Manual de Correção do Fator de Potência**. 2019. Disponível em: [http://www.engeletrica.com.br/novo-site/fatordepotencia-manual\\_fatordepotencia.html](http://www.engeletrica.com.br/novo-site/fatordepotencia-manual_fatordepotencia.html) Acesso em: 25 jun. 2019.

GUEDES JUNIOR, O. M. **Análise tarifária e avaliação do fator de carga para auxílio a decisão: Estudo de Caso em Indústria Siderúrgica**. 2012. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/1172488.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2019.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E.D.A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EDU, 1986.

MACEDO JUNIOR, J. R. **Uma contribuição à análise das componentes interharmônicas e seus efeitos nos indicadores de flutuação de tensão**. 2009. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

MARCONI, M.de A; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1996.

- MARTINIANO, U. G. N. **A ANEEL regula venda de excedentes das distribuidoras.** Agência CanalEnergia. Rio de Janeiro, 25 de julho de 2018. Disponível em: [http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/56\\_martiniano1.pdf](http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/56_martiniano1.pdf). Acesso em: 29 jun. 2019.
- MATOS, M. A. **Sistema por unidade.** 1992-2003. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~mam/sistemapu.pdf> Acesso em: 06 nov. 2019.
- MENEZES, E. M.; SILVA, E. L. da. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000.
- MUNDO ELÉTRICA. **Partida direta para motores! O que é e qual sua aplicação?** 2019. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/partida-direta-para-motores-o-que-e-e-qual-sua-aplicacao/>. Acesso em: 01 out. 2019.
- PADILLA, J. V. **Qualidade de Energia Elétrica.** 2008. Disponível em: <https://www.procobre.org/pt/wp-content/uploads/sites/4/2018/03/qet02-qualidade-energia-eletrica-aula-pratica.pdf> Acesso em: 18 mai.2019.
- PAULILLO, G.; TEIXEIRA, M. Flutuações de Tensão. In: **Qualidade de Energia.** Brasil: Atitude Editorial, 2013. p. 38-47. Disponível em: [http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ed-90\\_Fasciculo\\_Cap-VII-Qualidade-de-energia.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ed-90_Fasciculo_Cap-VII-Qualidade-de-energia.pdf). Acesso em: 06 nov. 2019.
- POLÍTICA tarifária brasileira garante qualidade e preços acessíveis. 2018. Disponível em: <http://legado.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2011/12/politica-tarifaria-brasileira-garante-qualidade-e-precos-acessiveis>. Acesso em: 01 out. 2019.
- PORTA DO ELETRICISTA. **Chave Soft-Starter: Partida Suave de Motores em Corrente Alternada.** 2014. Disponível em <http://www.portaeletricista.com.br/chave-soft-starter/> Acesso em: 06 nov. 2019.
- Quais são as modalidades tarifárias em vigência no Brasil? 2018. Disponível em: [http://www.tradener.com.br/atualidades\\_detalhes/quais-sao-as-modalidades-tarifarias-em-vigencia-no-brasil](http://www.tradener.com.br/atualidades_detalhes/quais-sao-as-modalidades-tarifarias-em-vigencia-no-brasil). Acesso em: 10 jun. 2019.
- ROSA, G. **Manual de Instalação e Operação:** Embrasul. 2007.
- SCARPIN, B. **O que é Fator de Potência?.** 2017. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/o-que-e-fator-de-potencia/> Acesso em: 13 jun. 2019.
- SEAN. **Figura partida direta.** Disponível em: [www.sean.com.br](http://www.sean.com.br). Acesso em: 01 out. 2019.
- SEVENIA. **Principais Parâmetros da Qualidade da Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.sevenia.com.br/pq-parameters/>. Acesso em: 01 out. 2019.
- WEG. (Org.) **Manual para Correção do Fator de Potência.** 2009. Disponível em: [http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/cagnon/instala\\_2/manual\\_fator\\_potencia.pdf](http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/cagnon/instala_2/manual_fator_potencia.pdf) Acesso em: 18 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Manual para Correção do Fator de Potência.** 2009. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf> Acesso em: 06 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Banco Capacitores BCW45V25 T.** Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Control-Industrial/Controls/Capacitores-e-Corre%C3%A7%C3%A3o-do-Fator-de-Pot%C3%Aancia/Capacitores-para-Corre%C3%A7%C3%A3o-do-Fator-de-Pot%C3%Aancia/Banco-de-Capacitores-Trif%C3%A1sico-BCW/BANCO-CAPACITORES-BCW45V25-T/p/14893544>. Acesso em: 01 out. 2019.