

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS ANTONIO SIMPLICIO

**ESTUDO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E DE TÉCNICAS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADOS A UMA PLANTA INDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2021

LUCAS ANTONIO SIMPLICIO

**ESTUDO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E DE TÉCNICAS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADOS A UMA PLANTA INDUSTRIAL**

**Study for power factor correction and energy efficiency techniques applied to
an industrial site**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dra. Gabriela Helena Bauab
Shiguemoto

CORNELIO PROCOPIO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt_BR)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt_BR

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Antonio Simplicio

PROPOSTA DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E DE TÉCNICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADOS A UMA PLANTA INDUSTRIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 13:30hs do dia 22/10/2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Wagner Fontes Godoy - (Membro)

Prof(a). Esp. Carlos Alberto Paschoalino - (Membro)

RESUMO

SIMPLICIO, Lucas Antonio. **Proposta de correção do fator de potência e de técnicas de eficiência energética aplicados a uma planta industrial**. 2021. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2021.

Dentre os meios de melhor aproveitamento da energia, pode-se citar a escolha correta de lâmpadas, que hoje contam com tecnologias cada vez mais avançadas, que prometem reduzir o consumo e aumentam a vida útil desses produtos, o mesmo ocorre com motores elétricos e transformadores de potência. Outra medida importante é a correção do fator de potência, que é monitorado pelas concessionárias de energia elétrica, podendo gerar às indústrias multas e taxas mensais cobradas diretamente na fatura. Além do mais, o controle do fator de potência gera inúmeros benefícios à rede elétrica da concessionária e do consumidor e evitam gastos com equipamentos superdimensionados na indústria.

Considerando a grande importância do melhor aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis, o presente trabalho visa propor meios para melhorar a eficiência energética em uma planta industrial real, assim como realizar um estudo de viabilidade da correção do fator de potência, baseado em análises de sua demanda e carga instalada.

Palavras-chave: Fator de potência. Planta energética industrial. Eficiência energética.

ABSTRACT

SIMPLICIO, Lucas Antonio. **Proposal for power factor correction and energy efficiency techniques applied to an industrial site.** 2021. 61f. Proposed Monography (Graduation) – Graduation in Electrical Engineering. Federal Technological University of Paraná. Cornelius Procopio, 2021.

Among the means of better use of energy, one can mention the correct choice of light bulbs, which today have increasingly advanced technologies, which promise to reduce consumption and increase the useful life of these products, the same occurs with electric motors and transformers. power. Another important measure is the correction of the power factor, which is monitored by electric energy concessionaires, which may generate fines and monthly fees charged directly on the invoice for industries. Furthermore, power factor control generates numerous benefits to the utility and consumer electrical network and avoids spending on oversized equipment in the industry.

Considering the great importance of making better use of available energy resources, this work aims to propose ways to improve energy efficiency in a real industrial plant, as well as to carry out a feasibility study for power factor correction, based on analysis of its demand and installed load.

Keywords: Power factor. Industrial energy plant. Energy efficiency.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação da secção nominal dos condutores em função do FP	15
Tabela 2: Limites de fator de potência ao redor do globo.	17
Tabela 3: Dados oriundos da fatura de energia elétrica da planta.	38
Tabela 4: Orçamento da inst. e mat. do sist. de banco de capacitores.	42
Tabela 5: Valores de custos mensais da planta com e sem correção do FP.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tensão e corrente para um sistema com carga linear	10
Figura 2: Tensão e corrente para um sistema com carga não linear	11
Figura 3: Triângulo retângulo de potência.	12
Figura 4: Campo elétrico em um capacitor	22
Figura 5: Curva tensão vs. tempo do capacitor	23
Figura 6: Estrutura banco de capacitor padrão CPFL	24
Figura 7: Banco de capacitores utilizado na correção do FP.	25
Figura 8: Consumo de energia por setor	27
Figura 9: Potencial de economia com eficiência energética	28
Figura 11: Poste completo de entrada	33
Figura 12: Cabine de medição indireta	33
Figura 13: Area de lavagem de café	34
Figura 14: Area de secagem e beneficiamento	35
Figura 15: Area de secagem	35
Figura 16: Area d beneficiamento	36
Figura 17: Area de torrefação	36
Figura 18: Area interna de torrefação	37
Figura 19: Adição do capacitor C em paralelo com a carga	39
Figura 20: Triangulo de potência, ilustrando a correção do FP	39
Figura 21: Triangulo de potência com valores reais	41
Figura 22: Detalhe barracão de beneficiamento	45
Figura 23: Detalhe barracão de beneficiamento, parte do reser. de armazen.	46
Figura 24: Detalhe barracão de beneficiamento, reservatório de secagem	46
Figura 25: Refletor vapor de mercúrio com reator, área de secagem	47
Figura 26: Refletor vapor de mercúrio com dois reatores, área de benef.	48
Figura 27: Exemplo de aplicação de telhas acrílicas	49
Figura 28: Acesso túnel 1 secagem	50
Figura 29: Interior túnel 2 de lavagem, lado direito	50
Figura 30: Interior túnel 2 de lavagem, lado esquerdo	51
Figura 31: Motor elétrico de 3 cv, área de secagem	52

Figura 32: Motor elétrico de 3 cv, área de secagem	52
Figura 33: Detalhe motor elétrico de 3 cv	53
Figura 34: Detalhe motor elétrico de 25 cv	53
Figura 35: Detalhe painel comando de motores	54
Figura 36: Motor acionado por mecanismo de correias	55
Figura 37: Sistema de correias e motor, cesto de secagem	55
Figura 38: Sistema de correias do motor de 25 cv	56

LISTA DE ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEED	China Construction Eighth Engineering Division
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
REN	Redes Energéticas Nacionais
FP	Fator de Potência
VA	Volt-Ampere
kW	Quilowatts
kVA	Kilovolt Ampere
GED	Gerenciamento Eletrônico de Documentos
VPL	Valor Presente Líquido
kVAr	Kilovolt Ampere Reativo
cv	Cavalo Vapor
W	Watts
P	Potência Ativa
Q	Potência Reativa
S	Potência Aparente
C	Capacitância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	9
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivo Específico	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Cargas lineares e não lineares	10
2.2	Definição do fator de potencia	11
2.2.1	Causas e consequências do baixo fator de potência	13
2.2.2	Exemplos e conseq. reais atrelados ao baixo fator de potência	14
2.3	Legislação e cobrança	17
2.3.1	Legislação	17
2.3.2	Cobrança	17
2.4	Correção do fator de potência	22
2.4.1	Capacitores	21
2.4.2	Aplicação dos bancos de capacitores	23
2.4.2.1	Bancos de capacitores fixos em redes de distribuição	23
2.4.2.2	Bancos de capacitores automáticos	24
2.5	Tipos de correção do fator de potência	27
2.6	Métodos de eficiência energética nas indústrias	28
3	METODOLOGIA	32
3.1	Características da planta estudada	32
3.2	Amostragem	37
3.3	Cálculos e dimensionamentos	38
3.4	Orçamento	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Análise de viabilidade financeira de implement. do banco de cap	43
4.2	Sugestões de técnicas de eficiência energética	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERENCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2021), realizado pela empresa de pesquisa energética (EPE), o setor industrial é responsável pelo consumo de 32% da energia elétrica no país.

Segundo FIRJAN (2017) em uma planta industrial faz-se o uso contínuo de equipamentos como transformadores, motores elétricos, entre outros dispositivos eletromagnéticos que possuem enrolamentos em sua construção. De acordo com BORGES BECKER (2017) do total de energia consumida pelas indústrias, 70% é consumida por motores elétricos, então os motores elétricos são responsáveis por aproximadamente 23% do consumo total de energia no Brasil. O'MALLEY (1993) diz que para funcionar, estes equipamentos magnetizam os núcleos de ferro, armazenando energia reativa, energia que não produz trabalho, mas em contrapartida é necessária para o funcionamento de motores elétricos. E quando não há o correto dimensionamento de motores, transformadores e das instalações elétricas em geral a planta industrial pode gerar um excedente de reativos que prejudica o sistema elétrico a que está conectado, por provocar perdas por aquecimento e quedas de tensão.

No caso dos motores elétricos de indução, de acordo com STEFANO (2018) tais motores consomem praticamente a mesma energia reativa, quer operando em vazio, quer operando à plena carga. A energia ativa, entretanto, é diretamente proporcional à carga mecânica aplicada ao eixo do motor. Nessas condições, quanto menor a carga, menor a energia ativa consumida e menor o fator de potência. Com isso gera também um prejuízo financeiro para a indústria pois esse excedente (que resulta em um baixo fator de potência) pode ser cobrado pela concessionária de energia (ANEEL, 2010).

Essas cobranças aumentam ainda mais os custos operacionais relacionados à energia elétrica nas indústrias, podendo ser evitadas fazendo a correção do fator de potência, que é a relação direta da energia ativa (útil) e da energia reativa.

A resolução N° 456 da Agência Nacional de Energia, ANEEL de 29 de novembro de 2000, determina que os clientes tenham um fator de potência igual ou superior a

0,92, ou seja, 92% da energia serão ativada. Caso seja inferior a esse valor, o cliente está sujeito a multas mensais.

Sendo assim pode-se observar que a correção do fator de potência pode gerar um uso eficiente do sistema elétrico, pois quando existe uma redução da potência reativa circulando na rede, tem-se uma melhora na qualidade de energia, redução de perdas e gera uma economia financeira para o cliente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Sugerir uma correção do fator de potência em uma planta industrial real, assim como algumas técnicas de uso eficiente da energia elétrica para o melhor aproveitamento de recursos energéticos e financeiros.

1.1.2 Objetivo Específico

- Monitorar a variação do fator de potência, tensão, entre outros parâmetros da planta industrial estudada.
- Realizar um estudo com o objetivo de corrigir o fator de potência deficiente (se necessário) e entregar a proposta ao proprietário.
- Sugerir melhorias baseadas nas técnicas de eficiência energética na planta industrial.

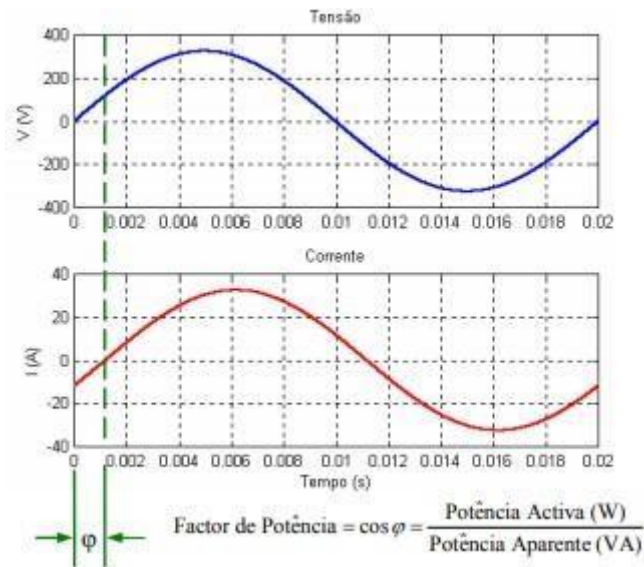
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão abordadas as principais práticas e teorias sobre a correção do fator de potência e técnicas de eficiência energética na indústria.

2.1 Cargas lineares e não lineares

Segundo RIBEIRO JÚNIOR (2016), as cargas elétricas podem ser divididas basicamente em 2 parcelas: cargas lineares e cargas não lineares. As cargas lineares obedecem a lei de Ohm, ou seja, são puramente resistivas, e são caracterizadas por possuírem linearidade senoidal, conforme Figura 1. Pode-se citar como exemplo de cargas lineares, chuveiros e lâmpadas incandescentes, para este tipo de carga, toda energia transportada pelo sistema é transformada em trabalho (MAMEDE, 2011).

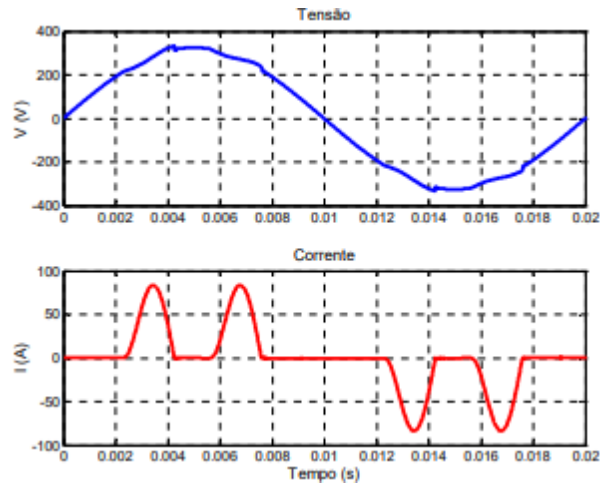
Figura 1 - Tensão e corrente para um sistema com carga linear.



Fonte: Fonte: AFONSO; S. MARTINS, 2014

Já as cargas não lineares se caracterizam pela razão de deslocamento das ondas senoidais de corrente e tensão a partir do suprimento de cargas consumidoras de potência reativa. Neste caso, não é chamada resistência, mas sim impedância, uma vez que o sistema se relaciona com a frequência, medida em Hertz (MAMEDE, 2011).

Figura 2 – Tensão e corrente para um sistema com carga não linear.



Fonte: AFONSO; S. MARTINS, 2014

2.2 Definição do fator de potência

Segundo RODRIGUES (2012) o fator de potência é a relação entre energia ativa (P), aquela que realmente produz trabalho, e a energia reativa (Q), que não produz trabalho, mas é indispensável para a criação do fluxo magnético e o funcionamento de motores, transformadores entre outros equipamentos elétricos.

O fator de potência, sendo a relação entre as duas quantidades representadas pela mesma unidade de potência, é um número adimensional. O fator de potência pode ser também definido como o cosseno do ângulo formado entre o componente da potência ativa e o seu componente total, ou seja, $F_p = \cos \phi$ (MAMEDE, 2011, p. 138).

Segundo SADIKU (2013), o fator de potência pode ser visto como aquele fator pelo qual a potência aparente deve ser multiplicada para se obter a potência média ou real. O valor do FP varia entre zero e 1. Para uma carga puramente resistiva, a tensão e a corrente estão em fase, de modo que a diferença dos ângulos de tensão (θ_v) e corrente (θ_i) é igual a zero e o fator de potência igual a 1.

$$\theta_v - \theta_i = 0 \quad (1)$$

Sendo assim, a potência aparente é igual à potência média.

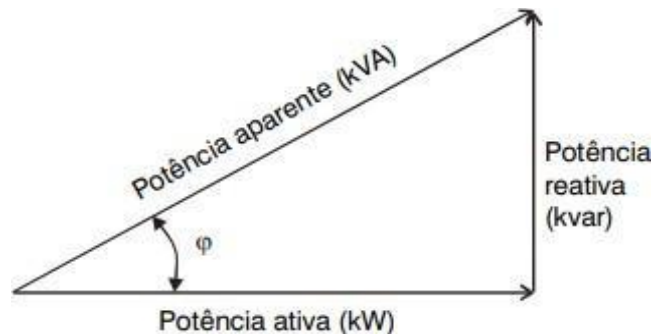
Já para uma carga puramente reativa, tem-se que o ângulo da tensão menos o ângulo da corrente é igual a mais ou menos 90° resultando em um fator de potência igual a zero, ou seja, potência média com valor igual a zero.

$$\theta_v - \theta_i = 1 \quad (2)$$

Ainda segundo SADIKU (2013), pode-se classificar o fator de potência como atrasado ou adiantado. Dizer que o fator de potência está adiantado significa que a corrente está adiantada em relação a tensão, caracterizando uma carga capacitiva. Já um fator de potência atrasado, a corrente está atrasada em relação à tensão, caracterizando uma carga indutiva.

De acordo com WEG (2015), um triângulo retângulo é frequentemente utilizado para uma melhor representação entre as grandezas kW, kVAr e kVA, conforme observa-se na Figura 3.

Figura 3 – Triângulo retângulo de potência.



Fonte: WEG, 2015

Onde se pode equacionar o fator de potência em função da potência ativa P, potência aparente S e potência reativa Q, assim como o fator de potência (FP) em relação ao consumo de potência por unidade de tempo.

$$FP = \frac{kW}{kVA} = \cos\phi = \frac{kW}{\sqrt{kW^2 + kVAR^2}} \quad (7)$$

$$FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVARh^2}} \quad (8)$$

2.2.1 Causas e consequências do baixo fator de potência

De acordo com MAMEDE (2011), é possível listar algumas das principais causas de um fator de potência baixo nas instalações industriais.

- Motores de indução trabalhando a vazio durante um longo período de operação;
- Motores superdimensionados para as máquinas acopladas a eles;
- Transformadores em operação a vazio ou com carga baixa;
- Reatores de baixo fator de potência alimentando lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio entre outras;
- Fornos a arco;
- Fornos de indução eletromagnética;
- Máquinas de solda a transformador;
- Equipamentos eletrônicos;
- Grande número de motores de baixa potência operando em períodos longos;

Entre as consequências principais oriundas do baixo fator de potência, destacam-se:

- Perdas na Instalação

As perdas de energia elétrica nos condutores na forma de calor são regidas pela Lei de Joule, sendo iguais ao quadrado da corrente circulante multiplicado pela resistência do condutor. Assim, um baixo fator de potência resulta em uma maior corrente aparente, esta corrente gera perdas elevadas na rede e, conseqüentemente, provoca o aquecimento de condutores e equipamentos MARCHI (2019).

- Quedas de Tensão

De acordo com WEG (2015) 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 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.

2.2.2 Exemplos de consequências reais atrelados ao baixo fator de potência.

Segundo WEG (2015), quando se tem uma sobrecarga de potência reativa em um sistema, sua plena utilização é inviabilizada, fazendo com que o sistema exija novos investimentos em condutores e transformadores, que podem ser evitados se o fator de potência apresentar valores maiores.

Para que um transformador seja instalado corretamente, faz-se necessário um estudo de cargas onde o mesmo deve atender a potência total dos equipamentos utilizados naquela planta ou setor, mas devido à presença de potência reativa, essa capacidade deve ser calculada com base na potência aparente do sistema (WEG, 2015).

Da mesma maneira, para conseguir conduzir a mesma potência ativa sem que ocorram perdas, a secção nominal dos condutores deverá aumentar à medida que o fator de potência diminui, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Variação da secção nominal dos condutores em função do fator de potência.

Seção nominal dos condutores	Fator de potencia
1	1
1,23	0,90
1,56	0,80
2,04	0,70
2,78	0,60
4,00	0,50
6,25	0,40
11,10	0,30

Fonte: WEG, 2015

Nota-se que de acordo com a Tabela 1, em relação ao ônus financeiro, se o fator de potência não estiver ajustado e controlado corretamente, a indústria fica

sujeita a investimentos desnecessários, como o aumento na bitola dos condutores e a multas e cobranças oriundas da concessionária, conforme será detalhado na próxima seção.

2.3 Legislação e cobrança

Nesse tópico serão expostos os principais pontos do histórico da legislação e da regulamentação vigente, assim como os métodos de cobrança.

2.3.1 Legislação

No Brasil, a agência responsável pela regulamentação de atividades no setor elétrico é a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e está vinculada diretamente ao ministério de minas e energia. Suas atividades se iniciaram em dezembro de 1997 por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. As principais atividades da agência são atribuições à regulamentação, fiscalização e padronização das operações na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (ANEEL, página oficial).

O primeiro parágrafo da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, e atualizada pelas normas REN, redes energéticas nacionais nº 479 e 499 de 2012, determina os objetivos da instituição:

“Estabelecer, de forma atualizada e consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, cujas disposições devem ser observadas pelas distribuidoras e consumidores.” (Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010)

Com a publicação do Decreto nº 59.414 de 1966, o qual estipulava o fator de potência indutivo médio em 0,90 para consumidores do serviço de transmissão e 0,85 para os demais consumidores, foi iniciada a regulamentação referente à energia reativa no Brasil.

No ano de 1968 com o decreto nº 62.724 e depois com nova redação em 1975 pelo Decreto nº 75.887 em 1975, adotou-se o fator de potência referência de 0,85 para todas as unidades consumidoras.

Em 1992, por meio da Portaria nº 85 o DNAEE determina em 0,92 o limite mínimo do fator de potência, e estabelece a medição horária de reativos para consumidores

com tarifa binômica e possibilita o faturamento da energia reativa capacitiva excedente durante a madrugada, para alguns consumidores.

Em 2012, através da resolução normativa nº 479, esta normativa regulamenta a definição, os valores de referência e a abrangência na aplicação do Fator de Potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras.

Já a resolução Normativa nº 499/2012 insere o inciso XXXV-A no artigo 2 da REN 414/210, que define o conceito de fator de potência de deslocamento como sendo a razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado e medidas considerando-se as componentes de tensão e corrente apenas na frequência nominal da rede elétrica

No Artigo 95 da resolução nº 499/2012, tem-se que o fator de potência de deslocamento de referência, tem como limite mínimo permitido, o valor de 0,92 indutivo ou capacitivo para as unidades consumidoras dos grupos A e B conectadas em níveis de tensão inferiores a 69 kV e o valor de 0,95 indutivo para as demais unidades consumidoras.

Na seção IV da resolução nº499/2012, o artigo 95 estabelece que o fator de potência nas unidades consumidoras deve ser superior a 0,92 capacitivo durante 6 horas da madrugada e 0,92 indutivo durante as outras 18 horas do dia, e aquele que descumprir a norma está sujeito a uma espécie de multa que leva em conta o fator de potência de deslocamento medido e a energia consumida ao longo de um mês. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativa que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos arts. 96 e 97, a serem adicionadas ao faturamento regular.

A Tabela 2, ilustra os limites de fator de potência exigidos por alguns países ao redor do globo.

Tabela 2 – Limites de fator de potência ao redor do globo.

Limites de fator de potência em países ao redor do globo.	
Pais	Fator de potencia
Suíça	0,93
Alemanha	0,93
Argentina	0,93
Bélgica	0,95
Portugal	0,95
França	0,95
Coreia	0,95

Fonte: AMORIN, 2008

Ainda de acordo com AMORIN (2008), a tendência mundial é elevar esses limites de correção do fator de potência, com o intuito de uma melhor eficiência de operação dos sistemas elétricos de potência.

2.3.2 Cobrança

Para a melhor compreensão do sistema de cobrança, das condições tarifárias e de multas, é de extrema importância explicar alguns conceitos.

- O horário de ponta, de acordo com a concessionária local CPFL (2020), fica entre 18 e 21 horas, onde o consumo de energia elétrica é muito mais alto do que nos outros horários. Isso porque estão funcionando ao mesmo tempo, além das fábricas, a iluminação pública, a iluminação residencial, vários eletrodomésticos e a maioria dos chuveiros. Este é o chamado horário de pico (horário de ponta) de consumo de energia elétrica.
- Já o horário fora de ponta corresponde ao período em que o consumo de energia elétrica é mais baixo, e, por consequência, a capacidade máxima das linhas de transmissão está longe de ser atingida.

De acordo com PROCEL (2001), para efeito de tarifação, o ano é dividido em dois períodos, um período seco que compreende os meses de maio a novembro (7 meses) e um período úmido, que compreende os meses de dezembro a abril (5

meses). Em algumas modalidades tarifárias, no período seco o consumo tem preços mais elevados.

- Demanda contratada é a demanda de potência que a distribuidora de energia precisa obrigatoriamente disponibilizar para o consumidor, conforme estipulado em contrato (ECOIA, 2020). A demanda contratada deve ser integralmente paga pelo consumidor, seja ela utilizada ou não no período em questão.
- Já a demanda aferida é a maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integrada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento (ECOIA, 2020).

A resolução normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010 (ANEEL, 2010) trata ainda das modalidades tarifárias, que basicamente são três tarifas aplicadas na fatura de energia.

✓ Tarifa de Energia (TE): Tarifa relativa ao custo de energia consumida em kWh. Para consumidores cativos, o valor é estabelecido pela ANEEL de acordo com a área de concessão (para cada concessionária).

✓ Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD): Tarifa referente a custos na transmissão e distribuição de energia, também estão incluídos encargos criados para viabilizar políticas públicas no setor elétrico brasileiro.

✓ Tarifa de Demanda: cobrado por kW disponível na entrada do estabelecimento do consumidor, caso a demanda aferida esteja menor ou igual a contratada é cobrado o valor da demanda contratada, caso seja maior é cobrado o valor aferido acrescido de multa (correspondente a diferença entre demanda aferida e demanda contratada).

Ainda existem outras duas demandas que são aplicadas a título de multa, uma por consumo de energia reativa excedente, e outra por ultrapassagem de demanda:

✓ Tarifa de Energia Reativa Excedente: Tarifa aplicada a título de multa por kVAr de potência reativa excedente na fatura de energia.

✓ Tarifa de ultrapassagem de demanda: aplicada a diferença entre a

demanda aferida e a contratada, quando a demanda aferida maior ou igual a 110% da contratada.

A estrutura tarifária é o enquadramento no qual o consumidor se adequa. O grupo é basicamente escolhido de acordo com o nível de tensão de fornecimento, já a modalidade pode ser escolhida pelo consumidor (ANEEL, 2010):

O grupo A abrange consumidores com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou unidades consumidoras atendidas a partir do sistema de distribuição subterrâneo em baixa tensão. Nesse grupo é aplicada a tarifa binômia e é dividido em subgrupos que são definidos por seu nível de tensão de fornecimento.

- subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

O grupo B, é definido pelo agrupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- subgrupo B1 – residencial;
- subgrupo B2 – rural;
- subgrupo B3 – demais classes;
- subgrupo B4 – Iluminação Pública.

Já as modalidades tarifárias descritas pela resolução nº 414 da ANEEL (2010) são as seguintes:

- Convencional: Pode ser contratada por consumidores que possuírem demanda contratada inferior a 300 kW.

- Horária Verde: Pode ser contratada por consumidores das categorias A3a, A4 e AS, onde é contratado apenas um valor de demanda que vale para o período úmido e seco.
- Horária Azul: essa modalidade é opcional para os consumidores A3a, A4 e AS e se torna obrigatória para os consumidores das categorias A1, A2 e A3. Nessa opção é contratado uma demanda para o período seco e uma para o período úmido.

Para a escolha das modalidades tarifárias, é necessária uma criteriosa avaliação, levando em consideração custos e consumo em cada caso

2.4 Correção do fator de potência

Com o intuito de reduzir custos e evitar multas na fatura de energia elétrica, assim como a melhor utilização e aproveitamento dos sistemas elétricos, existentes ou a serem projetados, os proprietários juntamente com o corpo de engenharia buscam as melhores formas de corrigir o fator de potência, também chamado de compensação de reativos, e buscam elevar esse valor acima do valor estabelecido por lei, que é de 0,92.

COTRIM (2008) explana em seus estudos os três principais métodos para compensação de reativos, que são: o aumento do consumo de energia ativa, a utilização de máquinas síncronas superexcitadas e a utilização de capacitores.

O método de aumento do consumo de energia reativa, consiste na adição de cargas novas com um fator de potência elevada. Isso fará com que o consumo de energia ativa aumente sem afetar drasticamente o consumo de reativos. Esse método possui pouca aplicação prática, apesar de ser uma metodologia válida (COTRIM, 2008).

Quando ocorre a superexcitação de máquinas síncronas, essas passam a funcionar como geradores de potência reativa, e quando utilizadas exclusivamente na geração de reativos, recebem a nomenclatura de compensadores síncronos, segundo MAMEDE (2011). Esta solução não é comumente adotada devido ao alto custo e às

dificuldades operacionais.

Já a utilização de bancos de capacitores para a compensação de reativos, é a metodologia mais utilizada, e será abordada com uma maior ênfase nesse trabalho. De acordo com COTRIM (2008) é a abordagem mais econômica e que permite maior flexibilidade na aplicação, portanto é o método de correção de fator de potência mais adotado na indústria.

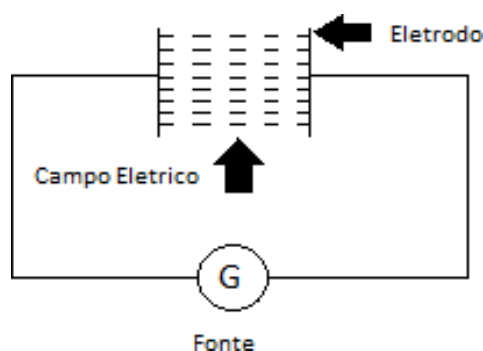
“Costumeiramente, os capacitores têm sido aplicados nas instalações industriais e comerciais para corrigir o fator de potência, geralmente acima do limite estabelecido pela legislação em vigor. Além disso, são utilizados com muita intensidade nos sistemas de distribuição das concessionárias e nas subestações de potência, com a finalidade de reduzir as perdas e elevar a tensão no sistema.” (MAMEDE, 2011, p. 149).

2.4.1 Capacitores

Os capacitores são basicamente equipamentos capazes de armazenar energia elétrica, e são constituídos de pelo menos duas placas condutoras colocadas paralelamente e separadas por meio de um material isolante. Nas extremidades externas dessas placas liga-se uma fonte de tensão que irá gerar um campo eletrostático no espaço compreendido entre as duas placas (MAMEDE, 2011)

A energia da fonte pode ser oriunda de uma bateria ou gerador tanto de corrente alternada ou contínua, as placas paralelas são denominadas eletrodos e as linhas de fluxo entre essas placas estão representadas na Figura 4. Já o material que isola as placas é chamado de dielétricos (MAMEDE, 2011)

Figura 4– Campo elétrico em um capacitor



Fonte: MAMEDE (2011)

Segundo MAMEDE (2011) quando se aplica tensão nos terminais de um capacitor, surge uma corrente de carga que começa circular em seu interior, conseqüentemente, uma determinada quantidade de energia se acumula no campo elétrico do capacitor, e pode ser descrita pela equação

$$E = \frac{1}{2} * C * V_m^2 \quad (J) \quad (9)$$

Onde, C é a capacidade do capacitor em F e V_m é a tensão aplicada em volts.

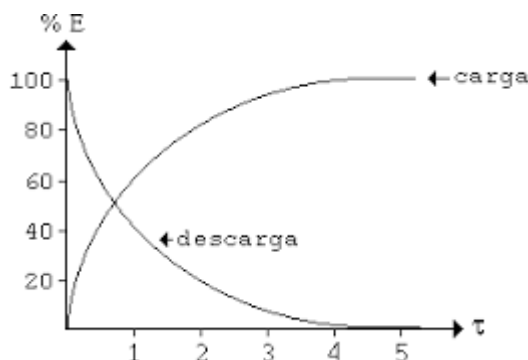
Ainda, MAMEDE (2011) explana que a corrente de carga de um capacitor é diretamente proporcional à tensão aplicada entre seus terminais, ou seja, elevando a tensão, elevo conseqüentemente a carga acumulada e a corrente, que pode ser ilustrada pela equação 10.

$$I = C * \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (A) \quad (10)$$

Onde, ΔV é a variação da tensão em volts e ΔT é o período durante o qual se variou a tensão.

Quando um capacitor é energizado e a diferença de potencial entre as placas dielétricas atingem um valor final de equilíbrio, o capacitor está carregado. O processo pelo qual o capacitor se carrega, assumindo uma diferença de potencial entre as armaduras, é denominado de processo de carga do capacitor. Já o processo de descarga é também um processo não-linear semelhante ao processo de carregamento de um capacitor. Em geral o processo de descarga transcorre através de um resistor de carga, que dissipa a energia armazenada no capacitor em forma de calor (SENAI, 2019)

Figura 5- Curva tensão vs. tempo do capacitor



Fonte: ZUIM, 2020

2.4.2 Aplicação dos bancos de capacitores

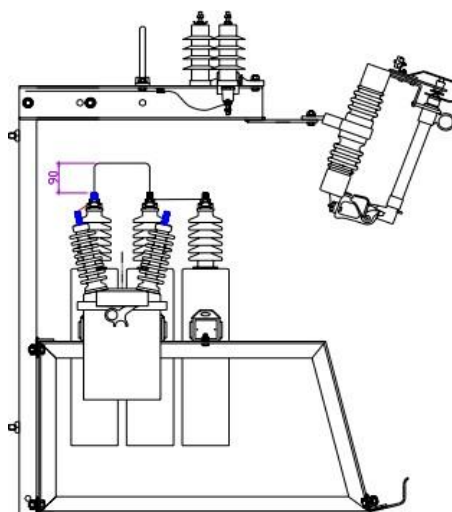
Aqui serão abordados os dois principais tipos de bancos de capacitores.

2.4.2.1 Banco de capacitores fixos em redes de distribuição

As concessionárias locais padronizam as estruturas de montagem de banco de capacitores em redes aéreas nuas. No caso a concessionária CPFL, padroniza os capacitores nas classes de tensão 15 kV e 25 kV através do GED N° 10619, que é o gerenciamento eletrônico de documentos da concessionária.

No GED N° 10619 tem-se uma sequência de especificações necessárias para implementação de um banco de capacitores em redes de 15 e 25 kV nuas, onde todos os procedimentos deverão ser seguidos à risca para que o projeto obedeça aos padrões da concessionária e, conseqüentemente seja aprovado.

Figura 6 - Estrutura banco de capacitor padrão CPFL.



Fonte: GED-CPFL-10619, 2020.

Os bancos de capacitores fixos injetam sua potência reativa capacitiva nominal constantemente ao sistema, independentemente de como esteja o comportamento das cargas. Sendo assim, ocorre a possibilidade do banco que foi instalado como solução, se tornar um problema, devido ao fato de que em determinados períodos o consumo de potência reativa indutiva diminui e a potência fornecida pelo banco permanece fixa, alterando o comportamento do sistema, que passa a sofrer danos pelo excesso de reativo capacitivo (CEMIG, 2012).

2.4.2.2 Bancos de capacitores automáticos

Os bancos automáticos de capacitores são muito utilizados em escala industrial, e consiste basicamente na leitura constante da corrente elétrica, que irá determinar o nível de compensação reativa de acordo com a necessidade do sistema naquele momento. Isso soluciona o problema de inversão reativa que pode ocorrer nos bancos fixos (CEMIG 2015).

AUTOMAÇÃO (2021) explana que os bancos de capacitores automáticos são compostos por capacitores, fusíveis, contadores magnéticos, controlador de fator de potência e caixa metálica. (Figura 7).

Figura 7 - Banco de capacitores utilizado na correção do FP.



Fonte: DMESG ,2021.

Os capacitores são ligados e desligados automaticamente, conforme as flutuações de carga consumidas, de maneira a manter o fator de potência na faixa pré-ajustada no controlador de fator de potência.

O controlador automático de fator de potência possui *display* de cristal líquido, sendo facilmente programado por seu teclado. Além de regular o fator de potência, o controlador mede tensão, corrente, frequência, fator de potência, potência ativa, potência reativa, potência aparente e harmônicas de tensão. Apresenta acionamento através das saídas de relés de estado sólido com disparo de tensão próximo a zero, protegendo contadores e capacitores (AUTOMAÇÃO, 2021)

2.5 Tipos de correção do fator de potência

Segundo CREDER (2007), existem quatro possíveis pontos de instalação para a compensação de reativos em uma instalação industrial, e são caracterizados por serem do tipo centralizado, distribuído ou individual.

Como exemplo de instalação de compensação de reativos do tipo centralizado pode-se citar a correção do primário ou do secundário de transformadores de potência, onde o intuito é corrigir o fator de potência visto pela concessionária, permanecendo internamente os inconvenientes do baixo fator de potência. Quando

no secundário do transformador, utiliza-se este tipo de correção em instalações elétricas com elevado número de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes, normalmente com bancos automáticos de capacitores.

Já um exemplo da correção distribuída, ocorre nos barramentos secundários de distribuição onde existam agrupamentos de cargas indutivas. O capacitor é instalado de forma a corrigir um setor ou um conjunto de pequenas máquinas (<10 cv).

Quando há correção junto a grandes cargas indutivas tem-se a instalação de compensação de reativos individual, instalando-se os capacitores junto ao equipamento que se pretende corrigir o fator de potência. Do ponto de vista técnico esta é a melhor solução.

Existe também a correção de fator de potência mista que, no ponto de vista de conservação de energia, considerando aspectos práticos, técnicos e financeiros, torna-se a melhor solução.

Explanado os princípios de correção do fator de potência (FP), na sequência será executado o estudo das condições da instalação sem a correção de fator de potência, realizando o levantamento do perfil de carga e determinando o fator de potência da mesma. Será estudado qual a melhor solução para a planta estudada, visando sempre redução de custos desnecessários para o proprietário. Após a análise e estudo das condições da planta e o melhor método a ser adotado, o mesmo será explanado com mais detalhes na continuação do trabalho.

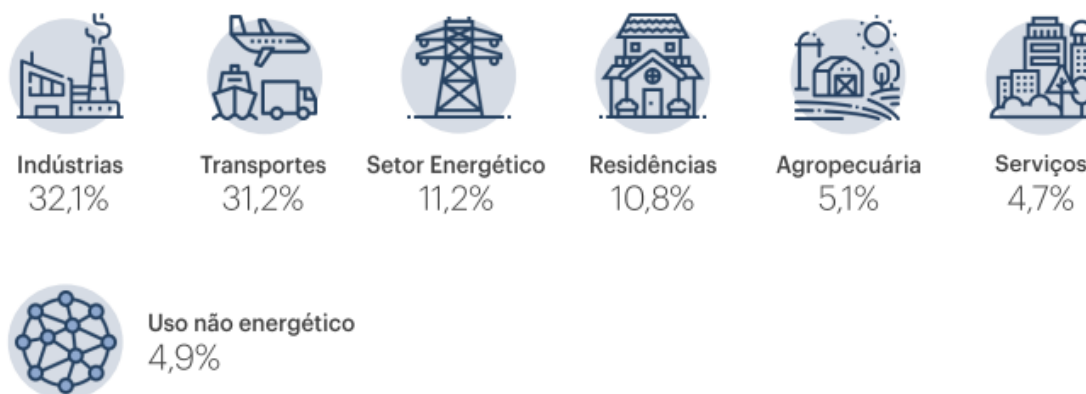
2.6 Métodos de eficiência energética nas indústrias.

Atualmente, a preocupação com o meio ambiente está presente, nos planos governamentais, sempre enfatizando o fato de que os recursos naturais são limitados, e a necessidade da busca humana por conforto e facilidades é ilimitada. Sendo assim, biosistemas estão sendo degradados cada vez mais com a busca por fontes novas de energia para suprir a necessidade humana. Para que essa situação seja revertida, busca-se pela diminuição do uso de recursos naturais, visando a diminuição do desperdício e o aumento da eficiência dos processos energéticos.

De acordo com a Empresa de pesquisa energética, EPE (2010), o termo eficiência energética é a relação entre a quantidade de energia final utilizada e de um bem produzido ou serviço realizado, em que a eficiência está associada à quantidade efetiva de energia utilizada e não à quantidade necessária para realizar um serviço.

Apesar do alto custo da energia elétrica, nota-se que os diversos setores têm uma grande demanda por essa energia e que a sociedade brasileira está se tornando ainda mais dependente desse recurso. O desenvolvimento econômico influencia diretamente o aumento do consumo de energia (EPE 2010), o que pode ser visto na Figura 8, onde o setor industrial é o que mais consome energia e foi o que mais utilizou energia elétrica como fonte energética.

Figura 8 – Consumo de energia por setor.



Fonte: BEN, 2021.

O BEN (2021), através do relatório síntese anual, demonstrou que as indústrias consomem 32,1% da energia elétrica seguido do setor de transportes com 31,2%. Sendo assim, a força motriz se tornou o principal foco de atuação dos programas de eficiência energética (ENGIE, 2020)

Figura 9 – Potencial de economia com eficiência energética.



Fonte: ENGIE 2020.

Segundo ENGIE (2020) na Figura 9, o cenário atual indica que há muito potencial para economizar energia e obter custos mais competitivos. Um estudo da Empresa de Pesquisa Energética, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, analisou 1.167 plantas industriais da cadeia do alumínio, celulose e papel, cadeia siderúrgica, cerâmica, alimentos e bebidas e química. Como resultado, a pesquisa projetou que em apenas uma primeira transformação da gestão de energia no processo produtivo, a economia nos segmentos mencionados já seria bastante significativa.

De acordo ainda com ENGIE (2020), o exemplo mais comum de eficiência energética é a troca de lâmpadas. Em uma residência, por exemplo, a substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por modelos com a tecnologia LED reduz o consumo e o custo da energia elétrica, do mesmo modo que equipamentos eletrônicos podem ser substituídos por versões mais recentes e eficientes.

Já na indústria, esse processo é mais amplo, pois envolve uma série de equipamentos que podem ser beneficiados, evitando perdas no sistema elétrico e respeitando o equilíbrio de fases. Uma grande parte das perdas e dos desperdícios de energia pode ser diminuída por meio de ações adequadas em manutenção, não somente a corretiva, mas, sobretudo, a preventiva, evitando assim, o alto desperdício de energia elétrica na iluminação. (EPE, 2010).

Os sistemas de iluminação também podem ser revisados, com um diagnóstico sobre todos os componentes para atender a demanda de iluminação. Assim, reformas no projeto elétrico serão realizadas com o objetivo de gerar melhor desempenho, trazendo informações e mudanças na rede de luminárias, lâmpadas e perfil de uso.

A partir desse contexto percebe-se a importância de se implementar um sistema de iluminação energeticamente eficiente no setor industrial, tendo como princípio maior o potencial de conservação da energia elétrica existente, a partir do aprimoramento da viabilidade técnica e econômica.

Um problema que pode ser encontrado nas empresas são máquinas com mais de duas décadas de funcionamento, idealizadas antes da sofisticação das tecnologias para a gestão de energia. Hoje, o mercado oferece motores com alto rendimento, mais eficientes e rentáveis a longo prazo quando comparados com os modelos antigos, conforme Figura 10 (EPE, 2010).

Figura 10- Evolução da eficiência de motores elétricos ao longo dos anos.



Fonte: WEG 2015.

Outros fatores que influenciam no rendimento são o acoplamento mecânico, o desalinhamento, a tensão inadequada das correias e a falta de limpeza e lubrificação. (CUNHA MELLO, 2013).

Além da troca de motores e máquinas por versões recentes e econômicas, a eficiência energética na indústria contempla adaptações, por exemplo, em transformadores, para que estes funcionem na faixa de potência nominal adequada

para o rendimento desejado (ENGIE, 2020).

3. ANÁLISE DA PLANTA INDUSTRIAL ESTUDADA

A empresa cujo trabalho foi desenvolvido está localizada no município de Lucianópolis – SP. A empresa atua no setor de agronegócio no ramo de plantio, beneficiamento e torrefação de café. O desenvolvimento desse trabalho foi consentido tanto pela direção da empresa, equipe responsável pela manutenção e projeto elétrico. Vale ressaltar que foi informado ao proprietário que se tratava de um trabalho voluntário e que os resultados do mesmo não trariam prejuízos ou danos à planta industrial, podendo futuramente gerar uma série de benefícios para a planta.

3.1 Características da planta industrial.

A empresa possui uma carga de 75,85 kW com uma demanda de 45,52 kW de potência, e se enquadra dentro da unidade consumidora grupo B optante de acordo com a legislação da distribuidora CPFL.

O ponto de entrega de energia é composto por um transformador de 75 kVA instalado em um poste de concreto, alimentado por uma tensão primária de 13,8 kV via rede local da concessionária, e essa tensão é rebaixada a uma tensão secundária de 220/380 V. (Figura 11). Na mesma estrutura está instalada uma caixa de medição indireta, que é composta por um transformador de corrente de 0,6 kV 200/5 A e um medidor de energia eletrônico. (Figura 12).

Figura 11 – Poste completo de entrada



Fonte: Aatoria Própria.

Figura 12 – Cabine de medição indireta.



Fonte: Aatoria Própria.

A estrutura da fábrica é composta por 3 unidades, que são:

- área de lavagem do café (Figura 13)
- área de armazenamento beneficiamento e secagem do café. (Figuras 14 a 16).
- área de torrefação. (Figuras 17 e 18)

Todas as áreas possuem uma estrutura elétrica composta basicamente por motores elétricos com potências de 3 cavalos e seus painéis de acionamento, lâmpadas vapor de mercúrio com reator e a tomadas de uso geral. Apenas a área de beneficiamento que possui apenas 1 motor de 25 cavalos acionado por soft starter.

Figura 13 – Área de lavagem do café.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 14 – Área de secagem e beneficiamento.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 – Área de secagem.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 16 – Área de beneficiamento.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 17 – Area de torrefação



Fonte: Autoria Própria.

Figura 18 – Area interna de torrefação.



Fonte: Aatoria Própria.

O regime de operação da empresa é fixo, das 9 horas até as 16 horas com pausa de 1 hora para almoço, totalizando uma média de 132 horas mensais de trabalho, a empresa opera com maior carga durante a safra, que se dá geralmente de abril a setembro, e nos demais períodos a carga é muito baixa e não foi considerada no trabalho.

3.2 Amostragem

A coleta de dados foi realizada através de uma amostragem de 6 meses de fatura da conta de energia elétrica (período de safra, que compõe o período com maior demanda) e da análise de informações técnicas fornecidas pelo proprietário.

Os dados considerados na fatura da empresa, foram a média do fator de potência mensal, valor da fatura e valor da multa sobre os reativos excedentes. Os dados foram tratados pelo método do desvio padrão e média ponderada através da ferramenta Microsoft Office Excel, para uma maior confiabilidade.

Após o tratamento dos dados, dispostos na tabela 3, é possível notar que o fator de potência médio mensal de 0,6505, que está abaixo do permitido pelo Art. 76 da Resolução Nº 414/2010, o que justifica o motivo da seleção e das características da pesquisa.

Tabela 3 – Dados oriundos da fatura de energia elétrica da planta.

Mês/ano	Fator de potência (Fora de ponta)	Demanda Mensal (kW)	Valor da fatura R\$	Multa Excesso de Reativos R\$	Média da demanda	Média total do fator de potência	Desvio padrão
Março 2021	0,682	38,20	R\$ 3.308,23	R\$ 560,92	40,97	0,6505	0,065
Abril 2021	0,681	38,75	R\$ 3.316,54	R\$ 586,21			
Mai 2021	0,658	41,76	R\$ 3.714,59	R\$ 700,31			
Junho 2021	0,619	42,93	R\$ 4.200,05	R\$ 953,96			
Julho 2021	0,598	43,67	R\$ 4.298,03	R\$ 1.027,35			
Agosto 2021	0,665	40,55	R\$ 3.575,39	R\$ 636,28			

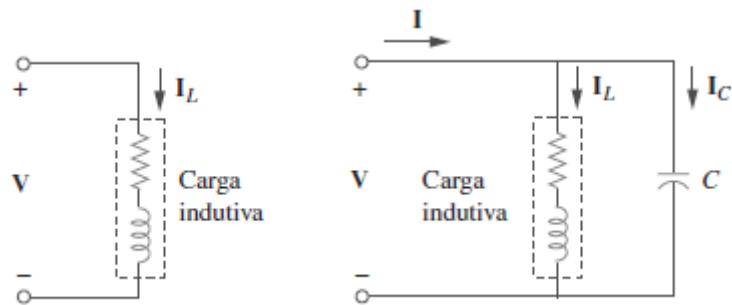
Fonte: Autoria própria

3.3 Cálculos e dimensionamentos

Segundo DUAILIBE (2000), o método mais viável tecnicamente e financeiramente para se corrigir o fator de potência de uma planta industrial é a instalação de banco de capacitores.

Uma vez que a maior parte das cargas é indutiva e possuem um fator de potência abaixo do exigido por lei, é necessário aumentar ou corrigir o fator de potência da planta, instalando intencionalmente um capacitor, ou sistema de banco de capacitores em paralelo com a carga (SADIKU, 2013).

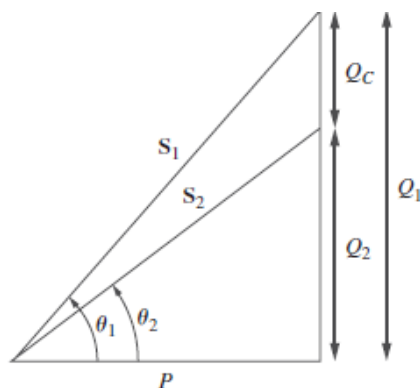
Figura 19 – Adição do capacitor C em paralelo com a carga.



Fonte: SADIKU, 2013.

O efeito de acrescentar o capacitor pode ser ilustrado usando-se o triângulo de potência. (Figura 20).

Figura 20 – Triângulo de potência, ilustrando a correção do fator de potência.



Fonte: SADIKU, 2013.

Considerando o sistema da Figura 20, tendo valores iguais a:

$$P = S_1 * \cos\phi_1 \quad (11)$$

$$Q_1 = S_1 * \sin\phi_1 = P * \operatorname{tg}\phi_1 \quad (12)$$

Segundo SADIKU (2013) se é desejado aumentar o fator de potência de $\cos\phi_1$ para $\cos\phi_2$ sem alterar a potência real (P), tem-se que calcular uma nova potência reativa (Q2) considerando os valores da potência ativa original (P) e com o valor desejado do fator de potência (ϕ_2):

$$Q_2 = S_2 * \text{sen}\phi_2 = P * \text{tg}\phi_2 \quad (13)$$

A redução na potência reativa é provocada pelo capacitor shunt, então calculando o valor do novo capacitor shunt (Q_c):

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2) \quad (14)$$

Sendo assim é possível projetar e orçar o novo banco de capacitores a ser instalado na planta.

No caso estudado, a empresa possui demanda média mensal no período estudado de 40,98 kW e apresenta de acordo com a amostragem e período analisado, um fator de potência de 0,6505. Tem-se então os seguintes dados:

$$P = 40,97 \text{ kW} \quad (15)$$

$$Fp = \cos 54,91^\circ = 0,6505 \quad (16)$$

Primeiramente calculando a potência aparente para um fator de potência de 0,6505, utilizando a fórmula (12):

$$S_1 = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{40,98}{0,6505} = 62,99 \text{ kVA} \quad (17)$$

Em seguida é necessário calcular a potência reativa atual da planta, utilizando a fórmula (13):

$$Q_1 = S_1 * \text{sen}\phi = 62,99 * \text{sen} 54,91^\circ = 47,84 \text{ kVAr} \quad (18)$$

De acordo com FAZIONATO PEREIRA (2015) para o dimensionamento adequado do banco de capacitor, é necessário conhecer a potência reativa máxima consumida pela empresa. Para esse cálculo deve-se considerar o valor de fator de potência padrão 0,92 conforme Resolução Normativa 414/2010, art 95. Utilizando a fórmula (12) e (13) novamente, dessa vez para o valor do novo fator de potência desejado, tem-se:

$$S_2 = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{40,98}{0,92} = 44,54 \text{ kVA} \quad (19)$$

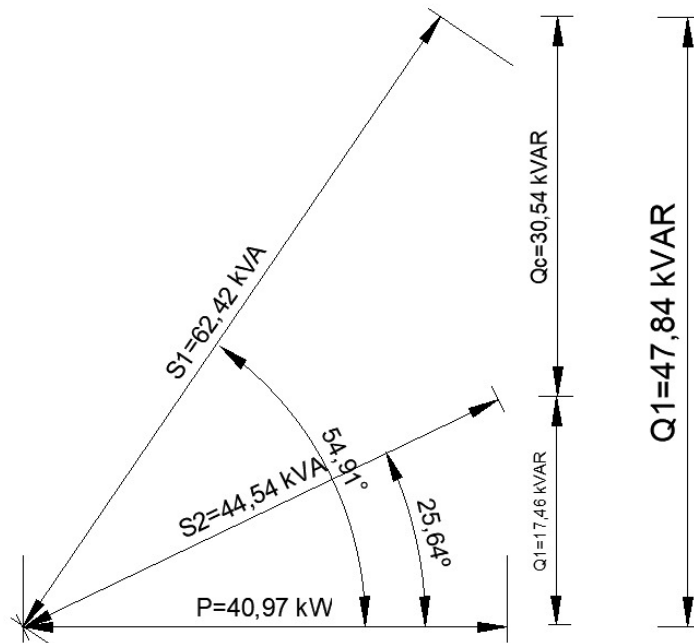
$$Q_2 = S_2 * \text{sen}\phi = 44,54 * \text{sen} 25,64^\circ = 17,46 \text{ kVAr} \quad (20)$$

Com os valores da energia reativa atual e a desejada, utilizando a fórmula (14) é possível calcular o valor do banco de capacitor a ser instalado. (FAZIONATO PEREIRA, 2015).

$$Q_{\text{Capacitor}} = Q_1 - Q_2 = 47,84 - 17,46 = 30,54 \text{ kVAr} \quad (21)$$

O efeito de acrescentar o capacitor pode ser ilustrado usando-se o triângulo de potência da Figura 21.

Figura 21 – Triângulo de potência com valores reais.



Fonte: Autoria própria.

Pode -se observar que a potência ativa permanece inalterada (P), e é necessária uma compensação de $30,54 \text{ kVAr}$ (Q_c) na instalação atual que possui um valor de $47,84 \text{ kVAr}$ (Q_1), para então atingir o valor de potência reativa exigido por norma.

3.4 Orçamento

Uma vez conhecido o valor do banco de capacitor a ser instalado e o regime de operação da empresa, buscou-se auxílio de uma empresa especializada em correção de fator de potência e um orçamento foi solicitado, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Orçamento da instalação e materiais do sistema de banco de capacitores.

Produto	Quantidade	Valor Un. (R\$)	TOTAL (R\$)
Célula capacitiva 10 kVAR WEG	3	387,00	1161,00
Célula capacitiva 5 kVAR WEG	1	272,00	544,00
Célula capacitiva 3 kVAR WEG	1	163,90	163,90
Controlador RV6 ABB	1	2350,00	2350,00
Botoeira liga desliga	4	36,75	147,00
Contator 220- 25A	5	129,90	649,5
Cabo 2,5 mm	50m	2,67	133,5
Disjuntor caixa moldada 20A	5	99,9	499,5
Disjuntor caixa moldada 100A	1	309,89	309,89
Mão de obra instalação	1	4150,00	4150,00
Trilhos DIN 1,5 metros	1	17,99	17,99
Barramentos de cobre 100A	5	39,90	199,5
Estrutura (Painel, Canaletas, entre outros periféricos.)	1	3792,88	3792,88
Diversos (Cabos de comando elétrico, terminais, abraçadeiras)	1	520,00	520,00
	TOTAL (R\$)		14620,67

Fonte: Autoria própria.

O tipo de correção sugerida pela empresa contatada foi a correção geral em baixa tensão, dada a dificuldade da correção localizada e o alto custo de se corrigir o fator de potência de cada motor ou carga individualmente. E para o caso apresentado será necessário um banco fixo de 30 kVAR com acionamento temporizado, visto que a empresa possui regime fixo de operação, e um banco acionado por um controlador automático de fator de potência com 1 célula de 5 kVAR e uma célula de 3 kVAR para caso a planta aumente a demanda ou o regime de operação e sofra uma redução de fator de potência.

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Análise de viabilidade financeira da implementação do banco de capacitores

Ao definir as especificações e valores do banco de capacitor a ser instalado serão realizados cálculos para demonstrar a viabilidade da aplicação. O método para confirmar a viabilidade das medidas propostas será o de valor presente líquido (VPL). Segundo ABREU FILHO (2007, p.83), o valor presente líquido ou VPL é a diferença entre o valor atual do projeto e o custo na data atual e pode apresentar valores positivos (lucrativo) ou negativos (prejuízo).

Para estimar o consumo, economia e valores pagos com a implantação do novo sistema de correção do fator de potência, considerou-se o regime de funcionamento da empresa, que é das 9 horas da manhã às 4 horas da tarde, com intervalo de 1 hora, totalizando 6 horas diárias trabalhadas de segunda-feira a sexta-feira, em um total de 22 dias mensais, com isso tem-se uma média de 132 horas mensais.

Como a empresa pertence ao grupo B optante, e se enquadra na tarifa convencional B2 agropecuária rural, e de acordo com CELPE (2020), a cobrança do consumo reativo excedente (E_{RE}) se dá pela seguinte fórmula:

$$E_{RE} = \text{Consumo ativo (kwh)} * \left(\frac{0,92}{FP_{Atual}} - 1 \right) * \text{Valor do kwh} \quad (15)$$

Considerando o consumo médio mensal da empresa 40, 97 kW, o fator de potência médio mensal 0,6505, o valor do kwh sendo 0,549124 e o valor do kwhr sendo 0,3100 (adotando os valores faturados no mês de agosto como base), pode-se encontrar o valor médio da multa por excesso de reativos da planta no regime atual, aplicando a fórmula (15) e descritos na Tabela 5.

$$E_{RE} = 5408,04 * \left(\frac{0,92}{0,6505} - 1 \right) * 0,3100 = 694,5652 \text{ reais}$$

Tabela 5 – Valores de custos mensais da planta, com e sem correção do FP.

	Média de consumo mensal (kW)	Média de consumo mensal (kwh)	Fator de potência	Custo mensal (R\$)	Economia média (R\$)
Regime atual	40,97	5408,04	0,6505	3664,244	694,56
Regime com o FP corrigido	40,97	5408,04	0,92	2969,684	

Fonte: Autoria própria.

Com a implantação do sistema de correção do fator de potência, tem-se uma economia mensal de R\$ 694,56 (18,95%) nos custos com energia elétrica para a planta. Considerando que a empresa só opera nesse regime 6 meses por ano, tem-se uma economia de R\$ 4167,36 por ano.

Uma vez conhecendo as variáveis necessárias para a implantação do sistema, é possível calcular a viabilidade do projeto por meio do valor presente líquido (VPL). De acordo com PUCCINI (2011), o valor presente líquido de certo fluxo de caixa é o valor presente de suas próximas parcelas (descontando uma taxa) subtraindo o investimento inicial. O VPL pode ser calculado pela Equação 16.

$$VPL = \left[\frac{PMT_1}{(1+i)} + \frac{PMT_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{PMT_n}{(1+i)^n} \right] - PV \quad (16)$$

onde:

$PMT_{1...n}$ – Fluxo líquido de caixa em decorrência do investimento;

PV – Investimento inicial para viabilizar o projeto;

i – Taxa mínima de atratividade.

Considerando um tempo de 4 anos para o cálculo do VPL, levando em conta que a garantia da instalação do sistema de correção de FP disposta pela empresa na qual foi orçado é de 4 anos. Os valores do investimento inicial e do fluxo líquido de caixa, conforme visto anteriormente, são de R\$ 14620,67 e R\$ 4167,36 (Anual), respectivamente. A taxa de atratividade foi estimada de acordo com CAPITAL NOW (2019), que explica que a mesma pode ser considerada o valor da taxa Selic, que atualmente é de 5,25 % ao ano. Com isso, foi possível calcular o VPL conforme a Equação 16:

$$VPL = \left[\frac{4167,36}{(1 + 0,0525)} + \frac{4167,36}{(1 + 0,0525)^2} + \frac{4167,36}{(1 + 0,0525)^3} + \frac{4167,36}{(0,0525)^4} \right] - 14620,67$$

$$VPL = 3959,48 + 3761,98 + 3574,33 + 3396,04 - 14620,67 = 71,16$$

Como o VPL foi positivo, o investimento é considerado viável do ponto de vista financeiro (PUCCINI, 2011).

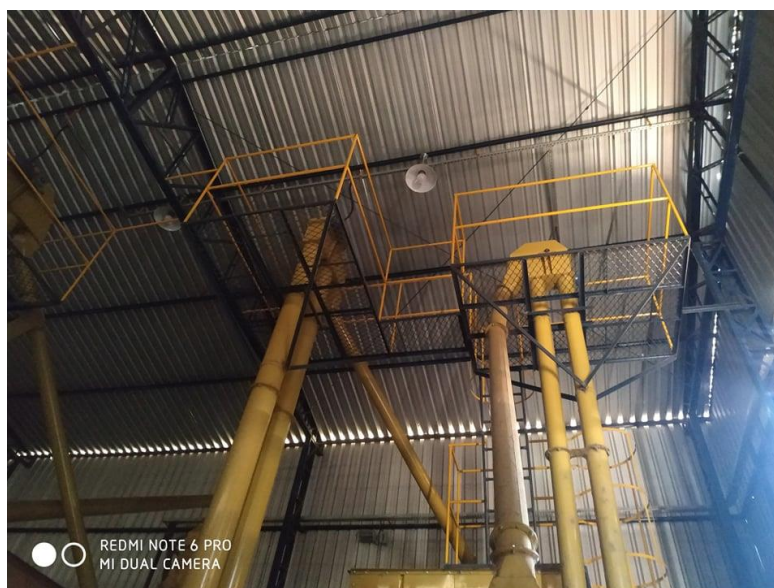
4.2- Sugestões de técnicas de eficiência energética.

O objetivo desse tópico do trabalho é o levantamento de pontos que podem ser trabalhados com o intuito de garantir uma melhor eficiência energética, através de medidas rápidas e simples, que podem ser realizadas no dia a dia da empresa e sem a necessidade de investimentos de valor elevado.

A fim de identificar as possíveis melhorias, foi realizada um dia de visitas *in loco* e uma inspeção visual geral da planta, visto que o acesso a painéis e outros sistemas mais complexos é restrito.

O primeiro ponto observado é que a estrutura de secagem e beneficiamento possui o pé direito alto, e não possui janelas ou orifícios consideravelmente grandes para que a luz solar possa ser aproveitada, conforme Figuras 22, 23 e 24.

Figura 22 – Detalhe barracão de beneficiamento



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Detalhe barracão de beneficiamento, parte do reservatório de armazenamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – Detalhe barracão de beneficiamento, reservatório de secagem.



Fonte: Autoria própria.

Ainda na mesma estrutura, foi constatado o uso de lâmpadas fluorescentes e até incandescentes, refletores com lâmpadas vapor de mercúrio, sistema esse que utiliza reatores. Figuras 25 e 26. A desvantagem dos reatores convencionais de baixo custo, na maioria dos casos constituídos por simples indutores, é a baixa regulação da potência transferida à lâmpada, na medida em que a tensão de arco da lâmpada aumenta com o tempo de funcionamento, e quando esses reatores não apresentam bom funcionamento, eles consomem mais energia, geram ruídos e podem até gerar curto-circuito.

Figura 25 – Refletor vapor de mercúrio com reator, área de secagem.



Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Refletor vapor de mercúrio com dois reatores, área de beneficiamento.



Fonte: Autoria própria.

A solução proposta nessa parte da planta, é a substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio com seus respectivos reatores, por lâmpadas de LED, já que segundo ELETROLUZ (2019), as lâmpadas de LED, possuem maior iluminação com menos potência, pois a mesma contém fluxo luminoso bastante uniforme e eficiente, que necessita de menor potência para liberar a mesma luz que uma lâmpada incandescente comum. Por exemplo, uma lâmpada LED tubular de 20W pode substituir uma lâmpada fluorescente de 40W sem nenhuma perda de luminância. Dessa forma é possível até diminuir a quantidade de lâmpadas utilizadas em um ambiente antes iluminado pelas lâmpadas tubulares comuns ou refletores a vapor de mercúrio. As lâmpadas de LED apresentam também menor consumo, sem esquentar, dispensa o uso de reator e oferecem uma maior vida útil.

Uma alternativa que pode ser adotada ao uso de lâmpadas no período diurno, é a substituição de folhas de telha metálica por telhas de acrílico em pontos específicos do telhado, o que pode ser exemplificado pela figura 27. Segundo COBERTURAS LEVES (2020), esse material tem uma transparência que permite uma conexão visual com o espaço exterior. Assim, as estruturas que empregam essas telhas, são mais bem iluminadas, são menos dependentes de energia elétrica para gerar claridade. Dessa forma, é possível reduzir o consumo de energia em até 80%.

Figura 27 – Exemplo de aplicação de telhas de acrílico.



Fonte: Soluções industriais, 2021.

E por fim, a sugestão é um diagnóstico mais aprofundado sobre os componentes e demanda de iluminação, através de projetos e estudos que podem ser realizados por profissionais especialistas, resultando assim em reformas e mudanças na rede de luminárias lâmpadas e perfis de uso, com o objetivo de buscar um melhor desempenho.

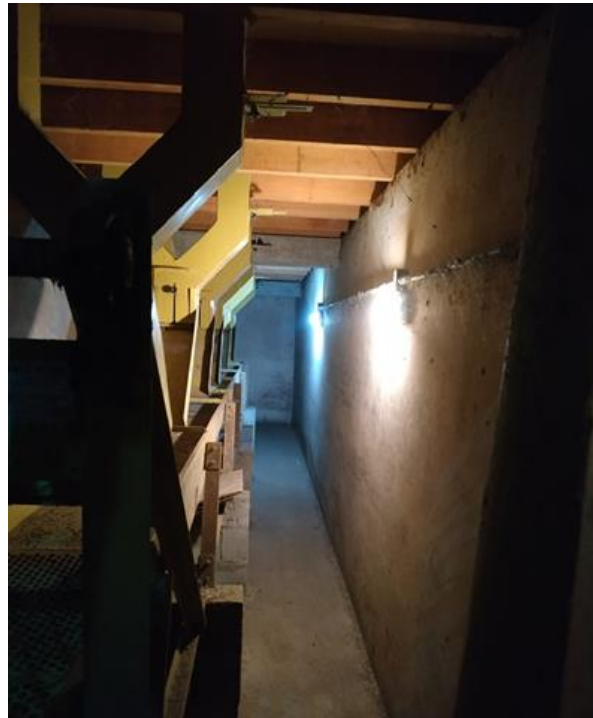
O segundo ponto observado é na área externa, onde ocorre a lavagem do café. Pode-se observar a presença de tuneis subterrâneos, cuja iluminação é feita por lâmpadas vapor de mercúrio, e o acionamento das mesmas é dado através de interruptores. (Figuras 28, 29 e 30).

Figura 28 – Acesso túnel 1 secagem.



Fonte: Autoria própria.

Figura 29 – Interior túnel 2 de lavagem, lado direito.



Fonte: Autoria própria.

Figura 30 – Interior túnel 2 de lavagem, lado esquerdo.



Fonte: Autoria própria.

A solução proposta para os problemas encontrados na área de lavagem, é o uso de lâmpadas de LED, cujos benefícios já foram citados anteriormente. A instalação de sensores de presença também contribuiria para uma melhoria da eficiência energética da estrutura, pois as lâmpadas se acenderiam somente quando algum operador estivesse no local e o risco de esquecimento da iluminação do túnel ativa, fato corriqueiro segundo o proprietário, seria zero. Entre as vantagens da automação do sistema de túneis subterrâneos com sensores de presença pode-se citar: aumento da vida útil das lâmpadas e a redução de até 75% em relação ao consumo de energia elétrica (JCM, 2020).

Um problema que comumente pode ser encontrado nas indústrias são as máquinas elétricas com mais de duas décadas de funcionamento, que foram idealizadas antes da sofisticação das tecnologias para a gestão de energia. E para o bom funcionamento do motor é assegurado por meio da manutenção frequente. Ela deve ser realizada todo mês, pois assim o bom funcionamento do motor elétrico é garantido (ROCHA, 2020). Em conhecimento desse fato, realizou-se uma inspeção visual nos motores elétricos e acionamentos da planta.

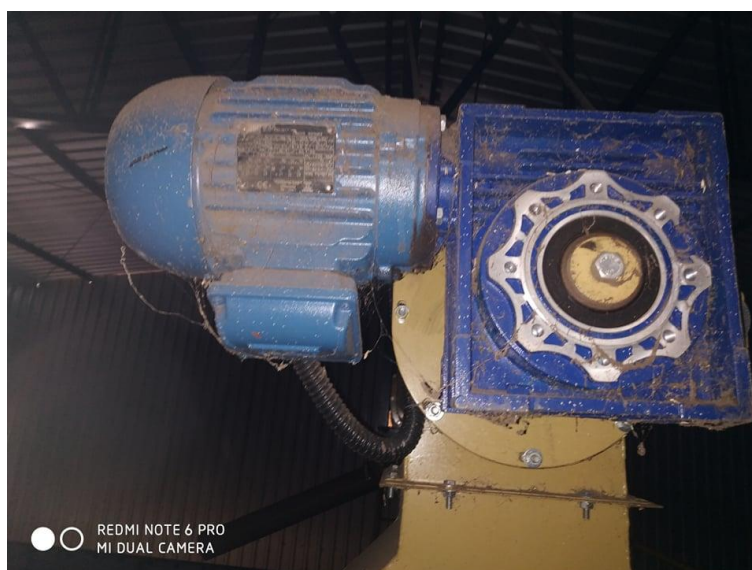
Em aspecto geral, os motores são novos e com pouco tempo de uso, estima-se 3 anos, e já possuem tecnologias modernas de funcionamento, mas como é possível observar nas Figuras 31 a 35, os mesmos estão totalmente cobertos por poeira e sujeira, o mesmo acontece com os painéis de controle e acionamento de motores e iluminação.

Figura 31 – Motor elétrico de 3 cavalos, área de secagem.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 32 – Motor elétrico de 3 cavalos, área de beneficiamento.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 33 – Detalhe motor elétrico de 3 cavalos.



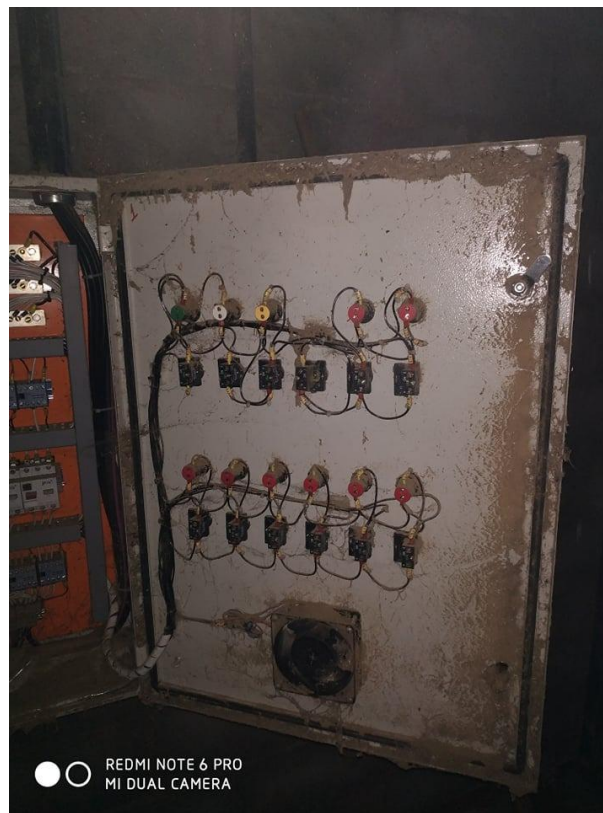
Fonte: Autoria Própria.

Figura 34 – Detalhe do motor elétrico de 25 cavalos.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 35 – Detalhe painel de controle de motores.



Fonte: Autoria Própria.

Os sistemas de correias, polias e rolamentos da parte mecânica da estrutura também apresentam muita poeira e sujeira, e algumas correias estão com tensão mecânica visivelmente abaixo da recomendada, mostrada nas Figuras 36 a 38. Segundo CUNHA MELLO (2013), esses fatores influenciam no rendimento e eficiência energética dos motores.

Figura 36 – Motor acionando por mecanismo por correias.



Fonte: Aatoria Própria

Figura 37 – Sistema de correias e motor, cesto de secagem.



Fonte: Aatoria Própria

Figura 38 – Sistema de correias do motor de 25 Cavalos.



Fonte: Aatoria Própria.

A limpeza de motores elétricos e sistemas mecânicos é a melhor maneira de prolongar a vida útil desses equipamentos que são usados de forma intensa nas fábricas. A solução do problema, de imediato seria uma programação de limpeza geral da planta e de todos os componentes, a elaboração de um cronograma de manutenção semanal, em que esses itens devem compreender: limpeza, lubrificação, colocação de graxa e substituição de rolamentos

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto, a correção do fator de potência de uma instalação elétrica, proporciona uma série de benefícios, tanto financeiros quanto benefícios ligados diretamente a qualidade da energia elétrica.

Após o desenvolvimento e projeto da correção do fator de potência, pode-se concluir, que a compensação dos reativos da planta é realmente viável, confirmados pelo cálculo do VPL, cujo resultado foi 71,16. E o investimento será recuperado antes de 4 anos. A média do fator de potência atual, que é de 0,6505 se encontra com um valor abaixo do exigido por lei, podendo trazer problemas para a planta. Entre as vantagens que a empresa poderá ter após a correção do fator de potência pode-se destacar: o aumento da eficiência energética, inibir a ocorrência de multas por excesso de reativos impostos a rede elétrica, que no caso estudado resultou em uma economia média de R\$ 694,56 mensais e R\$ 4167,36 anuais. Esses valores representam uma redução significativa dos custos de manutenção e aumento da vida útil dos equipamentos, redução dos investimentos para instalação de novos equipamentos e a redução da corrente reativa na rede elétrica.

Vale salientar que para os cálculos realizados no trabalho, foram considerados apenas os 6 meses do ano e 6 horas diárias cuja empresa opera com carga plena, caso esse regime de trabalho seja alterado, para menos ou mais tempo de operação, novos cálculos e análises deverão ser realizadas, visto que pode ocorrer variação de carga, de uso de equipamentos e até de iluminação, influenciando diretamente nos valores obtidos.

Fica evidente que para a busca de uma melhoria na eficiência energética de qualquer instalação elétrica, não é necessário altos investimentos, uma simples análise técnica do sistema de iluminação, motores e acionamentos elétricos como no caso estudado, resultou em uma série de sugestões de melhorias de fácil execução, que podem ser realizadas pela própria equipe de manutenção elétrica da empresa.

O tema eficiência energética aplicado à iluminação e motores elétricos pode ser amplamente estudado e desenvolvido na planta analisada, mas como esse não é o principal foco do trabalho, o tema fica aberto e como sugestão à trabalhos futuros.

Para concluir, uma cópia do trabalho será entregue ao proprietário, explanando as vantagens da correção do fator de potência, assim como a adoção das técnicas acessíveis de eficiência energética podem gerar para a sua empresa.

REFERÊNCIAS

RIBEIRO JÚNIOR, JOSÉ FRANCISCO. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO RURAIS MONOFÁSICAS. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Superior Engenharia Elétrica) - INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA, [S. l.], 2016

RODRIGUES, FIDEL JUNQUEIRA. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Ensino Superior Engenharia Elétrica) - UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO, [S. l.], 2012.

MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais – LTC – 8a ed., 2011; AFONSO, JOÃO LUIZ; MARTINS, JULIO S. QUALIDADE DE ENERGIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA - ANEEL. 29 de novembro de 2000. Resolução N° 456, [S. l.], 29 nov. 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA - ANEEL. 03 de abril de 2012. Resolução N° 479, [S. l.], 03 abr. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA - ANEEL. 24 de julho de 2012. Resolução N° 499, [S. l.], 24 jul. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 414, de 9 de setembro de 2010. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, [S. l.], 9 set. 2010.

FIRJAN, Índices. ÍNDICE FIRJAN DE GESTÃO FISCAL. RECORTE MUNICIPAL ABRANGÊNCIA NACIONAL, [s. l.], 2017. ELÉTRICA NA INDÚSTRIA. ResearchGate, [s. l.], 21 maio 2014.

WEG - Manual para correção do Fator de Potência. 2015. 40p. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/> Acesso em: 10 de junho de 2021

PROCEL. MANUAL DE TARIFAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA. Eletrobras, [s. l.], 1 maio 2001.

CUNHA MELLO, Ronaldo Lewicki. Eficiência Energética em Motores Elétricos Trifásicos de Indução. 2013. TCC (Engenharia Elétrica) - Instituto Nacional de Telecomunicações, [S. l.], 2013

MARCHI, Diego. Manual para CPROJETO E ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM INDÚSTRIA TÊXTIL UTILIZANDO BANCOS DE CAPACITORES do Fator de Potência. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Superior Eng. Elétrica) -

Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2019.

EICHELBERGER, Rafael; DE OLIVEIRA, Ronieri Henrique; KASSICK, Ênio V. Cargas Lineares e Não-Lineares e Fator de Potência. SENDI 2008, [s. l.], 10 out. 2008.

AMORIM, Edson. Efeitos da correção do FP na BT sob o ponto de vista da eficiência energética. In: Eficiência energética com a correção do fator de potência. São Paulo: ABINEE, 2008. 18 p. Disponível em http://www.tec.abinee.org.br/2008/arquivos/20a2_1.pdf.

COTRIM, Ademaro A. M. B. Instalações Elétricas. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

DMESG. Fator de Potência. In: Fator de potência. 1. [S. l.], 21 jun. 2021. Disponível em: <https://www.dmesg.com.br/fator-de-potencia/>. Acesso em: 21 jun. 2021.

ZUIM, Prof. Edgar. Comportamento do capacitor em corrente contínua. In: ZUIM, Prof. Edgar. Comportamento do capacitor em corrente contínua. 2010. Notas de aula (Eng. Elétrica) -, [S. l.], 2010.

CEMIG, C. E. Compensação Reativa na Média Tensão – Configuração do Banco de Capacitores e Instalação Básica do Banco Fixo. Belo Horizonte: Editora CEMIG, 2012.

CPFL, Cia Paulista de Força e Luz. Horário de Pico. In: Horário de Pico. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/uso-consciente/Paginas/horario-de-pico.aspx>. Acesso em: 22 jun. 2021.

AUTOMAÇÃO, Eletrocom. BANCOS DE CAPACITORES AUTOMÁTICOS. In: BANCOS DE CAPACITORES AUTOMÁTICOS. [S. l.], 1 jun. 2021. Disponível em: <http://www.eletoconet.br/produtos/bancos-de-capacitores>. Acesso em: 21 jun. 2021.

CREDER, Hélio. Instalações Elétricas. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

ECO A, Energias renováveis. Demanda contratada: o que é, como funciona e tudo que você precisa saber. In: Demanda contratada. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.ecoenergias.com.br/2020/11/04/demanda-contratada/>. Acesso em: 23 jun. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. A ANEEL. 2010 Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em: 1 de abr. de 2021

EPE- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA — Plano Nacional de Energia 2030 – Eficiência energética. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/SerieEstudosdeEnergia/20100809_4.pdf. 2010. Acesso em: 28 de junho de 2021.

ENGIE, SOLUÇÕES. Eficiência energética industrial na prática. [S. l.], 28 jun. 2021. Disponível em: <https://blog-solucoes.engie.com.br/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-industria/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

SADIKU, Matthew N. ALEXANDRE, Charles K.; O. Fundamentos de Circuitos Elétricos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013

OMALLEY, John. Análise de Circuitos. 2. ed. rev. [S. l.]: Makron books mcgraw hill, 1993.

BORGES BECKER, Pablo. Troca de motores como indutora de competitividade na indústria brasileira. PROCEL INFO, [S. l.], p. 1-1, 24 abr. 2017. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&Team=¶ms=itemID=%7B3BABCE8B-A76C-4042-B985-2526F1F6FEC4%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em: 6 ago. 2021.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Síntese 2021, [s. l.], 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao01/topico588/BEN_S%C3%ADntese_2020_PT.pdf. Acesso em: 6 ago. 2021.

BEN, Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2021. Relatório Síntese 2021, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 6 ago. 2021.

STEFANO, Antonio Geraldo. CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA NA INDÚSTRIA. MF Capacitores, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.mfcapacitores.com.br/causas-do-baixo-fator-de-potencia-na-industria>. Acesso em: 6 ago. 2021.

GED-CPFL, 10619. CPFL - Cia Paulista de Força e Luz. Gestão Eletrônica de Documentos, [s. l.], ed. 10619, 2020.

AFONSO, J.L.; S. MARTINS, Júlio. A qualidade da energia elétrica na indústria. Departamento de Electrónica Industrial Universidade do Minho, Guimarães Portugal, p. 1-18, 21 maio 2014.

SENAI, Escola. Apostila de Eletrônica SENAI. *In*: SENAI, Escola. Apostila de eletrônica SENAI. 2019. Apostila (Ensino Técnico) - SENAI, [S. l.], 2019.

Duailibe, Prof Paulo. Consultoria para uso Eficiente de Energia. Janeiro – 2000. Disponível em: . Acesso em: 05 de Agosto de 2021.

ZUIM, Edgar. Comportamento do capacitor em corrente contínua. Apostila Eletricidade Básica, [s. l.], 2020. Disponível em: https://www.ezuim.com/pdf/cap_cc.pdf. Acesso em: 11 ago. 2021.

FAZIONATO PEREIRA, Ricardo; PEREIRA MILANI, Alvaro; GOUVEA MEIRELES, Luana; DE JESUS CAMARGO, Silvio; VILELA DE SOUSA, Murillo Augusto. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM BANCO CAPACITOR EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO LOCALIZADA EM CATAGUASES - MG. XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza CE, p. 1-14, 16 out. 2015.

ABREU FILHO, José Carlos de. Finanças corporativas / José Carlos Franco de Abreu Filho, Cristóvão Pereira de Souza, Danilo Américo Gonçalves, Marcus Vinícius Quintella Cury. – Reimpressão – Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

COBERTURAS LEVES, Equipe. Iluminação natural: conheça os benefícios da telha ondulada transparente. [S. l.], 6 jan. 2020. Disponível em: <https://www.coberturasleves.com.br/telha-ondulada-transparente/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

GENERALIDADES SOBRE LÂMPADAS, LUMINÁRIAS E REATOR. [S. l.], 3 maio 2020. Disponível em: <https://www.engenheirosassociados.com.br/generalidades-sobre-lampadas-e-luminarias-e-reatores/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

LÂMPADAS LED tubular e as vantagens de sua utilização. [S. l.], 18 out. 2019. Disponível em: <https://www.eletroluz.net/blog/lampadas-led-tubular-e-as-vantagens-de-sua-utilizacao/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SENSOR de Presença, economia para sua empresa Uncategorized. [S. l.], 20 out. 2020. Disponível em: <https://jmc.com.br/como-economizar-com-sensor-de-presenca/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

ROCHA, Motores e geradores. Quando fazer a limpeza de motores elétricos?. ., [S. l.], p. 1-1, 19 nov. 2020. Disponível em: <https://rochamotores.com.br/limpeza-de-motores-eletricos/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CELPE, Serviços. Energia Reativa. Agência Virtual Celpe, [s. l.], 21 maio 2020. Disponível em: <https://servicos.celpe.com.br/residencial-rural/Pages/energia-reativa.aspx>. Acesso em: 19 ago. 2021.

CAPITAL NOW, Blog. Taxa mínima de atratividade: o que é e como calcular nos investimentos. Capital Research, [s. l.], 18 nov. 2019. Disponível em: <https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/taxa-minima-de-atratividade-o-que-e-e-como-calcular-nos-investimentos/>. Acesso em: 19 ago. 2021.

PUCCINI, Abelardo de Lima. Matemática financeira objetiva e aplicada. 6ª edição. São Paulo, SP: Saraiva, v. 1, 2011.

ELETROLUZ, BLOG. Lâmpadas LED tubular e as vantagens de sua utilização. *In: Lâmpadas LED tubular e as vantagens de sua utilização*. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.eletroluz.net/blog/lampadas-led-tubular-e-as-vantagens-de-sua-utilizacao/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

COBERTURAS LEVES, Blog. Telhas de acrílico , vantagens. *In: Telhas de acrílico , vantagens..* [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.coberturasleves.com.br/categorias/tipos-de-telhado/page/3/>. Acesso em: 24 ago. 2021.

JCM, Tecnologia. Photocells & detectors. *In: Photocells & detectors*. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.jcm-tech.com/-/safety-devices/photocells-and-detectors/>. Acesso em: 24 ago. 2021.