



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MÁRIO HENRIQUE DE SOUZA CAVALCANTE

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA:
ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DO SETOR CALÇADISTA NA
CIDADE DE CAMPINA GRANDE- PB**

**Campina Grande – Paraíba
Dezembro de 2019**

MÁRIO HENRIQUE DE SOUZA CAVALCANTE

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA:
ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DO SETOR CALÇADISTA, NA
CIDADE DE CAMPINA GRANDE- PB.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial das exigências para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2019

CAVALCANTE, Mário Henrique de Souza.
Gerenciamento de energia elétrica: estudo de caso de uma
empresa do setor calçadista na cidade de Campina Grande - PB. /
Mário Henrique de Souza Cavalcante. – Campina Grande, 2019. 65f.

Orientador: Edmar Candeia Gurjão
TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade
Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica.
Campina Grande, Paraíba, 2019.

1.Energia 2. Custos 3. Setor calçadista.

MÁRIO HENRIQUE DE SOUZA CAVALCANTE

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DE UMA
EMPRESA DO SETOR CALÇADISTA NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE- PB.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em ____ de Dezembro de 2019.

Prof. Edmar Candeia Gurjão, Doutor
DEE/ CEEI/ UFCG
Orientador

Prof. Adolfo Herbster, Doutor
DEE/ CEEI/ UFCG
Examinador

**Campina Grande – Paraíba
Dezembro de 2019**

*“Suba o primeiro degrau com fé.
Não é necessário que você veja toda a escada.
Apenas dê o primeiro passo.”
(Martin Luther King)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por me permitir alcançar esse objetivo tão importante na minha vida, dando-me forças para seguir adiante e superar os vários obstáculos dessa caminhada árdua, possibilitando chegar à etapa de elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso e ter capacitação para aplicar os conhecimentos adquiridos.

Logo em seguida quero agradecer aos meus pais, Mario Cavalcante e Luciana Farias Cavalcante, que a todo momento estavam me apoiando e incentivando, além de proporcionar a oportunidade de cursar a graduação longe de casa.

A minha namorada Marília, que sempre me ajudou quando eu estava em momentos de fraqueza e tensão, me confortando. Pelas ajudas nas atividades acadêmicas e pelos momentos de felicidade que me ajudou a seguir em frente perante os obstáculos.

A meu irmão Brenno e meus amigos Douglas, Marcos Vinicius pela companhia do dia a dia, das idas no Ureia, das conversas e dos momentos bons que mantém afastada a solidão.

A todos meus amigos que à UFCG me deu e que foram importantes durante o curso, em especial Gabrielly Mendes que me acompanhou e me ajudou muito, a meu amigo Alexandre Barbosa que sempre esteve por perto e sem ele esse trabalho não seria possível, agradeço também a um grande amigo Alexandre Júnior por toda a amizade e a ajuda prestada.

Às minhas amigas Ariadne e Izadora, que além dos momentos de descontração, tiveram muitos momentos de incentivo e sem elas talvez eu não tivesse conseguido concluir metade das disciplinas do curso.

A todos os professores e funcionários da UFCG que fizeram parte desse momento especial, e ao meu orientador Edmar Candeia Gurjão pela oportunidade de ceder seu equipamento, laboratório e o pessoal do laboratório.

A Edmar Pinto, engenheiro responsável pelo laboratório que me ajudou deixando o medidor perfeito para a medição na fábrica e por todas as dicas mostradas quando estava precisando de ajuda.

Por fim, quero agradecer a todos que estiveram presentes de alguma forma em minha vida e me ajudaram a concluir o curso.

CAVALCANTE, Mário Henrique de Souza Cavalcante. **Gerenciamento de Energia Elétrica: estudo de caso de uma empresa do setor calçadista na cidade de Campina Grande- PB.** 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019.

RESUMO

No atual cenário industrial calçadista do país, uma empresa que queira sobreviver deve ter conhecimento sobre todas as variáveis que afetam seus custos. Sendo a energia elétrica um fator importante neste estudo, é feita uma avaliação do consumo energético de uma empresa do setor calçadista na cidade de Campina Grande-PB, identificando e mensurando os custos relativos ao seu sistema elétrico para uma futura análise, redução de gastos e proposição de medidas que contribuam com a eficiência do sistema. Utilizando um medidor de consumo de energia, desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande, foi observado que a geração distribuída é uma opção para empresa, uma vez que seu consumo concentra-se no horário diurno, período que ocorre a totalidade da incidência solar. Além disso, foi realizada a análise do comportamento do medidor frente a confiabilidade de suas medias, utilizando TC's tipo janela, amplamente comercializados no comercio local.

Palavras-Chave: Energia; Eficiência; Custo; Setor calçadista.

CAVALCANTE, Mário Henrique de Souza Cavalcante. **Electric power management: shoe sector company research localized in Campina Grande –PB.** 65f. Supervised Internship Report (Bachelor of Electrical Engineering) - Federal University of Campina Grande, Paraíba, 2019.

ABSTRACT

In the current footwear industrial scenario of the country a company that wants to survive the market must have knowledge about all the variables that affect negatively its costs. Consequently, a study about how electric energy is utilized it is crucial. The main objective of this study is to undertake an analysis about the current energy consumption of the company to identify and measure the costs related to its electrical system for future analysis and reduction of expenses and proposing measures that contribute to the efficient use of electricity. Furthermore, Using an energy consumption meter developed at the Federal University of Campina Grande, it was observed that the possibility of distributed generation is an option for the company, since its consumption is entirely at the daytime during solar incidence, as was also done the analysis of the behavior of the meter against the reliability of its means, using window type CT's, widely commercialized in the local trade.

Keywords: Energy; Costs; shoe sector.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fator de Potência

Equação 2 - Potência Ativa

Equação 3 - Módulo da Potência Aparente

Equação 4 - Potência Aparente

Equação 5 - Potência Reativa

Equação 6 - Cálculo de Potência do Banco de Capacitores

Equação 7 – Cálculo da potência de geração diária das placas fotovoltaicas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de um diagnóstico energético.....	20
Figura 2 - Sistema informatizado de gestão energética empresarial	22
Figura 3 - Triângulo de potências.....	26
Figura 4 - Máquina de Moinho.....	33
Figura 5 - Máquina Extrusora.....	34
Figura 6 - Equipamento Aglutinador.....	34
Figura 7 - Injetora convencional.....	35
Figura 8 - Injetora rotativa.....	36
Figura 9 - Esquema de ligação do medidor na instalação	37
Figura 10 - Acesso aos dados pelo Grafana	38
Figura 11 - Dados da potência ativa mostrados no Grafana	38
Figura 12 - Medidor e ponto de instalação.....	39
Figura 13A/B - Entrada de energia da fábrica de calçados	40
Figura 14 - Gráfico do histórico de consumo de energia ativa.....	41
Figura 15 - Gráfico do histórico de demanda na fábrica.	42
Figura 16 - Gráfico da energia reativa excedente faturada nos últimos 12 meses	46
Figura 17 - Fator de potência medido na instalação no dia 06 de novembro de 2019	46
Figura 18 - Triângulo de potência com o método de correção de fator de potência aplicado.....	47
Figura 19 - Atual banco de capacitores da empresa	48
Figura 20 - Desequilíbrio de fator de potência na instalação.	49
Figura 21 - Potência reativa medida na instalação no dia 06 de novembro de 2019.....	50
Figura 22 - Disjuntor responsável pelo acionamento do banco de capacitores.....	50
Figura 23 - Potência reativa após a solução do problema.	51
Figura 24 - Desequilíbrio de carga entre fases	52
Figura 25 - Resistência tipo coleira de porcelana.....	53
Figura 26 - <i>Soft-starter</i>	55
Figura 27 - Motor da fábrica com ventilação ineficiente por excesso de sujeira	57
Figura 28 - Evolução dos motores elétricos.	57
Figura 29 - Transformador de corrente tipo garra.....	58
Figura 30 - Transformador de corrente tipo janela.....	59
Figura 31 - Conexões acumuladas de geração fotovoltaica até 2016.....	60
Figura 32 - Irradiação solar diária média mensal	61
Figura 33 - Inversor trifásico.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eventos que iniciaram os debates em relação a conservação energética	22
Tabela 2 - Estrutura Tarifária	29
Tabela 3 - Fatura de energia elétrica da empresa	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AT – Alta Tensão

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FP – Fator de Potência

GE – Gestão Energética

HSP - Irradiação Solar Diária Média Mensal

LABMET – Laboratório de Metrologia da UFCG

PB – Estado da Paraíba

PROÁLCOOL - Programa Nacional do Alcool

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PVC – em inglês: *Polyvinyl Chloride*; em português: Policloreto de polivinila

RMS - *Root Mean Square*; em português: Raiz do Valor Quadrático Médio

SEBRAE – Serviço Brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas

TC – Transformador de Corrente

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

Sumário

CAPÍTULO 1	15
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Geral	16
1.2.2 Específicos	16
1.3 O Problema	Error! Bookmark not defined.
1.4 Justificativa	17
1.5 Estrutura do Trabalho	17
CAPÍTULO 2	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Sistema de Gestão Energética	19
2.2 Eficiência Energética no Brasil	22
2.3 Gerenciador de Energia	23
2.4 Fator de Potência	24
2.4.1 Consumo Reativo Excedente (kVARh)	27
2.5 Demanda	27
2.6 Tensão de Fornecimento e Classificação dos Consumidores	28
2.6.1 Estrutura Tarifária Horo-Sazonal	29
CAPÍTULO 3	31
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	31
3.1. A Pesquisa	31
3.2. Coleta de Dados	31
CAPÍTULO 4	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 A Empresa Objeto de Estudo	32
4.2 O Processo Produtivo	33
4.3 Resultados Obtidos	37
4.3.1 Medidor Utilizado	37
4.3.2 Análise do Consumo de Energia Elétrica	39
4.3.3 Análise da Demanda	41

4.3.4	Análise da Estrutura Tarifária.....	43
4.3.5	Energia Reativa Excedente.....	44
4.3.5	Desequilíbrio de Cargas	51
4.3.6	Picos de Potência (Aglutinador)	53
4.4	Manutenção das máquinas e motores	55
4.5	Sugestão Para o Medidor Utilizado	58
4.6	Proposta de Geração Distribuída com Energia Solar Fotovoltaica	59
CAPÍTULO 5		63
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5.1	Dificuldades e Limitações do Trabalho	64
5.2	Recomendações para Trabalhos Futuros	64

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A intenção desse capítulo é retratar o tema, a problematização e os objetivos do estudo realizado. O tema do estudo é baseado no gerenciamento de energia com sua aplicação no fator de potência, em uma empresa calçadista localizada na cidade de Campina Grande-PB.

1.1 Contextualização

O gerenciamento de energia é considerado a coordenação proativa e sistemática da aquisição, conversão, distribuição e uso de energia dentro de uma empresa, com o intuito de reduzir continuamente o consumo de energia e evitar os desperdícios de energia relacionados (AGÊNCIA DE ENERGIA ALEMÃ, 2010).

A energia elétrica vem assumindo cada vez mais uma importância crescente, tornando-se fundamental tanto para o uso doméstico quanto para as atividades dos diversos setores da economia mundial. Esse crescimento é motivado pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética e por restrições ambientais.

O Programa de Eficiência Energética regulado pela ANEEL traz como principal propósito o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia, trazendo pontos de vista diferentes dos tradicionais, mostrando, por meio de projetos com boa viabilidade econômica, como é possível diminuir o desperdício de energia, desde instalação de equipamentos mais modernos e mais eficientes, até mudanças de conduta que garantam que o desperdício seja amenizado (ANEEL, 2016).

O setor industrial responde por 37,5% de toda energia consumida no Brasil, conforme relatório divulgado pelo Balanço Energético Nacional (2019). Na indústria, o consumo de energia elétrica representa um dos custos mais elevado para o processo de produção e, diante deste cenário, a economia de energia obtida em ações de eficiência energética no setor industrial gera benefícios para toda a sociedade.

Além da redução dos custos operacionais, um sistema de gerenciamento integrado de energia possibilita que a indústria tenha uma atitude responsável e econômica no processo de produção. Hoje, uma redução de consumo de energia afeta toda a cadeia produtiva, incluindo os consumidores finais, que perceberão um reflexo positivo no preço do produto acabado.

A empresa em estudo trata-se de uma indústria calçadista, com foco na produção de calçados femininos, localizada no bairro de Bodocongó na cidade de Campina Grande-PB. Operando no mercado a cerca de 25 anos, a empresa tem um apelo muito grande em sustentabilidade. Embora a matéria-prima para a fabricação dos calçados seja fruto do processo de reciclagem, esta não possui um sistema de gerenciamento de energia elétrica. Com isso, ocorrem muitos problemas referentes à eficiência energética e controle de gastos, onde as medições, que deverão ser efetuadas na empresa, tem por finalidade reduzir custos operacionais e obter um bom aproveitamento energético.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O estudo objetiva avaliar o gerenciamento energético de uma empresa de calçados localizada em Campina Grande-PB.

1.2.2 Específicos

- Analisar os principais pontos de consumo;
- Identificar os principais problemas causados pela falta de controle no gerenciamento de energia;

- Realizar um levantamento dos registros da demanda elétrica;

- Analisar o comportamento do medidor em uma carga industrial;

- Enumerar oportunidade de melhorias que resultem na minimização e/ou eliminação das repercussões negativas no gerenciamento energético da empresa.

1.3 Problemática

A falta de um gerenciamento de energia adequado é prejudicial para o negócio de diversas empresas, pois influencia diretamente nos gastos e receitas. Na indústria, o consumo de energia elétrica representa um dos custos mais elevados para o processo de produção e, diante deste cenário, a economia de energia obtida em ações de eficiência energética no setor industrial gera benefícios para toda a sociedade.

A dificuldade de geração de energia elétrica causada pela crise hídrica, o aumento do consumo, companhias elétricas endividadas, falta de planejamento e investimento do setor em novas alternativas são alguns fatores para o aumento exponencial no preço da energia.

O problema de descontrole é comum e alguns empreendedores alegam falta de tempo e desconhecimento das ferramentas e equipamentos para um gerenciamento adequado na indústria.

A empresa em estudo não possui um controle de gerenciamento de energia e os aumentos progressivos na conta de energia, sem previsão de estabilidade ou redução de preços, prejudica a todos e é um alerta para o setor industrial que pode ter a sua produção comprometida e até mesmo inviabilizada.

Estes problemas são encontrados na empresa, implicando em um controle ineficaz de energia. Diante desta realidade, surge o questionamento: Como gerir o consumo energético de forma eficiente e eficaz em uma indústria do segmento calçadista na cidade de Campina Grande-PB?

1.4 Justificativa

Para atingir um bom desempenho energético, é necessário o uso adequado e eficiente dessa energia no planejamento da indústria, pois um sistema de gestão, além de auxiliar na redução dos custos operacionais, possibilita que a indústria tenha uma atitude responsável e econômica no processo produtivo, podendo melhorar a produtividade, assim como a competitividade da indústria.

O desenvolvimento de um conjunto de diretrizes para as decisões relativas ao controle de energia de uma empresa se faz necessário para uma melhor utilização de recursos financeiros, melhor fluidez na produção e aumento da segurança do sistema produtivo como um todo. Isso contribui para o crescimento de uma empresa, influenciando diretamente no lucro da organização, independentemente do setor em que ela atua. Portanto, a partir da análise dos problemas existentes no funcionamento do gerenciamento de energia, é possível levantar dados importantes e esclarecedores para auxiliar a tomada de decisões dos gestores, desenvolvendo ações para corrigir e evitar problemas no consumo.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está disposto em cinco capítulos, no qual o Capítulo 1 apresenta de forma sucinta, os elementos que motivaram à realização deste trabalho, juntamente com os objetivos, a relevância e contribuição da dissertação e o escopo do trabalho. Em seguida o Capítulo 2, que discorre a fundamentação teórica referente ao estudo realizado, apresentando

ferramentas e conceitos presentes sobre o tema de Gerenciamento de energia, eficiência energética. Ao longo dos próximos capítulos, são descritos com detalhes os elementos necessários à composição da utilização do Sistema de Gerenciamento como Ferramenta de Eficiência Energética na Indústria. No entanto o Capítulo 3 retrata a metodologia da pesquisa, que foi empregada na elaboração do estudo. O próximo, capítulo 4, comenta a respeito dos resultados e discussão encontrados no trabalho e por fim o Capítulo 5 em que são apresentadas as considerações finais sobre a pesquisa, assim como as recomendações para possíveis desdobramentos e aplicações do Gerenciamento de energia elétrica.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo retratará as considerações iniciais do estudo, de forma a oferecer um entendimento sobre o tema abordado, desenvolvendo a problemática e justificativa desta pesquisa, assim como os objetivos a serem alcançados.

2.1. Sistema de gestão energética

A adoção de um sistema de gestão energética indica a existência de uma estrutura administrativa racional e uma preocupação da empresa em manter sua competitividade, o que dá visibilidade para atrair novos investidores e aumentar sua valorização. O anúncio de um projeto relacionado à gestão energética chega a produzir um aumento no valor das ações da empresa (ARAGÃO NETO, 2005).

A evolução do consumo de energia elétrica, as dificuldades crescentes para atender à demanda, o elevado custo das alternativas de suprimento, o impacto de novas plantas geradoras ao meio ambiente e a necessidade de as empresas inserirem-se em um mundo globalizado e competitivo requerem uso otimizado dos recursos. Muitas empresas, principalmente as pequenas e médias, têm dificuldade em conceber a Gestão Energética (GE) como uma prática gerencial com caráter decisivo para as diretrizes do planejamento estratégico.

Antes de realizar qualquer atividade, é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética para então estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Esta abordagem é válida para instalações novas, em caráter preventivo, ou instalações existentes, em caráter corretivo, em empresas industriais ou comerciais (SANTOS *et al.*, 2007).

A gestão energética de uma instalação existente aborda as seguintes medidas:

1) Conhecimento das informações relacionadas com os fluxos de energia, as ações que influenciam estes fluxos, os processos e atividades que utilizam a energia e relacionam com um produto ou serviço;

2) Acompanhamento dos índices de controle como, por exemplo, consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados de energia;

3) Atuação nos índices com vista a reduzir o consumo energético por meio da implementação de ações que buscam a utilização racional de energia.

É importante observar que as avaliações, por si só, não conduzem a racionalização do uso de energia. Elas constituem um primeiro e decisivo passo nesta direção, a requerer medidas e ações posteriores, desejavelmente estabelecidas de forma planejada e estruturada, com clara definição de metas, responsáveis e efetivos acompanhamentos, se possível no âmbito de um Programa de Gestão Energética, com visibilidade na corporação e a necessária provisão de recursos físicos e humanos. Neste sentido, as auditorias energéticas constituem um instrumento essencial de diagnóstico preliminar e básico, para obter as informações requeridas para a formulação e acompanhamento desse programa de redução de desperdícios de energia (SANTOS et al., 2007).

Considerando uma abordagem bem genérica a ser adaptada caso a caso, a sequência apresentada na Figura 1 pode ser adotada para o desenvolvimento de um diagnóstico energético (Nogueira, 1990).

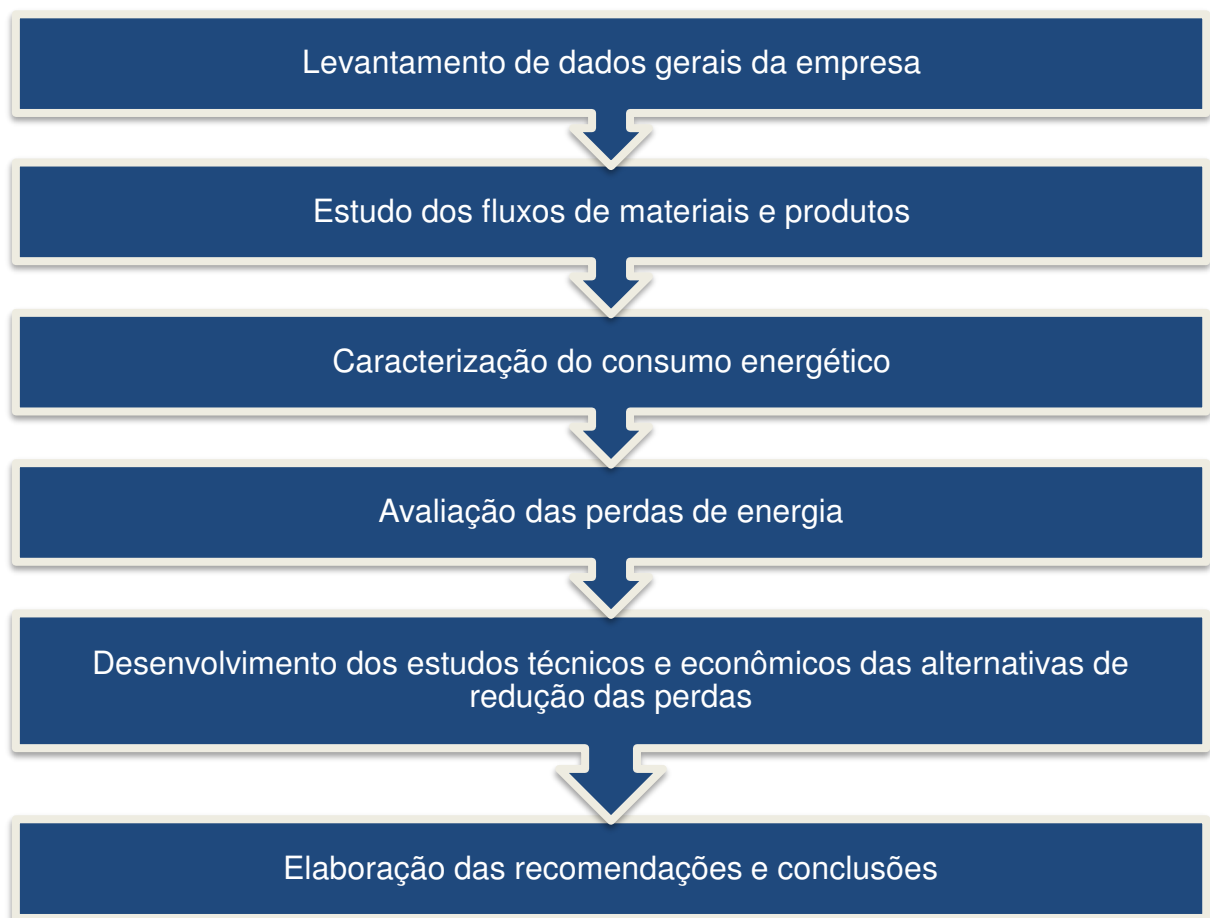


Figura 1: Etapas de um diagnóstico energético.
Fonte: Nogueira, 1990 - Adaptado

Diante destas características, verifica-se que a gestão de energia não é uma tarefa fácil, devido às dificuldades em se conseguir dados históricos de consumo de energia elétrica e transformar estes dados em informações que orientem a tomada de decisões e promovam o uso racional de energia elétrica. Além disso, os gestores de energia elétrica contam com ferramentas de apoio para desempenharem suas atividades, sendo tais ferramentas reunidas nos chamados sistemas para gerenciamento de energia elétrica.

Outro aspecto importante é a utilização de sistemas de informação. Este pode desempenhar um papel fundamental na obtenção de dados sobre o uso de energia, tanto antes como depois da realização de mudanças, proporcionando uma maior capacidade de análises e tipos de relatórios necessários para estimar o potencial de economia. Um sistema de gestão energética estratégico, ao incluir um sistema de informação, terá maior capacidade de gerar economia do que a aplicação isolada de técnicas tradicionais.

A combinação entre gerenciamento estratégico de energia e sistemas modernos de informação resulta em um sistema de gestão energética com alta eficiência e eficácia, conferindo suporte necessário para a estimação do potencial de melhoria do sistema e verificação dos resultados de projetos anteriores. Um sistema de informação dá suporte ao gerenciamento energético estratégico por meio dos seguintes processos (VAN GORP, 2004a):

- Aquisição de dados sobre a performance atual do perfil energético;
- Provisão de informação necessária para determinar as metas de melhoria;
- Geração de relatórios e cálculo de indicadores que caracterizam o estado da performance energética;
- Comunicação dos resultados para os gestores e participantes do projeto.

Um microprocessador conectado a dispositivos de medição de energia no interior de cada facilidade da organização (comercial, industrial, subestação e geração), comunicando os dados com o software de processamento e dispositivos de comunicação remota. O software armazena os dados, os processa como requerido e apresenta relatórios aos usuários (SWORDS *et al.*, 2008).

A Figura 2 apresenta a composição típica de um sistema de informação aplicado no gerenciamento de energia em uma organização.

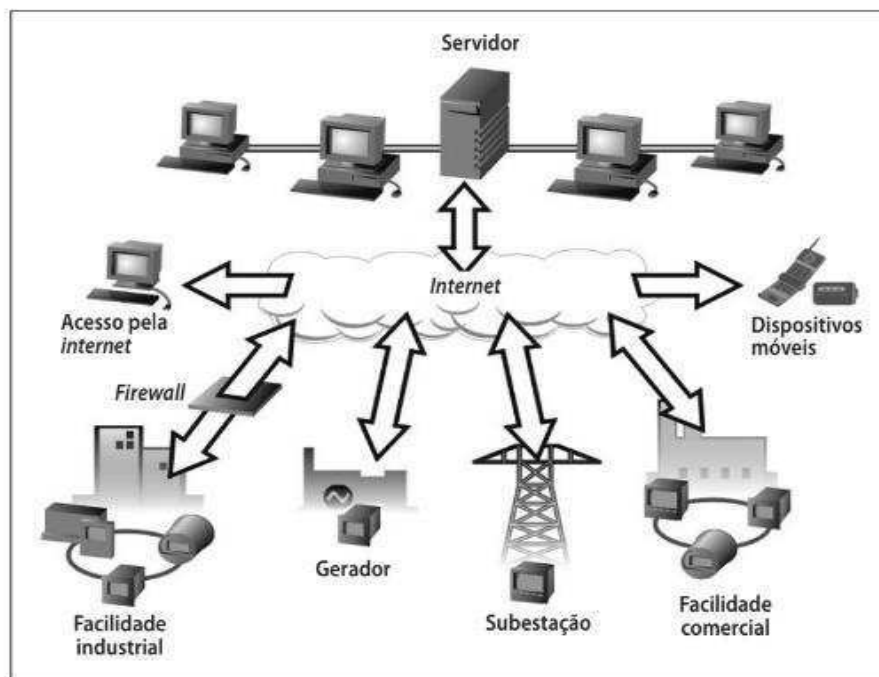


Figura 2: Sistema informatizado de gestão energética empresarial.

Fonte: Van Gorp (2004b) - Adaptado.

2.2 Eficiência Energética no Brasil

Os principais eventos que deram início às discussões em torno da conservação e eficiência energética no Brasil, data da década de 1970 e são uma resposta à crise do petróleo (EPE, 2013), sendo possível observa-los na Tabela 1:

Tabela 1 - Eventos que iniciaram os debates em relação a conservação energética

ANO	EVENTO
1973	1º Choque do Petróleo
1975	1º Seminário sobre o tema conservação de energia (MME)
1979	2º Choque do Petróleo
1982	Programa de Mobilização Energética

Fonte: EPE (2013)

No Brasil, as iniciativas em eficiência energética tiveram início em meados de 1980 com a segunda crise do petróleo e, por consequência, um declínio no suprimento de energia (SOUZA; GUERRA; KRUGER, 2011). Por conta do aumento do preço do petróleo, o

governo brasileiro tomou a iniciativa de transferir para álcool o uso de combustíveis das indústrias, com a criação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL).

Na sequência, foi criado pelo Governo Federal, em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que tem por objetivo promover a racionalização do consumo de energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, aumentando ainda a eficiência energética.

Como todo país em desenvolvimento, o Brasil tem uma grande demanda reprimida de energia, porém os índices nacionais de perda e desperdício de eletricidade também são altos. O total desperdiçado, segundo o Procel, chega a 40 milhões de kW, ou a US\$ 2,8 bilhões, por ano. Os consumidores - indústrias, residências e comércio - desperdiçam 22 milhões de kW; as concessionárias de energia, por sua vez, com perdas técnicas e problemas na distribuição, são responsáveis pelos 18 milhões de kW restantes.

Uma das soluções apontadas pelos especialistas para atender este déficit seria conter a demanda por meio de técnicas de conservação - que substituem tecnologia (máquinas, motores, sistemas de refrigeração e iluminação), incluindo o uso da água, por outras com maior eficiência energética e menor custo financeiro e impacto ambiental.

O Sebrae(Serviço Brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas) também mantém um programa de eficiência energética, voltado a pequenas e médias empresas. A iniciativa compreende a implantação de metodologias para desenvolvimento de projetos de eficiência no uso de energia em micro e pequenas empresas. Por meio dele, mostra-se como a empresa usa a energia, tornando possível identificar a necessidade de ações para racionalizar e otimizar o uso, além de reverter situações de desperdício.

2.3 Gerenciador de Energia

Gerenciador de energia é um equipamento ou sistema que realiza o monitoramento e o controle de processos buscando otimizar o consumo dos insumos energéticos e utilidades de forma automática sem interrupção de produção ou prejuízo no conforto ambiental. Podem-se citar como as principais aplicações: eliminação de desperdícios; aumento da eficiência; mudança nos padrões de consumo; monitoramento das concessionárias de energia; elaboração de rateios com alta precisão; controle de cargas; controle do fator de potência; conhecimento das sazonalidades do consumo; determinação do custo específico, consumo específico e custo de produção (por setores e períodos).

Os sistemas de gerenciamento de energia são implantados basicamente para monitorar as grandezas elétricas e acompanhar o perfil histórico de medições de energia de uma unidade

consumidora. Sua instalação, muitas vezes, é motivada pela necessidade de reduzir custos ocasionados por multas de ultrapassagem de demanda e fator de potência, de eficientizar o uso da energia e, conseqüentemente, diminuir o valor das contas, além de propiciar ganhos de produtividade, pois se trata de uma ferramenta que facilita a manutenção e a operação das plantas industriais.

2.4 Fator de Potência

O estudo do gerenciamento energético de uma indústria deve ser realizado utilizando os conceitos de energia ativa e energia reativa que impactam diretamente na conta de energia elétrica de uma indústria, além disso deve-se considerar o triângulo das potências que é de suma relevância para tal estudo. Em uma indústria existem cargas de natureza resistivas, indutivas e capacitivas. As cargas reativas, tem por natureza, se oporem a variação de corrente ou tensão, provocando assim um defasamento angular entre a tensão e a corrente. Esse defasamento interfere diretamente na potência ativa de uma planta fabril (BOYLESTARD, 1998).

O fator de potência é a relação entre a energia ativa e a energia total. Esta relação demonstra se a unidade consumidora consome energia elétrica adequadamente ou não, pois relaciona o uso eficiente da energia ativa e reativa de uma unidade consumidora, sendo um dos principais indicadores de eficiência energética.

$$FP = P/S \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que,

FP: fator de potência;

P: potência ativa;

S: potência aparente.

A potência média P também é chamada de *potência real* ou *potência ativa*, mostra a relação entre a potência, a tensão, e a corrente, onde o valor médio P é dado por:

$$P = VI \cos \theta \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

P: Potência média consumida;

V: Valor eficaz da tensão;

I: Corrente eficaz da carga;

θ : Defasamento angular entre tensão e corrente.

Analisando a fórmula, pode-se constatar que, para melhorar a eficiência energética, deve-se atuar no fator de potência unitário ($\cos \theta = 1$). Nas indústrias, a maioria das cargas tem características reativas indutivas, o que se faz a necessidade de cálculos para compensar essa energia reativa indutiva com equipamentos que tenham características reativas capacitivas, como os bancos de capacitores, afim de se conseguir um fator de potência unitário ou muito próximo disso.

Potência aparente é a total que circula nos condutores, sua unidade é o VA (volt-ampère). Ela pode ser calculada pelo produto da tensão RMS com a corrente RMS, O módulo da potência aparente pode então ser calculado pela relação abaixo:

$$|S| = V_{rms}I_{rms} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

|S|: Módulo da potência aparente;

V_{rms}: Tensão eficaz;

I_{rms}: Corrente eficaz.

No domínio fasorial, podemos representar a potência aparente como uma potência do tipo complexa em que a parte real representa a potência ativa e a parte imaginária é a potência reativa como mostrado abaixo.

$$S = P + jQ \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

S: Potência aparente;

P: Potência ativa;

Q: Potência reativa;

Q>0: Caráter indutivo;

Q<0: Caráter capacitivo.

A partir disso, pode ser montado um triângulo de potências que, por meio de relações trigonométricas, como o teorema de Pitágoras, facilitam os cálculos das relações entre as potências. Nele, pode-se ver a diminuição da potência aparente necessária para “gerar” a mesma potência ativa quando o fator de potência estiver mais próximo do valor unitário, como pode ser visualizado na Figura 3:

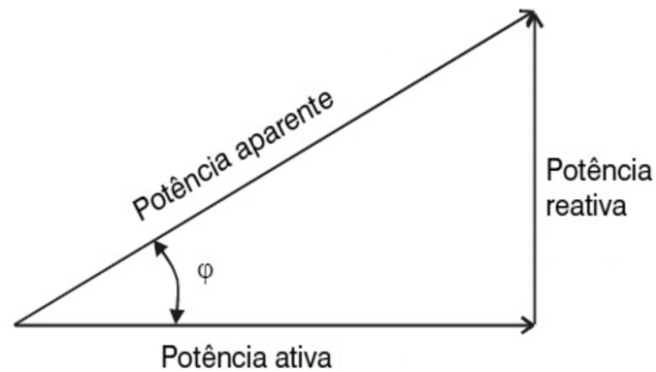


Figura 3 – Triângulo de potências
Fonte: Adaptado Boylestard (1998, p. 549)

De acordo com a Figura 3, é possível verificar que, quanto menor o ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente, menor será a potência reativa e mais próximo do valor unitário estará o fator de potência.

A potência instantânea absorvida pela parte reativa da carga, como tem as mesmas unidades da potência real, o usual é definir unidades da potência reativa como **volt-amperes** ou **VA** dada por:

$$Q = VI \text{ sen } \theta \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que,

Q: Potência reativa;

V: Valor eficaz da tensão;

I: Corrente eficaz da carga;

θ: Diferença de fase angular entre tensão e corrente.

O fator de potência é classificado em indutivo ou capacitivo.

a) **Fator de potência indutivo**: significa que a instalação elétrica está absorvendo a energia reativa. A maioria dos equipamentos elétricos possui características indutivas em função das suas bobinas (ou indutores), que induzem o fluxo magnético necessário ao seu funcionamento.

b) **Fator de potência capacitivo**: significa que a instalação elétrica está fornecendo a energia reativa. São características dos capacitores que normalmente são instalados para fornecer a energia reativa que os equipamentos indutivos absorvem. O fator de potência torna-se capacitivo quando são instalados capacitores em excesso. Isso ocorre,

principalmente, quando os equipamentos elétricos indutivos são desligados e os capacitores permanecem ligados na instalação elétrica.

A resolução 414/2010 da ANEEL estabelece que o fator de potência de referência “fR”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras dos grupos A e B, o valor de 0,92 (art. 95). E para as unidades consumidoras do grupo B, que tiverem em sua instalação um medidor apropriado, será concedido um período de ajuste com duração mínima de 3 (três) ciclos consecutivos e completos de faturamento, a contar do início da medição da energia reativa, para que a unidade consumidora se adeque ao valor mínimo permitido (art. 136).

Após esse período de ajuste, caso a unidade consumidora esteja com valor inferior ao 0,92, será cobrada através de sua conta de energia o valor excedente da energia reativa (art. 96).

2.4.1 Consumo Reativo Excedente (kVARh)

O excedente reativo é a parcela de consumo ou demanda de potência que é solicitada da rede elétrica e desperdiçada por algum(ns) equipamento(s) da unidade consumidora. Esse excedente reativo está associado ao fator de potência, cujo limite mínimo é 0,92 e implica numa proporcionalidade entre energia/demanda ativa e reativa, ou seja, 92% da energia ou demanda solicitada da rede elétrica deve ser efetivamente utilizada sem que haja desperdícios. Ultrapassados esses limites, os excedentes reativos são cobrados na conta de energia. Portanto é importante, sempre que possível, uma manutenção periódica nos equipamentos elétricos ou substituição daqueles equipamentos causadores de desperdício de energia.

Para evitar esta cobrança, solicite apoio da equipe técnica de sua empresa para avaliar a necessidade de instalação ou de manutenção de Banco de Capacitores para correção do Fator Potência.

2.5 Demanda

Média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. No qual pode-se atribuir diferentes tipos de conceitos, já que ela é classificada de acordo com os procedimentos relativos à contratação junto à distribuidora de energia, onde a demanda pode ser classificada como (PROCEL,2011):

a) **Demanda contratada:** Demanda de potência ativa a ser obrigatoriamente e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e

período de vigência no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

b) Demanda máxima: Maior demanda verificada durante um período de tempo definido, que pode ser um dia, um mês ou um ano.

c) Demanda de ultrapassagem: Parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW).

d) Demanda faturável: Valor da demanda de potência ativa, identificada de acordo com os critérios estabelecidos e considerada para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW).

e) Demanda medida: Maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW). [5]

2.6 Tensão de Fornecimento e Classificação dos Consumidores

São tarifas destinadas aos fornecimentos a consumidores finais, como indústrias, residências, comércio e outros. As tarifas de energia elétrica estão divididas de acordo com os tipos de consumidores que podem ser do grupo A ou do grupo B.

1) Grupo A: Unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, aplicada geralmente nas indústrias, comércios, condomínios, entre outros. Caracterizado pela tarifa binômia (Sujeito a tarifação de consumo e demanda) e subdividido 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 kV a 25 kV; e
- f) **subgrupo AS** – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição. [3]

No caso da indústria utilizada no trabalho, está inserida no subgrupo A4 com tensão de fornecimento de 13,8 kV.

2) Grupo B: Consumidores com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV. A tarifa aplicada a este grupo é a monômnia, ou seja, o consumidor é cobrado somente à parcela referente a seu consumo de energia elétrica.

- a) **subgrupo B1:** Residencial, Residencial de Baixa Renda;
- b) **subgrupo B2:** Rural, Cooperativa de utilização rural, Serviço público de irrigação;
- c) **subgrupo B3:** Demais classes;
- d) **subgrupo B4:** Iluminação Pública.

2.6.1 Estrutura Tarifária Horo-Sazonal

Define-se estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento, onde só será visto **no Grupo A**. A Tabela 2 ilustra a estrutura tarifária de acordo com a ANEEL.

	Convencional	Verde	Azul
Demanda (kW)	Preço único	Preço único	Preço para ponta Preço para fora de ponta
Consumo (kWh)	Preço único	Preço na ponta: período seco Preço fora de ponta: período seco Preço na ponta: período úmido Preço fora de ponta: período úmido	

Tabela 2 – Estrutura Tarifária

Fonte: Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalação e Equipamentos

No Brasil, segundo PROCEL (2011) as tarifas do **Grupo A** são constituídas em duas modalidades de fornecimento, relacionadas a seguir:

1) Estrutura tarifária horo-sazonal verde:

A opção de enquadramento na estrutura tarifária verde somente é possível para as unidades consumidoras do Grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua a demanda pretendida pelo consumidor ('Demanda Contratada'), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta). Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem.

2) Estrutura tarifária horo-sazonal azul:

Aos consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3, é obrigatório o enquadramento na estrutura tarifária horo-sazonal azul e opcional para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (Demanda Contratada na Ponta) quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (Demanda Contratada fora de Ponta). Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados valores diferentes para o período seco e para o período úmido.

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta pela soma de parcelas referentes ao consumo e demanda e, caso exista, ultrapassagem. Em todas as parcelas observa-se a diferenciação entre horas de ponta e horas fora de ponta.

Diante disto é necessário que o consumidor entenda as especificações e diferenças dos horários do consumo aplicado na horo-sazonal azul e verde:

a) Horário de ponta: O horário de Ponta consiste o horário no qual se trata do período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e feriados nacionais (CELPE, 2009).

b) Horário fora de ponta: O horário Fora Ponta consiste o horário no qual se trata do período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta (CELPE, 2009).

No qual esses horários podem ser divididos em (PROCEL,2011):

- **Período Seco:** Período compreendido pelos meses de maio a novembro (7 meses). É, geralmente, um período com poucas chuvas. Em algumas modalidades, as tarifas deste período apresentam valores mais elevados.

- **Período Úmido:** Período compreendido pelos meses de dezembro a abril (5 meses). É, geralmente, o período com mais chuvas.

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste tópico, serão expostos os procedimentos metodológicos que nortearam o processo de desenvolvimento para esta pesquisa.

3.1. A Pesquisa

O trabalho de pesquisa foi classificado como exploratório e descritivo, iniciou-se com a revisão bibliográfica no qual foi possível proporcionar conhecimento do tema para então poder explicar e discutir o assunto e problema do estudo de caso, embasando-se em materiais publicados em livros, sites, teses e anuais de eventos científicos que abordam assuntos referentes ao gerenciamento de energia, eficiência energética, fator de potência e demanda.

É classificada como uma pesquisa quantitativa já que utilizou recursos e técnicas estatísticas para obter informações e quantificação dos produtos utilizando o gráfico da demanda e do consumo, gráfico da energia excedente. É também qualitativa, já que na realização da pesquisa foram explorados informações, dados e documentos fornecidos pela empresa objeto de estudo.

3.2. Coleta de Dados

Para a coleta de dados, foram feitas observações *in loco* e *in situ*, na empresa de calçados localizada em Campina Grande, estado da Paraíba, cuja população estimada é de aproximadamente, 409.731 habitantes (IBGE, 2019).

Além de observações individuais, através de entrevistas indiretas com o gerente da empresa, com os operadores responsáveis pelo funcionamento da empresa, pois a mesma não possui um funcionário especializado na área elétrica, onde foi possível coletar os dados referente ao consumo e potência elétrica do quadro responsável pela maioria da carga da indústria. Também foi possível verificar relatórios e informações a respeito do consumo mensal e anual para realização das análises do consumo durante o período produtivo.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção, será apresentada a empresa em estudo, demonstrando o funcionamento do seu processo, os resultados observados no estudo, assim como a análise e interpretação dos dados obtidos durante o trabalho realizado na empresa, elencando e comentando a respeito dos pontos fortes e fracos da proposta de implantação do gerenciamento energético.

4.1 A Empresa Objeto de Estudo

A empresa em estudo é de pequeno porte, empresa familiar, foi fundada a mais de 25 anos e está localizada na cidade de Campina Grande- PB, no bairro de Bodocongó.

Iniciou como revendedor de pequenos produtores de calçados locais, depois foi crescendo e virou um depósito, onde também era realizada venda de material para calçados e há 25 anos vem produzindo seus próprios produtos, na qual concentra suas atividades em confecções de sandálias e sapatos femininos de tendência da moda.

Tem um tipo de processo discreto, pois envolve produtos de bens ou serviços que podem ser isolados em lotes ou unidades, e a empresa possui um sistema de produção repetitivos em lote, visto que possui algumas características deste tipo de sistema como caracterizam-se pela produção de um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes, sendo que cada lote segue uma série de operações que necessitam ser programadas a medida que as operações anteriores forem realizadas. É relativamente flexível, empregando equipamentos pouco especializados e mão-de-obra polivalente, visando atender diferentes pedidos dos clientes e flutuações da demanda.

Apresenta um turno de trabalho, sendo este das 7h15 às 17h30, com intervalos necessários para os colaboradores, possuem 35 funcionários, tem 8 linhas de produtos: sapatilha montada, sapatilha injetável, sapatilha de injeção direta, rasteira, sandália injetada, sandália PVC expandido, sandália EVA e sandália PVC. Porém, o trabalho só irá abordar 3 linhas, já que são consideradas os “carros-chefes” da empresa: são elas a sapatilha de injeção direta, PVC expandido e sandália montada de EVA, mais conhecida como sandália montada.

4.2 O Processo Produtivo

O processo de fabricação das sandálias de PVC expandido, também conhecida como a sandália tipo havaiana, é dividido em duas partes: a primeira é fabricação do solado e a segunda é a produção das correias. A primeira é construída através de seis processos, são eles: Moinho, Extrusora, Traçador, Aglutinador, Injetora Rotativa, Serigrafia, enquanto que as correias passam por três processos: Moinho, Traçador e Injetora Convencional. Depois desses processos as duas partes se unem na esteira, onde são montadas, em seguida passam pelo setor de acabamento e por fim vão para expedição. Com a intenção de deixar claro o processo produtivo do produto estudado, a seguir, detalha-se cada etapa:

- **Moinho:** é máquina responsável por triturar a matéria prima, no caso, o PVC reciclado cuja composição tem que ser flexível com dureza inferior a 70, para isso a empresa adquire capa de celular, os próprios calçados que apresentaram algum defeito, capa de fio de cobre (como o fio do mouse), o PVC utilizado para fabricar cadeiras de balanço, e reciclagens em geral. Equipamento esse que pode ser visto na Figuras 4, a seguir:



Figura 4: Máquina de Moinho
Fonte: Autor

- **Extrusora:** é a segunda etapa do processo, onde acontece a transformação do material moído em uma massa borrachuda homogênea e através do cabeçote o mesmo sai com formato irregular e é resfriado. Em seguida este material volta para o moinho. Esta etapa pode ser visualizada na Figura 5, a seguir:



Figura 5 – Máquina Extrusora
Fonte: Autor

- **Aglutinador:** nesta etapa acontece a pigmentação do solado, como também ocorre o processo de expansão do solado, por isso o nome sandália de PVC expandido, então o material fica numa temperatura alta para que possa chegar na injetora. Máquina essa que pode ser visualizada na Figura 6, a seguir:



Figura 6: Equipamento Aglutinador
Fonte: Autor

- **Injetora Convencional:** técnica de moldagem do PVC que consiste basicamente em forçar, através de uma rosca-pistão, a entrada do composto fundido para o interior da cavidade de um molde. Após o resfriamento da peça, a mesma é extraída e um novo ciclo de moldagem ocorre. É onde se faz o molde das correias. Na empresa de estudo existem duas injetoras deste modelo da Figura 7 abaixo, cada uma delas possuem um motor de 30 cv para realizar sua função, tornando-as máquinas de grande parcela no consumo da energia elétrica faturada na fábrica, o modelo é apresentado a seguir:



Figura 7 – Injetora convencional
Fonte: Autor

- **Injetora Rotativa:** trata-se da injeção do composto fundido para o interior da cavidade do molde da sandália, o que demanda um tempo de resfriamento relativamente grande em função do grande volume das peças moldadas, sendo assim ao fazer a rotação dos moldes há um maior aproveitamento da capacidade da máquina. E como o solado é de PVC flexível expandido é injetado em máquinas rotativas, nas quais um ou mais conjuntos de injeção injetam continuamente material em moldes dispostos em um carrossel. Na fábrica estudada existem duas injetoras rotativas, mas por questões técnicas apenas uma está em funcionamento, seu motor elétrico dispõe de uma potência de 30 cv, a máquina pode ser verificada na Figura 8.



Figura 8: Injetora rotativa
Fonte: Autor

As outras áreas do processo produtivo são de menor importância para o estudo, que seria a montagem, o acabamento e a expedição, mas esses processos significam uma parte muito pequena do consumo de energia elétrica da fábrica. No entanto, as máquinas citadas acima representam 90% do consumo de energia e demanda da fábrica, tornando-se as variáveis mais interessantes a serem analisadas.

4.3 Resultados Obtidos

Durante o estudo realizado, pode-se notar que a empresa não possui um gerenciamento de energia e diante disso é necessário realizar o estudo. Para seu início, foi preciso recolher informações com a análise diária do perfil de consumo da fábrica durante um mês, que são os valores de potência ativa, reativa e fator de potência através do medidor. Com esses dados, o estudo tornar-se viável e seus resultados para a melhoria dos eventuais problemas serão apresentados na sequência do trabalho.

4.3.1 Medidor Utilizado

O medidor utilizado no trabalho foi disponibilizado pelo professor Edmar Candeia e ele foi completamente desenvolvido na UFCG, hoje realiza medições de potências ativa e reativa e do fator de potência. Ele deve ser conectado à rede elétrica de entrada do prédio conforme o diagrama da Figura 9.

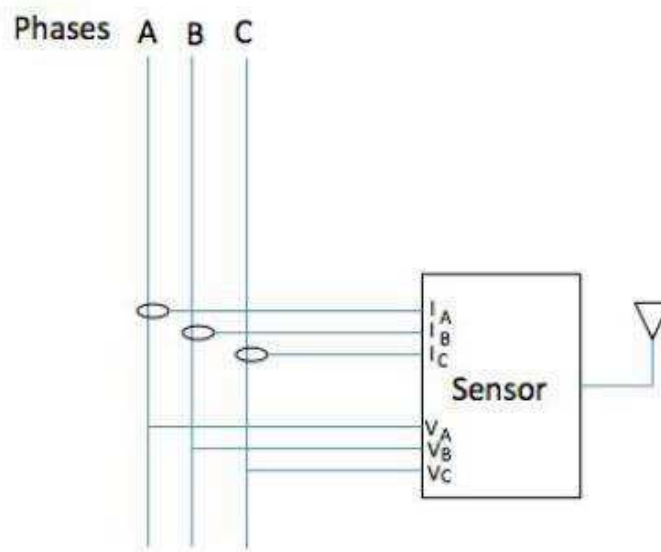


Figura 9 – Esquema de ligação do medidor na instalação.
Fonte: Projeto SCIKE – UFCG (2019)

Pode ser observado na Figura 9 que o medidor tem duas ligações em cada fase, uma que o conecta diretamente à fase, outra em forma de alicate deve ser colocada no condutor, por fim a conexão com o neutro da instalação.

Com o medidor conectado, instantaneamente ele se conecta com a rede Wi-Fi local previamente configurada, essa conexão será necessária para o envio dos dados ao servidor, onde o operador terá acesso a os gráficos gerados pela coleta de dados do medidor.

O acesso ao sistema é pela plataforma web no endereço <https://150.165.62.121>. Ao abrir este link será possível observar a tela mostrada na Figura 10.



Figura 10 – Acesso aos dados pelo Grafana.

Fonte: Autor

Depois da autenticação do usuário é possível ter acesso total dos dados obtidos como mostrado na Figura 11.

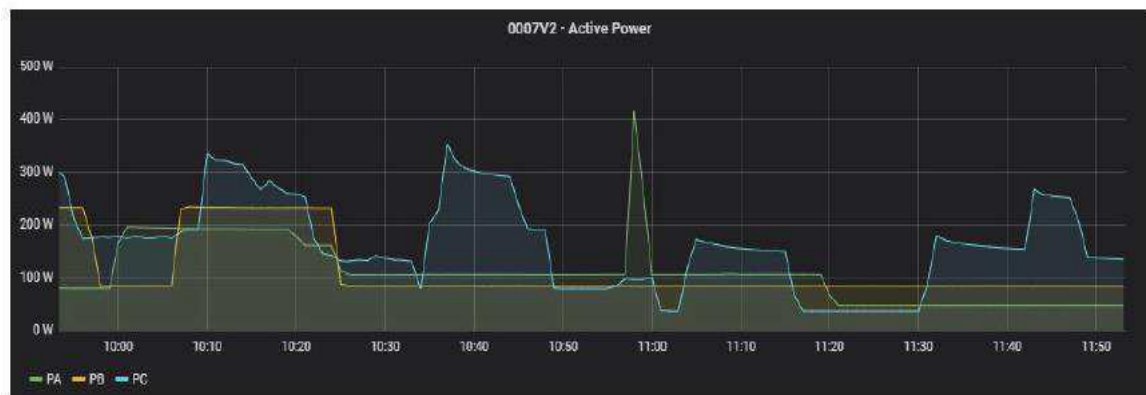


Figura 11 – Dados da potência ativa mostrados no Grafana.

Fonte: Fonte: Projeto SCIKE – UFCG (2019)

No sistema do Grafana é possível visualizar os gráficos de potência ativa, potência reativa e fator de potência para as três fases em tempo real e navegar por diferentes datas em que foram gerados.

Na Figura 12, a seguir, mostra como o medidor foi devidamente instalado na fábrica, inserido no quadro principal, onde está conectado todas as principais máquinas que afetam diretamente o consumo de energia elétrica.



Figura 12: Medidor e ponto de instalação

4.3.2 Análise do Consumo de Energia Elétrica

Com as informações obtidas do histórico de consumo da fatura de energia elétrica da fábrica, foi possível a análise do consumo de energia elétrica, observando três pontos principais:

- O consumo de energia,
- A demanda de potência
- A estrutura tarifária.

A Figura 13 a seguir, mostra o padrão de entrada da fábrica, na figura A podemos ver o ponto de entrega da energia pela concessionária em 13,8 kV e seu ramal de entrada juntamente com os elos fusíveis. A figura B, mostra a subestação aérea responsável pela transformação em 13,8kV/380V.



Figuras 13 A e B – Entrada de energia da fábrica de calçados.

A fábrica é classificada como uma unidade consumidora do Grupo A, subgrupo A4 com tensão de fornecimento igual a 13,8 kV e está enquadrado atualmente na estrutura tarifária horo-sazonal verde.

A Figura 14 apresenta o histórico de consumo de energia ativa da fábrica de calçados relativo aos últimos 12 meses de faturamento. Em média registrou-se um consumo mensal de 16579.5 kWh no horário fora de ponta e 29,92 kWh no horário de ponta. Estes valores representam monetariamente, em média um montante de R\$6.766,64 (seis mil setecentos e sessenta e seis reais e cinquenta e cinco centavos), aplicadas as devidas tarifas referentes ao enquadramento tarifário no qual está inserido.

As tarifas discutidas no presente trabalho a serem aplicadas à unidade consumidora do Grupo A e subgrupo A4, estão apresentadas na tabela 3 de acordo com o especificado pela conta de energia da indústria em estudo cobrada pela distribuidora ENERGISA S.A.

Fatura de energia elétrica Outubro/2019

Descrição	Quantidade	Tarifa c/ Tributos	Valor total (R\$)
Consumo kWh - Ponta	51,00	1,994730	101,73
Consumo kWh - Fponta	15016,00	0,404530	6.074,59
Demanda kW – FPonta	106,09	18,325590	1.944,16
Demanda ã Consumida - FPonta	18,91	13,447610	254,29
Energia Reativa Excedente	308,00	0,373720	115,10
Adicional Bandeira Amarela			298,33
Adicional Bandeira Vermelha			58,26
Iluminação Pública			300,00
Total a Pagar			9.146,46

Tabela 3 – Fatura de energia elétrica da empresa.

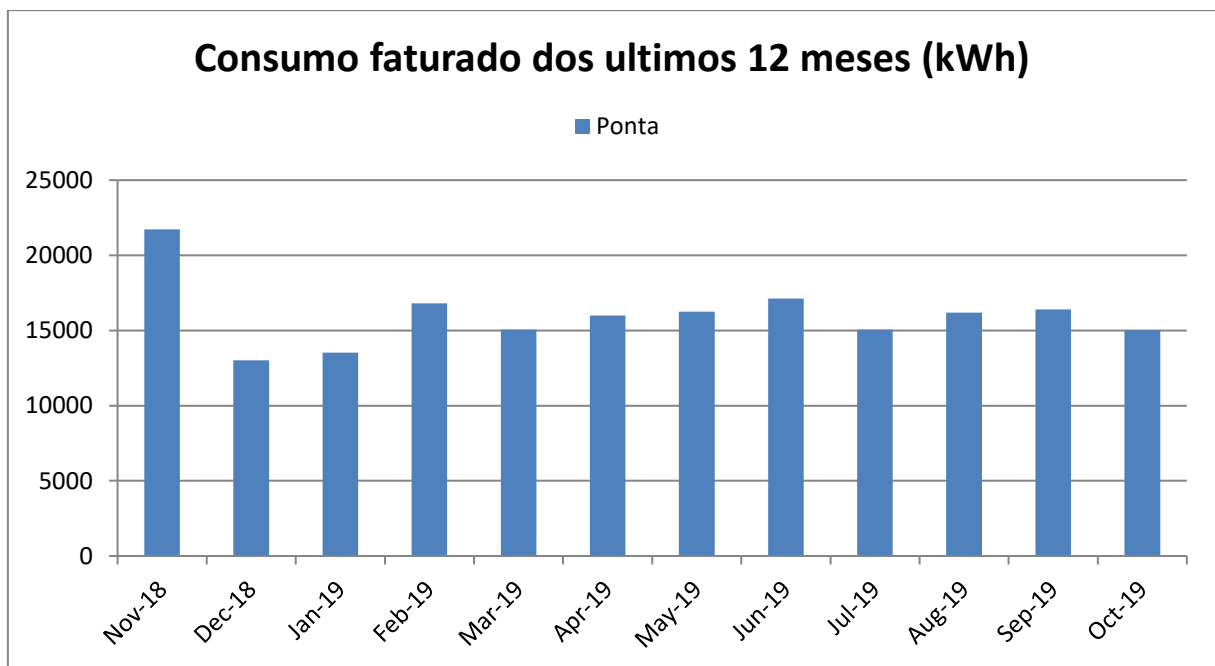


Figura 14: Gráfico do histórico de consumo de energia ativa.

4.3.3 Análise da Demanda

Com relação à demanda de potência ativa medida nos últimos 12 meses de faturamento, a unidade consumidora apresentou uma média mensal de 116,47 kW no horário fora de ponta, o histórico da demanda registrada é apresentado na Figura 15. O faturamento

referente à demanda faturada, no horário fora de ponta registrou uma média mensal de R\$2.143,33 (dois mil cento e quarenta e três reais e trinta e três centavos).

Atualmente, a demanda contratada da fábrica é de 125 kW no horário de ponta e no horário fora de ponta, outro valor a ser contabilizado na fatura de energia elétrica da empresa é a demanda contratada não consumida, que contabilizou uma média mensal de 9,78 kW representando um valor monetário de R\$131,50 (cento e trinta e um reais e cinquenta centavos).

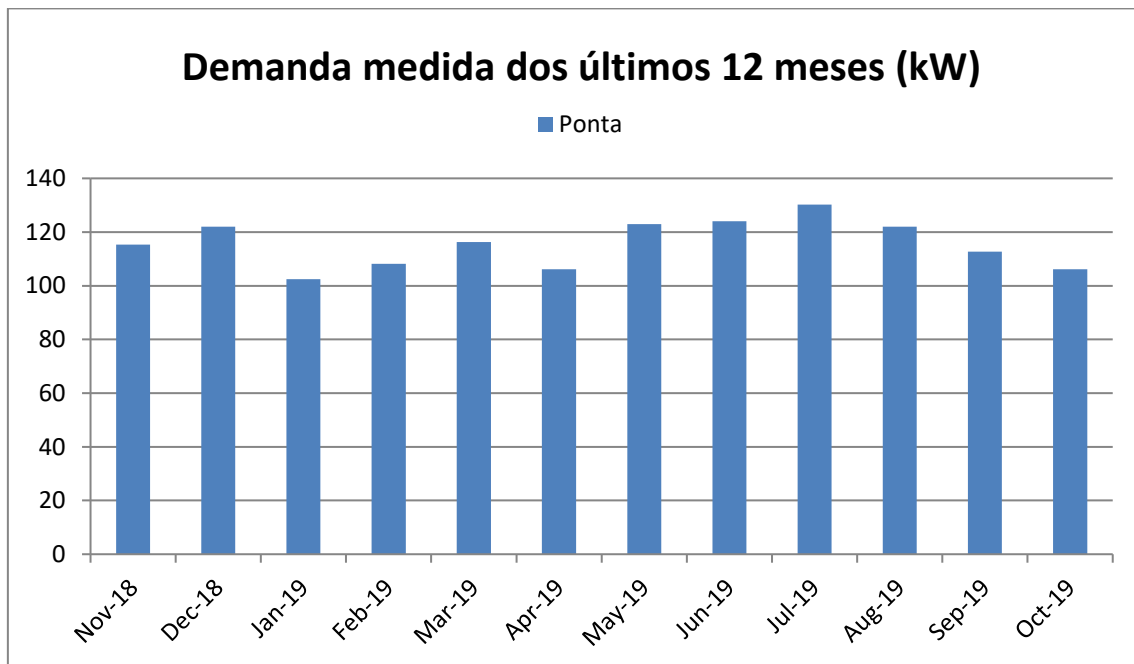


Figura 15: Gráfico do histórico de demanda na fábrica.

A análise de demanda é um artifício muito importante na questão da melhor adequação das necessidades reais da unidade consumidora. Com isso, são observados valores de demanda de potência ativa medidos pela concessionária, os valores de demanda acordados por meio do contrato e a demanda de potência faturada pelo medidor.

A escolha do valor da demanda a ser estabelecida via contrato é muito importante para minimização das despesas mensais com a energia elétrica. A legislação deve ser consultada e interpretada para evitar problemas posteriores, dois pontos importantes a serem observados:

- O valor da demanda será faturado normalmente com a tarifa contratada sempre que a demanda requerida pela unidade consumidora for menor que o valor contratual;
- Caso o valor da demanda ultrapasse o valor contratado, será cobrada uma tarifa diferente da usual chamada tarifa de ultrapassagem, sempre mais onerosa que a contratada.

Com os pontos apresentados acima, fica claro que se a demanda contratada não for bem dimensionada para a instalação, ocorrerão custos extras na fatura de energia elétrica tanto

na ultrapassagem quanto redução da demanda, com o enfoque na questão da ultrapassagem de demanda já que representa um custo maior acrescido na fatura do que o problema de subdimensionamento da demanda contratada. Ressaltando que o custo da demanda de ultrapassagem é numericamente igual ao dobro da demanda faturável, segundo resolução da ANEEL.

No gráfico da Figura 15 é apresentado o comportamento dos últimos 12 meses da tarifa referente a demanda. Por ele podemos verificar que o maior valor registrado de demanda de potência ativa ocorreu em Julho de 2019, onde se registrou 130,18 kW. Porém, segundo a ANEEL, o faturamento da demanda de ultrapassagem (abrange tanto contratos em horo-sazonal verde quanto horo-sazonal azul): quando os montantes de demanda de potência ativa medidos ultrapassarem em mais de 5% (cinco por cento) os valores contratados. Então, como a demanda contratada da empresa é de 125 kW, os 5% do valor contratado permite uma faixa de no máximo 6,25 kW além do acordado, podendo a unidade consumidora acerrar a um valor de 131,25 kW.

Com esse histórico das leituras das demandas que via de regra se manteve muito equivalente durante esse período e sabendo que nos últimos 12 meses a unidade consumidora não excedeu a demanda máxima, evitando custos indevidos de cobrança por ultrapassagem, pode-se consumir que a demanda contratada está totalmente de acordo com as necessidades operacionais da fábrica, não sendo necessária a alteração contratual da demanda de potência.

4.3.4 Análise da Estrutura Tarifária

A análise da estrutura tarifária se dá no estudo da modalidade tarifária mais propícia para a fábrica, levando em conta seu processo produtivo e sua forma de consumo de energia elétrica. O estudo é conduzido através da análise dos valores pagos durante um determinado tempo, geralmente um ano, onde o principal produto desse estudo é a redução de custos ou pelo menos checar se a instalação está na modalidade adequada.

Os consumidores inseridos no grupo A, como já foi dito, devem ter uma tarifa binômia e horária, onde na fatura de energia ocorre cobrança tanto pelo consumo de energia quanto pela demanda de potência consumida em duas tarifas diferentes de acordo com o horário. Conforme a ANEEL, a unidade consumidora que possui tensão de fornecimento igual ou inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300 kW poderá substituir sua tarifa para azul ou verde, como no caso de estudo apresentado a demanda contratada é de 125 kW

sendo menor que os 300 kW, a opção de mudança de tarifa horária da verde para a tarifa horária azul não é permitida.

Mesmo se a empresa possuísse uma demanda contratada acima de 300 kW, seria muito difícil a tarifa horária azul ser mais vantajosa do que a tarifa horária verde, pois a empresa não apresenta consumo na ponta, onde o fim da atividade fabril se encerra às 17:30, exatamente o horário em que se inicia a cobrança da energia consumida na ponta.

Outra opção que também não pode ser levada em consideração é o mercado livre de energia, pois segundo a ANEEL, somente empresas com demanda contratada acima de 500 kW podem deixar o mercado cativo de energia, o que está muito acima da realidade da empresa.

4.3.5 Energia Reativa Excedente

Como a grande maioria das indústrias apresentam uma grande carga de reativos, além da cobrança de energia consumida, existe um tributo referente à energia elétrica reativa excedente caso esses reativos não estejam no limite estabelecido pela ANEEL. A condição utilizada para indicar os limites estabelecidos é o fator de potência da instalação, que é regulamentado como o limite mínimo de 0,92 podendo ser capacitivo ou indutivo.

A principal causa do fator de potência baixo na instalação e também do faturamento indevido de reativos, são cargas de características indutivas, que necessitam de energia reativa para seu funcionamento, como reatores de lâmpadas, aparelhos condicionadores de ar, transformadores e principalmente os motores de alta potência que são necessários profundamente no âmbito industrial.

De acordo com Engelétrica Serviços Elétricos (2010), o aumento da corrente devido ao excesso de energia reativa leva a quedas de tensão acentuadas, podendo ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede. Esse risco é sobretudo acentuado durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada. As quedas de tensão podem provocar ainda, a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e aumento da corrente nos motores.

A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos. A capacidade ocupada pela energia reativa poderia ser então utilizada para o atendimento de novas cargas (ENGELÉTRICA SERVIÇOS ELÉTRICOS, 2010).

Os investimentos em ampliação das instalações estão relacionados principalmente aos transformadores e condutores necessários. A capacidade de transformadores alcança um melhor aproveitamento, já que a potência aparente é um conjunto das duas potências (ativa e reativa). Também o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos crescem com o aumento da energia reativa. Da mesma forma, para transportar a mesma potência ativa sem o aumento de perdas, a seção dos condutores deve aumentar à medida que o fator de potência diminui (ENGELÉTRICA SERVIÇOS ELÉTRICOS, 2010).

Para a melhoria do fator de potência, existem várias alternativas para a instalação do banco de capacitores em uma unidade consumidora, a escolha de uma delas depende das necessidades da instalação. Dentre as alternativas podemos citar (ENGELÉTRICA SERVIÇOS ELÉTRICOS, 2010):

- **Compensação individual:** É efetuada instalando os capacitores junto ao equipamento cujo Fator de Potência se pretende melhorar. Representa, do ponto de vista técnico a melhor solução.
- **Compensação por grupo de cargas:** O banco de capacitores é instalado de forma a compensar um setor ou um conjunto de máquinas. É colocado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos. A potência necessária será menor que no caso da compensação individual, o que torna a instalação mais econômica. Tem como desvantagem o fato de não haver diminuição de corrente nos alimentadores de cada equipamento compensado.
- **Compensação Geral:** O banco de capacitores é instalado na saída do transformador ou do quadro de distribuição geral, se a instalação for alimentada em baixa tensão. Utiliza-se em instalações elétricas com número elevado de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes.
- **Compensação na entrada de alta tensão (AT):** Não é muito frequente a compensação no lado da alta tensão. Tal localização não alivia nem mesmo os transformadores e exige dispositivos de comando e proteção dos capacitores com isolação para a tensão primária.
- **Compensação automática:** Nas formas de compensação geral e por grupos de equipamentos, é usual utilizar-se uma solução em que os capacitores são agrupados por bancos controláveis individualmente. Um relé sensível às variações de energia reativa, comanda automaticamente a operação dos capacitores necessários à obtenção do fator de Potência desejado.

A Figura 16 apresenta o histórico do consumo de reativos excedentes na instalação faturados nos últimos 12 meses. Os dados foram obtidos de acordo com a fatura de energia elétrica da unidade consumidora.

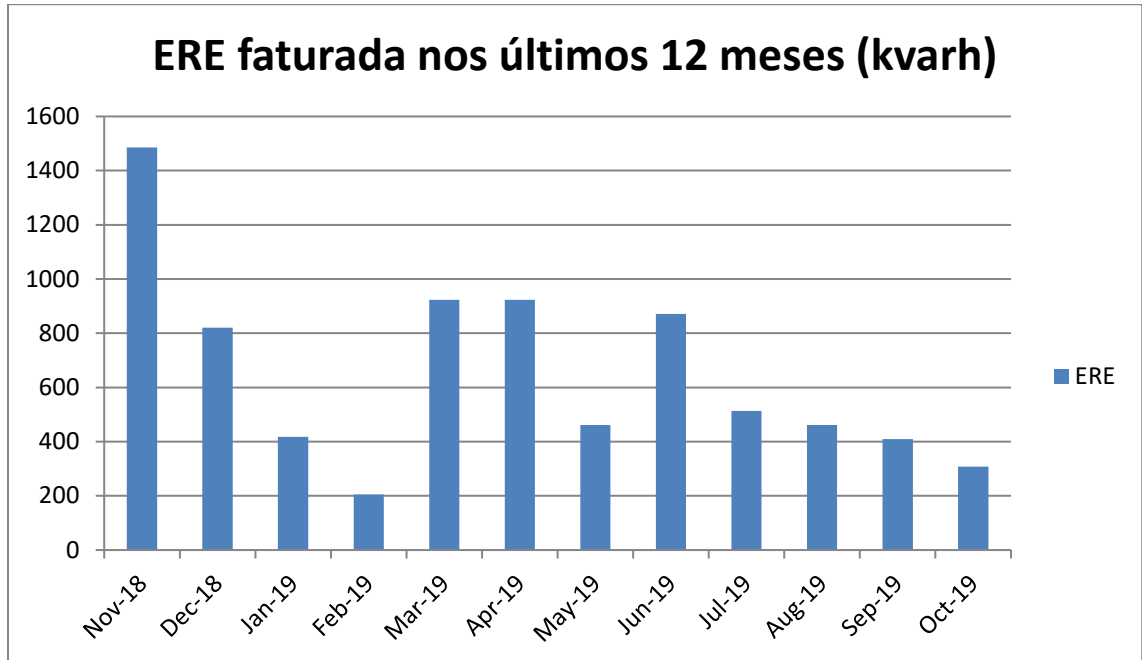


Figura 16: Gráfico da energia reativa excedente faturada nos últimos 12 meses.

Diante dos dados obtidos pela fatura de energia elétrica da empresa, tem-se uma média de 704,75 kVA de energia reativa excedente durante os últimos 12 meses, com um valor monetário de R\$ 263,36 (duzentos e sessenta e três reais e trinta e seis centavos).

Para realizar a análise da energia reativa e do fator de potência da unidade consumidora, foi utilizado o medidor anteriormente descrito no trabalho, utilizando como referência o mês de novembro de 2019.

Na análise dos gráficos gerados foram desconsiderados os dias referentes aos finais de semana e o feriado nacional no mês em questão (15 – Proclamação da República), realizando a análise somente nos dias de atividade efetiva na empresa.



Figura 17: Fator de potência medido na instalação no dia 06 de novembro de 2019.

Observa-se que o banco de capacitores atualmente instalado na unidade consumidora atende bem os requisitos necessários para o regular o fator de potência em 0,92. Em vários momentos durante o processo produtivo o fator de potência está maior do que 0,92, isso se deve por conta que a empresa não possui um sistema controlador de fator de potência, fazendo com que o banco esteja totalmente ligado ou totalmente desligado.

Na indústria algumas máquinas são utilizadas de forma intermitente, como o aglutinador, igualmente a potência do motor utilizado por ele é de 30 cv, há uma grande solicitação de energia reativa reduzindo assim o fator de potência, em alguns momentos durante um dia de atividades o fator de potência tem seu mínimo de 0,85 indutivo, mesmo que sejam poucos minutos de operação isso leva pequenas contribuições no final do ciclo de tarifação.

Com os dados de potência ativa e reativa que foi contabilizado pelo medidor, foi analisado o momento em que o aglutinador foi ligado durante a atividade, às 08h28min do dia 08 de novembro de 2019, houve um registro de um fator de potência de 0,85 indutivo, a potência ativa medida foi de 27,58 kW e a reativa de 16,49 kVA. O cálculo foi realizado mediante o emprego do método analítico que é baseado na resolução do triângulo de potências, mostrado na figura 18, a determinação da potência do banco de capacitores capaz de elevar o fator de potência de 0,85 para 0,92 é realizado com base na equação 8.

$$Q_c = Q_1 - P * \tan \varphi_1 \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

Q_c: é o valor de potência reativa necessária para regular o fator de potência para 0,92;

Q₁: é o valor de potência reativa medida no momento;

P: é o valor da potência ativa medida no momento;

φ₁: é o ângulo referente à $\cos \varphi_1 = 0,92$.

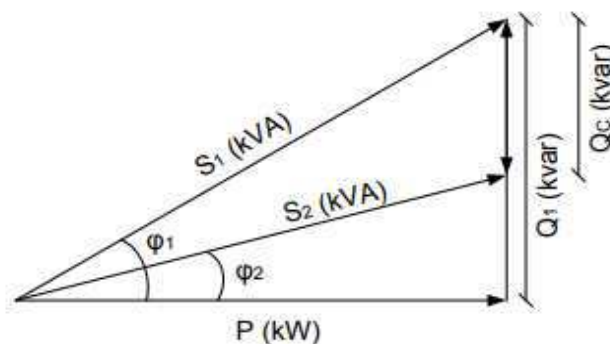


Figura 18: Triângulo de potência com o método de correção de fator de potência aplicado.

Após os cálculos, a potência necessária para regular o fator de potência foi de 4,68 kVA capacitivos, um valor muito pequeno, como era esperado. Como o banco de capacitores já está instalado, será necessário somente um investimento para a compra de um capacitor trifásico de 5 kVA que custa aproximadamente R\$200,00 (duzentos reais), ou uma manutenção de rotina para averiguar se alguma unidade capacitiva está fora de operação.

Para garantir o fornecimento de energia reativa capacitiva para uma futura expansão da fábrica, com a compra de um novo motor ou equipamento, basta efetuar a compra de um capacitor de maior potência.

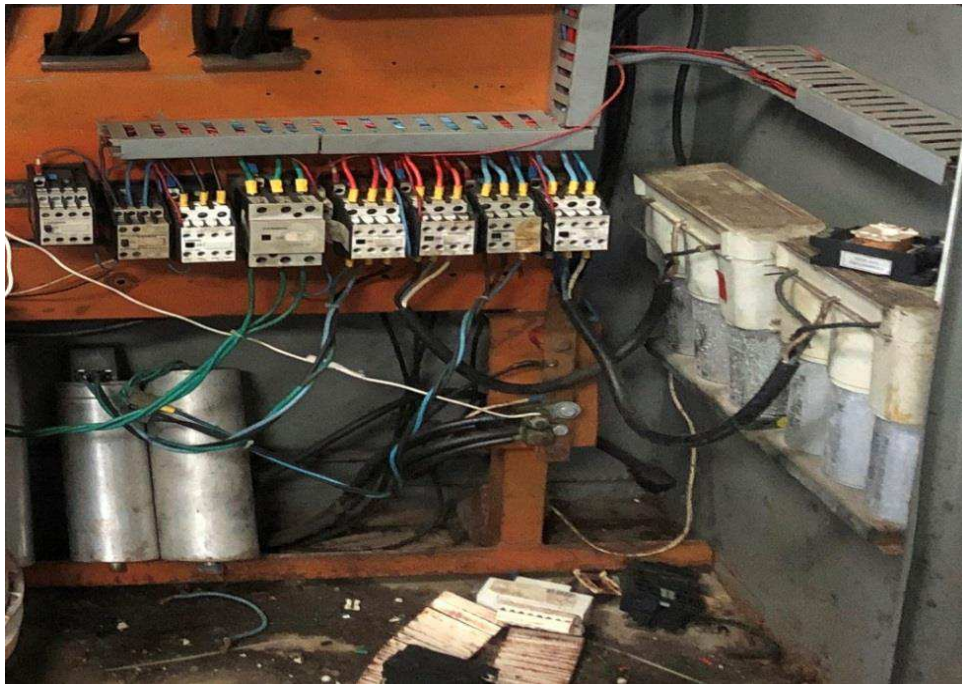


Figura 19: Atual banco de capacitores da empresa.

Como a despesa média juntamente com o faturamento de energia reativa excedente gira em torno de R\$263,00 (duzentos e sessenta e três reais), e o capacitor tem um valor monetário parecido com a despesa, pode-se concluir que é um investimento economicamente viável, em poucos meses haveria o retorno da compra do capacitor, mesmo que sejam valores pequenos há um retorno econômico para a unidade consumidora.

Em determinados momentos durante o dia operativo, as fases apresentam fator de potência distintos, principalmente na fase C que é a fase com o menor fator de potência dentre as três. Como a grande maioria dos equipamentos da instalação são trifásicos, o desequilíbrio geralmente ocorre na queima de uma célula capacitiva, este problema incorrerá em desbalanceamento de tensão. A falta de manutenção preventiva é fator determinante para ocorrência desse evento, pois uma célula capacitiva queimada é facilmente substituída em uma manutenção de rotina.



Figura 20: Desequilíbrio de fator de potência na instalação.

A principal consequência do desequilíbrio de tensão é o aumento das perdas elétricas, em outras palavras, sistemas elétricos desequilibrados ou desbalanceados provocam aumento considerável das perdas elétricas contribuindo para o desperdício de energia elétrica. Soluções para a correção de redes desbalanceadas são, portanto, além de adequações econômicas e operacionais, ações sustentáveis do ponto de vista ambiental. Além disso, caso os valores de desbalanceamento sejam significativos, eles podem chegar a desligar plantas industriais ou prédios comerciais pela atuação do relé de proteção específico.

Outro problema relacionado ao fator de potência observado com o auxílio do medidor utilizado no estudo foi um elevado consumo de energia reativa capacitiva logo no início do expediente, pois como já foi dito no processo produtivo, a primeira tarefa realizada por um dos operadores da empresa é a energização das resistências das injetoras convencionais e da injetora rotativa para o aquecimento do material, então todos os dias as 06h30min da manhã quando essa tarefa era executada na injetora convencional apresentada na Figura 7, a potência reativa capacitiva subia drasticamente, conforme a Figura 21, fazendo com que o fator de potência chegasse em uma marca de 0,55 capacitivo.

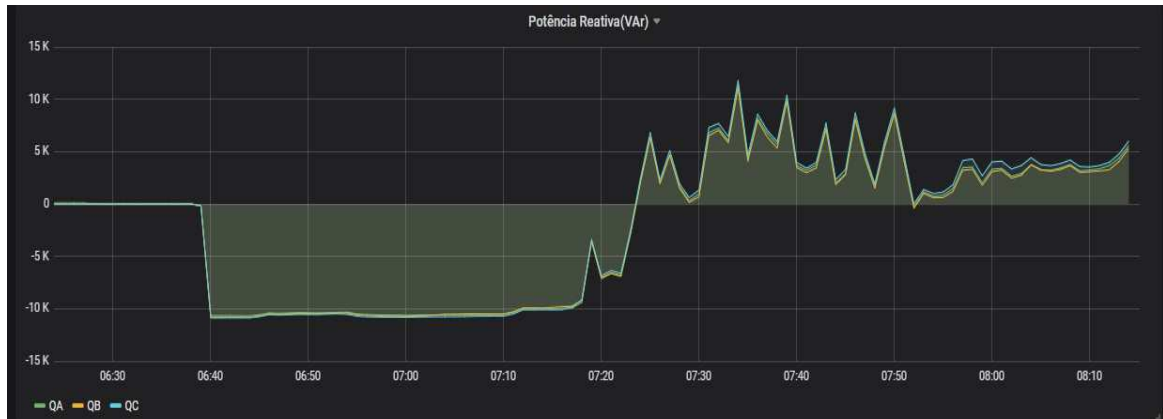


Figura 21: Potência reativa medida na instalação no dia 06 de novembro de 2019.

Com a visita á unidade consumidora foi verificado que o acionamento da resistência elétrica da injetora era interligado diretamente com o banco de capacitores, efetuando a ligação total do banco de capacitores desnecessariamente. Como se sabe, o excesso de reativos é um problema de eficiência energética, pois além de sobrecarregar o sistema ele pode ser responsável por questões de qualidade de energia.

Para resolver o problema foi necessário a instalação de um disjuntor termomagnético para interromper essa conexão do banco de capacitores com a injetora manualmente. O disjuntor foi instalado próximo ao quadro geral, assim a ligação do banco de capacitores deverá ser efetuada apenas no momento em que o operador acionar cargas indutivas, como por exemplo os motores das máquinas. Na Figura 23, é mostrada o resultado após a solução do problema.

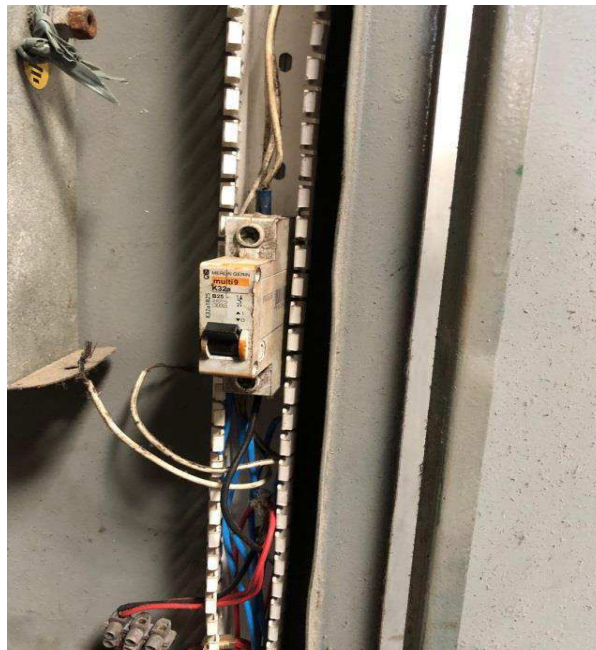


Figura 22: Disjuntor responsável pelo acionamento do banco de capacitores.

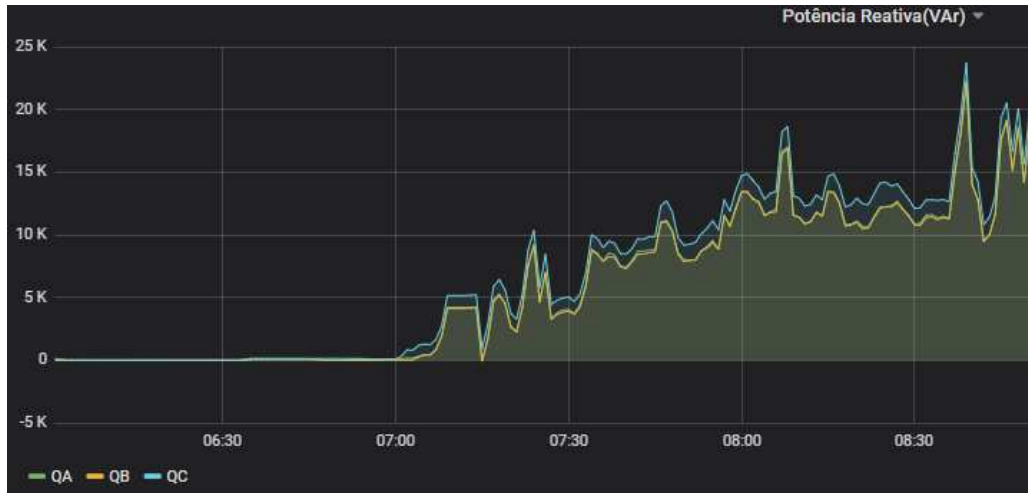


Figura 23: Potência reativa após a solução do problema.

Outra forma de resolver o problema do acionamento do banco de capacitores e a falta de controle da potência reativa por ele injetada, seria a aquisição de um controlador de fator de potência, com esse investimento a fábrica disporia de uma maior economia com gastos em energia, proporcionando um consumo de recursos mais eficientes, que podem ser alocados em outras atividades que possuam um maior retorno financeiro. Após o seu processo de configuração, o controlador de fator de potência pode ser operado de forma automática, realizando o controle sem a necessidade de acompanhamento, desde que sejam feitas as manutenções preventivas e revisões das configurações em intervalos regulares, além de proporcionar o máximo de segurança na rede elétrica.

Hoje um controlador de fator de potência custa em média R\$1500,00 (um mil e quinhentos reais), é um investimento considerado pequeno para as condições da fábrica em questão e irá trazer muitos benefícios.

4.3.5 Desequilíbrio de Cargas

O desequilíbrio de tensão em um sistema elétrico trifásico é uma condição na qual as fases apresentam tensão com módulos diferentes entre si, ou defasagem angular entre as fases diferentes de 120° elétricos ou, ainda, as duas condições simultaneamente. Sabe-se que a presença de cargas trifásicas desequilibradas conectadas a um sistema trifásico causa um desequilíbrio de tensão, uma vez que as correntes absorvidas nas três fases não são simétricas, isto é, não são iguais em módulo nem tão pouco defasadas de 120° .

Esses desequilíbrios causam aquecimento em equipamentos como motores e transformadores causando assim a redução de suas vidas úteis. Também são responsáveis por desperdício de energia, devido a perda Joule. Um desequilíbrio de 5% pode elevar a temperatura de um motor trifásico em mais de 20 graus.

Com a análise dos gráficos de potência ativa gerados pelo Grafana, pode-se verificar um desequilíbrio de cargas entre as três fases em alguns momentos durante o dia, apesar de ser um desequilíbrio pequeno, ele é um desequilíbrio que está presente em alguns horários do dia. A explicação da ocorrência desse desequilíbrio se deve ao aquecimento das resistências das injetoras convencionais e da injetora rotativa, pois com a sucessão do processo as resistências precisam ser reaquecidas para manter a homogeneidade do material e evitar problemas de qualidade das peças fabricadas.



Figura 24: Desequilíbrio de carga entre fases

Cada máquina possui em média oito resistências de 600 W, segue abaixo o modelo da resistência na Figura 25. Quando solicitado pela máquina, as resistências precisam ser religadas, então uma forma de conseguir resolver esse problema, seria uma redistribuição dessas resistências entre as fases, que não é um trabalho fácil de fazer, pois a fábrica não tem um esquema de ligação das mesmas. Apesar disto, foi considerado que as fases da fábrica estão de acordo, pois na maior parte dos dias operativos não ocorrem desequilíbrios.



Figura 25: Resistência tipo coleira de porcelana.

4.3.6 Picos de Potência (Aglutinador)

A partida nos motores elétricos solicita da rede de alimentação correntes de valores elevadas, podendo atingir de 6 a 10 vezes a sua corrente nominal. A consequência é que o sistema fica submetido a uma queda de tensão muito superior aos limites calculados para seu funcionamento normal, podendo ocasionar distúrbios operacionais sérios nos equipamentos de comando e proteção.

Com a análise dos gráficos gerados, pode-se perceber que várias vezes ao dia operativo ocorrem picos elevados de potência ativa de forma intermitente, como pode ser visto na Figura 24, ocorrem saltos de 10 kW. Esses picos são vistos normalmente em partidas de motores industriais e foi verificado na indústria de calçados que o pico ocorria quando era ligado o aglutinador, um equipamento que necessita de um motor muito grande para seu funcionamento e só entra em operação quando necessário para produção.

O aglutinador tem acoplado em seu eixo um motor de 30 cv, que por sua vez é acionado por partida direta. A partida direta é indicada para motores de até 7,5 cv devido à alta solicitação de energia à rede que esse tipo de partida oferece. Além disso, um motor desse porte pode sofrer diversos danos mecânicos e elétricos causados pelos seus elevados trancos durante a partida, reduzindo assim sua vida útil. Relatos de operadores mostram que o motor

do aglutinador tem uma recorrência muito grande de manutenções corretivas, além de substituição, pois o dono da empresa costuma fazer rebobinamento do motor.

A solução proposta para problema relatado acima seria a aquisição de um *soft-starter* de 45 A ideal para um motor de 30 cv, que custa em média R\$1800,00 (um mil e oitocentos reais).

Com um investimento maior, pode ser adquirido um *soft-starter* de maior capacidade, o que permite a instalação de um motor mais potente caso a empresa precise de maior produtividade, pois segundo relatos dos operadores, o motor para essa atividade não está suprimindo a alta demanda de material que precisa ser processado.

A compra do *soft-starter* traria uma série de benefícios para o motor e também para a rede elétrica, pois além da diminuição da corrente de partida, este equipamento garante vários outros benefícios para o motor trifásico.

Sendo eles:

- O processo de desligamento pode ser feito de forma decrescente;
- Detecção de falta de fase do motor e funcionamento com apenas duas fases;
- Conjugado de partida;
- Parada por corrente contínua;
- Proteção contra sobrecarga;
- Contenção do nível de corrente;
- Economia de energia;
- Proteção contra sobreaquecimento.

A Figura 26, a seguir, ilustra um tipo de *soft-starter* da fabricante WEG, modelo Ssw07 de 45 A.



Figura 26: Soft-starter
Fonte: WEG.

4.4 Manutenção das máquinas e motores

Os motores elétricos são responsáveis por grande parte da energia consumida nos segmentos industriais, pois seu uso é mais efetivo, com isso representam em média 50% do consumo de eletricidade dessas instalações industriais. São, portanto, equipamentos sobre os quais é preciso buscar, prioritariamente, a economia de energia.

Para WEG (2013), a correta manutenção de equipamentos possibilita a otimização do desempenho energético e alta confiabilidade, garantindo a redução de custos operacionais dos processos produtivos; e que os procedimentos de manutenção, quando devidamente alinhados com a política energética, resultarão não somente em confiabilidade operacional, mas também em melhorias no desempenho energético dos equipamentos. Logo, as ações proativas em redução no consumo de energia são tão importantes quanto à utilização de produtos eficientes, pois permitem a continuidade do crescimento econômico de forma responsável, consciente e sustentável.

Existem vários tipos de manutenção na indústria, os três tipos de manutenções mais utilizadas são:

- **Manutenção Corretiva:** Como o próprio nome diz, a manutenção corretiva atua nos equipamentos para corrigir falhas, quebras ou defeitos, realizando intervenções que façam com que as máquinas retornem à operação normal.

- **Manutenção Preventiva:** A manutenção preventiva tem como objetivo evitar quebras e o aparecimento de falhas em máquinas e componentes. As tarefas preventivas são realizadas de forma periódica, sendo cumpridas antes que surjam avarias e falhas ocorram, garantindo que as máquinas mantenham seu funcionamento eficaz e de forma confiável.
- **Manutenção Preditiva:** A manutenção preditiva é definida pelas atuações que são feitas nas máquinas de acordo com alterações em parâmetros de controle. Ela é conhecida como um método que tem a finalidade de indicar, por meio de softwares e equipamentos, as condições de funcionamento e desempenho de uma máquina em tempo real.

O tipo de manutenção utilizada na empresa é majoritariamente a corretiva, onde esse tipo de manutenção diminui a vida útil dos equipamentos, máquinas e instalações. Outro fator importante para a análise de eficiência energética é que o rendimento dos motores é diminuído com essa prática de manutenção. Como a fábrica não é limpa com regularidade, o acúmulo de poeira faz com que o pó se deposite na área de ventilação dos motores, ocasionando um aumento da temperatura devido a diminuição da capacidade de troca de calor com o ambiente.

Tudo isso é aumentado quando os motores não recebem manutenção de lubrificação dos rolamentos e mancais, pois sabe-se que a correta lubrificação dos rolamentos, além de permitir uma melhoria de rendimento, evita a elevação da temperatura que prejudica a vida útil desses equipamentos.

Por falta de equipamento de medição de temperatura, não foi possível o monitoramento da temperatura dos motores, porém como o dono da empresa afirmou que a manutenção não ocorria, há uma potencial chance de redução do consumo de energia elétrica da empresa com uma melhoria de manutenção dos motores.



Figura 27: Motor da fábrica com ventilação ineficiente por excesso de sujeira.

Outro ponto importante é que algumas máquinas da empresa têm em seu funcionamento motores muito antigos, como por exemplo à extrusora, seu motor é da década de 60. Sabe-se que motores muito antigos apresentam um baixo rendimento, ocasionando um maior consumo de energia. Então deve-se ter em mente uma política de troca de alguns motores, onde o investimento pode ter um retorno longo, mas que certamente valerá a pena no futuro.

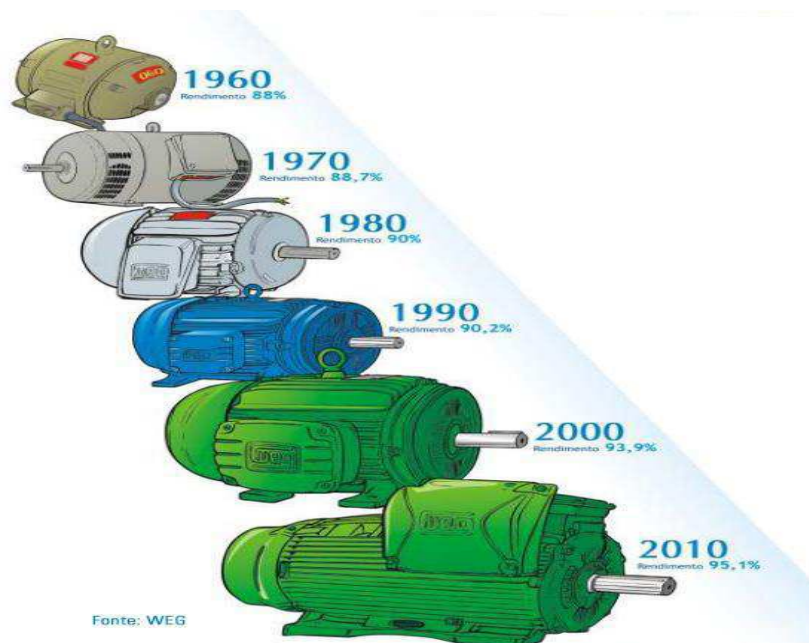


Figura 28: Evolução dos motores elétricos.
Fonte: WEG

4.5 Sugestão Para o Medidor Utilizado

O medidor possui uma limitação quanto os transformadores de corrente a serem utilizados para a leitura, como a maior parte das aplicações eram em instalações de baixa corrente, o TC mais indicado era o tipo alicate, como na Figura 28 abaixo.

Esse tipo de TC apresenta um menor erro comparado com um TC comum 100/5 A, porém ele não é de fácil acesso no mercado local, fazendo necessário comprar em sites brasileiros ou importar da China, além de seu preço ser elevado, existe o problema do tempo de entrega do mesmo. Com isso, torna-se um incômodo caso necessite de um TC com urgência.



Figura 29: Transformador de corrente tipo garra
Fonte: YHDC

Como a carga da fábrica é elevada, houve a necessidade de um TC de 300 A. A melhor opção no quesito de confiabilidade das leituras e facilidade de instalação (sem necessidade de interromper o circuito) seria um TC de 400A/100mA do mesmo fabricante, porém o seu preço é mais elevado e a única opção seria importar o instrumento.

A opção escolhida foi efetuar as leituras com TC's tipo janela com relação de transformação de 300/5 A, facilmente encontrados no mercado local. Esses TC's apresentam um problema em sua instalação, como pode-se ver na Figura 30 abaixo, que para ser realizada o circuito deve ser desenergizado e desconectado, uma tarefa onerosa para algumas indústrias ter sua produção interrompida por falta de energia elétrica.

O segundo problema é em relação aos erros de medida, pois em correntes muito pequenas, por características de qualidade e precisão, o TC apresenta erros bastante elevados. Comprovado em aplicações anteriores pela equipe do laboratório LABMET.



Figura 30 – Transformador de corrente tipo janela.
Fonte: Lukma Eletric.

Então como a fábrica tem uma corrente elevada durante todo expediente, justificada pelo seu processo produtivo, o TC tipo janela apresentado na figura 30 acima, apresentou resultados bem satisfatórios e confiáveis.

Com isso, foi descoberto que o TC outrora descartado em várias medições se tornou uma importante ferramenta para aferições em sistemas industriais onde se tem um elevado fator de carga, além disso, ele é facilmente encontrado no mercado local e apresenta um custo aproximadamente de quinze vezes menor comparado ao TC tipo garra, custando um valor de R\$55,00 (cinquenta e cinco reais) contra R\$840,00 (oitocentos e quarenta reais).

4.6 Proposta de Geração Distribuída com Energia Solar Fotovoltaica

O Brasil começou tarde a criar um ambiente favorável para se investir em energia renovável, somente em 2012 através da ANEEL com a resolução normativa N°482 de abril/2012 foram definidas as principais regras para o funcionamento da chamada micro e mini geração distribuída, modelo em que pequenos usuários podem produzir sua própria energia elétrica de forma integrada à rede de distribuição das concessionárias.

Na figura 31 abaixo vemos que desde a primeira resolução publicada em 2012, temos um rápido crescimento no número de conexões, isso se deve em grande parte pela viabilidade criada e melhorias implementadas nas resoluções publicadas em 2015.



Figura 31: Conexões acumuladas de geração fotovoltaica até 2016.
Fonte: ANEEL, 2016

Em 96,8% de todas as ligações registradas pela ANEEL de auto geração foram de sistemas fotovoltaicos, isso se deve ao fato do custo de produção por kWh ser menor em relação às outras formas de auto geração. A região Nordeste, que possui uma maior irradiação solar, é a região do Brasil em que o investimento é mais rentável.

De acordo com a fatura da energia elétrica da empresa e os resultados obtidos com o auxílio do medidor, não há grandes problemas a serem solucionados para a diminuição do valor da fatura. Com isso, sabe-se que a fatura de energia elétrica da empresa não irá reduzir em grande escala, fazendo com que a proposta de investimento na geração fotovoltaica seja favorável.

O primeiro passo para o dimensionamento da geração fotovoltaica para a empresa, é calcular a média do seu consumo anual, já falada anteriormente no trabalho. Na figura 14, tem-se o consumo de energia elétrica anual, a média diária foi calculada a partir da média anual mensal dividida por trinta, resultando em 558 kW/dia.

A partir da ferramenta disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>, é possível encontrar a irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, uma iniciativa do CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Após a coleta dos dados de irradiação para Campina Grande com o auxílio da ferramenta, encontramos o fator HSP (Irradiação solar diária média mensal) para o plano horizontal médio dos últimos doze meses, um valor de 5,25 kWh/m².dia.

Estação: Campina Grande
Município: Campina Grande, PB - BRASIL
Latitude: 7,201° S
Longitude: 35,849° O
Distância do ponto de ref. (7,232274° S; 35,885432° O): 5,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	5,58	5,67	5,77	5,23	4,63	4,06	4,16	4,90	5,49	5,75	5,99	5,76	5,25	1,93

Figura 32: Irradiação solar diária média mensal.
 Fonte: CRESESB

Na maioria dos estudos, o rendimento de um sistema de geração fotovoltaica gira em torno de 80%, ou seja, 20% de perdas. O rendimento será importante para o cálculo da potência total que os painéis devem gerar.

$$P = \frac{\text{Consumo médio diário (kWh)}}{\text{HSP} \cdot \text{Rendimento}} = \frac{558}{5,25 \cdot 0,8} = 133,10 \text{ kW} \quad \text{Eq. (7)}$$

Com o valor encontrado da potência total dos painéis, deve-se escolher qual tamanho e potência cada painel deve possuir, o considerado nos estudos é o painel de 380 W. Logo, dividindo a potência total pela potência de cada painel, temos a quantidade de 350 painéis.

A fim de aumentar a confiabilidade do sistema, deve-se dividir a geração em mais de um inversor, isso irá anular problemas de em falha do inversor, a geração ficar interrompida. Foi decidido que para a fábrica seriam necessários quatro inversores de 35 kW.



Figura 33: Inversor trifásico.
 Fonte: PHB Solar.

Após cotações realizadas, uma empresa de instalações de painéis em Campina Grande – PB avaliou o custo para o investimento, incluído os produtos, instalação e frete em R\$370.362,36 (trezentos e setenta mil e trezentos e sessenta e dois reais e trinta e seis centavos). Com uma média de produção de energia mensal de R\$7.401,91 (sete mil quatrocentos e um reais e noventa e um centavos) com a tarifa atual. O tempo de retorno do projeto seria de aproximadamente 50 meses, ou seja, quatro anos e dois meses.

Então para a empresa o investimento na energia fotovoltaica é bastante viável, pois o tempo de retorno é consideravelmente rápido para um investimento desse porte. Além de que os consumidores da energia solar levam em consideração os aspectos ambientais que comprovam que este tipo de energia é verde, tais como, a não emissão de CO₂, isso é um ponto positivo em relação à imagem sustentável da empresa.

CAPÍTULO 5

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado um estudo sobre o consumo de energia elétrica de uma fábrica de calçados em Campina Grande-PB, visando a adoção medidas que possam melhorar o uso eficiente da energia e o custo médio pago pela mesma.

Com a implementação de um sistema de gerenciamento de energia foi possível ao consumidor industrial utilizá-lo como ferramenta de gestão de eficiência energética, com o acompanhamento do comportamento da planta com foco na eficiência energética.

Na análise do consumo, com o auxílio do medidor, a empresa não apresenta fatores determinantes que reduza o custo total da fatura de energia elétrica, pois seu uso é de fato intenso no seu processo produtivo. Restando apenas algumas análises pontuais que necessitam de atenção no que se diz respeito a eficiência energética.

A partir dos estudos realizados, constataram-se resultados satisfatórios da aplicação do método de gerenciamento de energia, A fábrica apresenta uma boa distribuição de cargas entre as fases, um requisito importante para um bom funcionamento e longevidade dos equipamentos industriais. A aplicação do *Soft-starter* é de suma importância para evitar grandes solicitações na rede elétrica da instalação e aumentar a vida útil do motor do Aglutinador, que segundo relato dos colaboradores o motor apresentava quebras regularmente.

Pertencente a análise do fator de potência através das multas geradas pela concessionária e dos resultados do medidor, percebe-se que a fábrica se encontra adequada, pois os valores das multas analisadas no histórico do consumo são muito pequenas e as leituras do medidor condiz com as tarifas. Cabe ao gerente da empresa solicitar uma manutenção para o banco de capacitores para efetuar uma troca (na existência de alguma queima) de uma célula capacitiva ou a compra de mais uma célula como foi apresentado no trabalho.

A alternativa de investimento na geração distribuída em energia solar fotovoltaica se torna muito atrativo para realidade da empresa, pois no Nordeste a garantia de incidência de sol durante o ano inteiro permite um retorno de investimento mais rápido, mesmo se tratando de um projeto desta dimensão. O telhado da empresa permite uma grande quantidade de painéis, além de desfrutar da melhor posição geográfica possível, com a queda do telhado virado para o norte, permitindo uma maior eficiência do projeto. Atrelado ao horário de

funcionamento da fábrica ocorre a redução das perdas de energia, pois o período de geração será o mesmo período de consumo.

O medidor foi de fato muito preciso em suas leituras, condizendo com as análises da fatura de energia, e o TC utilizado pode ser uma alternativa de baixo custo para medidas em indústrias de pequeno porte onde, reduzindo assim o custo final de um projeto de gerenciamento de energia. O servidor do Grafana é de fácil acesso e seus resultados podem ser visualizados de forma simples e com precisão. Um ponto a ser melhorado no medidor, é que em lugares distantes de uma rede com acesso à internet a leitura fica inviável, como a fábrica do estudo tem grandes dimensões e a fonte de rede é distante do quadro das medições, os resultados em alguns momentos não foram enviados ao servidor, então a possibilidade do medidor ter uma conectividade por redes móveis seria uma melhora significativa.

5.1 Dificuldades e Limitações do Trabalho

A pesquisa foi bastante contundente devido ao fato da possibilidade da aplicação das mudanças sugerida. Porém, foram detectadas algumas dificuldades, principalmente na obtenção dos dados, já que o laboratório por utilizar seu medidor em pequenas cargas, não possuía TC's recomendados à fábrica.

Dessa forma, o início das medições foi atrasado pela falta do equipamento ideal para a medição, a compra era inviável por questões financeiras e logísticas. Então, foi decidido que os TC's que seriam utilizados eram os de tipo janela. Assim, a parte de *hardware* do medidor teve que ser modificada para poder receber a conexão desse tipo de TC. Com a ajuda do Professor Célio Anésio foi conseguido um TC emprestado por ele, outro foi adquirido no laboratório de eletrônica do LABMET e o último foi preciso comprar no comércio local.

A escolha do TC tipo janela trouxe uma complexidade no ato da instalação do medidor, pois para ser feita era necessário desligar todo o circuito principal da fábrica, e apenas nos fim de semana com a fábrica sem funcionamento era possível realizar a tarefa. A instalação foi realizada mesmo com a ausência de um eletricista vinculado a empresa.

5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros a implantação de novas ferramentas e sistemas de melhoria, além da aplicação de novos estudos que analisem mais a fundo, com o intuito de obter resultados cada vez melhores e as possíveis reduções de custos, fazendo com que os empresários das organizações percebam a importância de um gerenciamento de energia.

Referências

ANEEL. **Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE PROJETO PRIORITÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ESTRATÉGICO DE P & D : “ EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINIGERAÇÃO EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DE EDUCAÇÃO SUPERIOR ”.** , 2016.

ARAGÃO NETO, R. M. **O fator humano e gestão energética.** In: XII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção. Anais... Bauru: Anais XII SIMPEP, 2005. 25/11/2019.

BARROS, José Danilo Leão. **GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CAMPUS DA UFCG EM CAMPINA GRANDE.** 2011. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Dee, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

BEN – **Balanco Energético Nacional, 2019.** Disponível no site <https://ben.epe.gov.br/>, consulta em 20/10/2019.

BOYLESTAD, R. L. **Introdução a análise de circuitos.** 8^a. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil Ltda, 1998.

BRASIL. CRESESB. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

CELPE (Pernambuco). **CONHEÇA SUA CONTA.** 2009. Disponível em: <<http://servicos.celpe.com.br/comercial-industrial/Pages/Alta%20Tens%C3%A3o/conheca-sua-conta.aspx>>. Acesso em: 15 set. 2019.

COPEL (Brasil). **DEMANDA.** 2019. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FF5EAD992942579F903257EBB0042F764>>. Acesso em: 01 out. 2019.

ENGELÉTRICA SERVIÇOS ELÉTRICOS. **FATOR DE POTÊNCIA.** 2010. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/correcao-fator-de-potencia-fator-de-potencia.htm>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010- 2019), Rio de Janeiro: EPE, 2013.

- IBGE. **Paraíba, Campina Grande**. 2019. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=250400>>. Acesso em: 20 nov. 2019.
- LUKMA ELETRIC. **Lukma Eletric**. Disponível em: <<http://www.lukma.com>>. Acesso em: 17 nov. 2019.
- Nogueira, L.A.H., “**Auditoria Energética**”, notas de aula, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1990.
- OLIVEIRA, Edmar Pinto de et al. **PROJETO SCIKE**. Campina Grande: Ufcg, 2019. 19 p.
- PHB SOLAR (Brasil). **Inversores solares**. Disponível em: <<https://www.energiasolarphb.com.br>>. Acesso em: 22 nov. 2019.
- PROCEL. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2019.
- PROCEL Indústria – **Eficiência Energética na Indústria**, 2019. Disponível no site <https://www.procelinfo.com.br/>, consulta em 01/11/2019.
- SANTOS, Afonso Moreira et al. **Eficiência Energética: teoria e prática**. Itajubá: Fupai, 2007. 224 p.
- SANTOS, Paulo César dos. **É o fim da Tarifa Convencional e agora, Tarifa Verde ou Tarifa Azul?** 2016. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/%C3%A9-o-fim-da-tarifa-convencional-e-agora-verde-ou-azul-dos-santos>>. Acesso em: 25 dez. 2019.
- SOUZA, Andréa De; GUERRA, Jorge Carlos Correa; KRUGER, Eduardo Leite. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. **Revista Tecnologia e Sociedade** v. 1, p. 1–7, 2011.
- SWORDS, B.; COYLE, E.; NORTON, B. **An enterprise energy-information system**. *Applied Energy*, v. 85, n. 1, p. 61-69, jan. 2008.
- VAN GORP, J. C. **Maximizing energy savings with enterprise energy management systems**. In: Conference Record of 2004 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference. Anais... IEEE, 2004a.

VAN GORP, J. C. **Enterprising energy management**. IEEE Power and Energy Magazine, v. 2, n. 1, p. 59-63, jan. 2004b.

WEG (Brasil),2013. **WEG**. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

YHDC (China). **YHDC**. Disponível em: <<http://en.yhdc.com>>. Acesso em: 15 out. 2019.