

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

João Gabriel Ribeiro Pinto
Jorge de Sousa
Luigi Teixeira Fileto
Matheus Verginio Fernandes
Rildo Severo Conilho

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA ABORDANDO O FATOR DE
POTÊNCIA

Fernandópolis
2023

João Gabriel Ribeiro Pinto
Jorge de Sousa
Luigi Teixeira Fileto
Matheus Verginio Fernandes
Rildo Severo Conilho

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA ABORDANDO O FATOR DE POTÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Eletrotécnica, no Eixo Tecnológico de controle Produção Industrial, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação da Professor Marcos Antonio de Assis.

Fernandópolis
2023

João Gabriel Ribeiro Pinto
Jorge de Sousa
Luigi Teixeira Fileto
Matheus Verginio Fernandes
Rildo Severo Conilho

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA ABORDANDO O FATOR DE POTÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Eletrotécnica, no Eixo Tecnológico de Controle de produção industrial, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação da Professor Marcos Antonio de Assis.

Examinadores:

André Zagato Gomes

Indiara Joice Tarquete de Castro

Marcos Antonio de Assis

Fernandópolis
2023

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todos os nossos colegas de curso de Eletrotécnica da Escola Armando José Farinazo, com quem dividimos momentos de aprendizado e amizade. Agradecemos aos nossos professores, que nos guiaram no caminho da ciência, e as nossas famílias, que sempre nos apoiaram. Este trabalho é fruto do esforço de todos que estiveram ao nosso lado nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, por ter permitido que tivéssemos saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho. Aos amigos, familiares e professores, por todo o apoio, que muito contribuíram para a realização deste trabalho, a todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o nosso processo de aprendizado.

EPÍGRAFE

“Eletricidade é a força do futuro.”

- Thomas Edis

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA ABORDANDO O FATOR DE POTÊNCIA

João Gabriel Ribeiro Pinto
Jorge de Sousa
Luigi Teixeira Fileto
Matheus Verginio Fernandes
Rildo Severo Conilho

RESUMO: A correção do fator de potência (FP) é um tópico crucial no contexto da eficiência energética e sustentabilidade. Nesse sentido, esta tese pretende apresentar uma análise crítica e aprofundada dos principais conceitos relacionados à correção do fator de potência em sistemas elétricos. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas e estudos de caso a fim de identificar as técnicas e estratégias mais adequadas para correção do fator de potência em diferentes tipos de instalações elétricas. Os resultados obtidos mostraram que a correção do fator de potência pode trazer benefícios significativos, como redução das perdas de energia, aumento da capacidade de carga dos sistemas elétricos e melhoria da qualidade da energia elétrica fornecida, desde que se seja viável no contexto em que se encontra inserida. Porém, constatou-se que a seleção da técnica de correção mais adequada deve ser feita de forma criteriosa e pessoal, levando em consideração as peculiaridades de cada instalação elétrica. Portanto, a correção do fator de potência é uma prática básica para otimizar o uso da energia elétrica e, conseqüentemente, promover a sustentabilidade.

Palavras chaves: Fator de potência, economia, sustentabilidade, energia.

ABSTRACT: Power factor correction is a crucial topic in the context of energy efficiency and sustainability. In this sense, this thesis intends to present a critical and in-depth analysis of the main concepts related to power factor correction in electrical systems. To this end, bibliographic research and case studies were carried out in order to identify the most appropriate techniques and strategies for power factor correction in different types of electrical installations. The results received are that the correction of the power factor can bring benefits suffered, such as reducing energy losses, increasing the load capacity of electrical systems and improving the quality of the electricity supplied, if it is feasible in the context in which it is found. is inserted. However, it was found that the selection of the most appropriate correction technique must be done in a careful and personal way, considering the peculiarities of each

electrical installation, which in this work will be the ETEC Professor Armando Jose Farinazzo school. Therefore, that power factor correction is a basic practice to optimize the use of electrical energy and, consequently, promote sustainability.

Keywords: Power factor, Economy, Sustainability, Energy.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil algumas das instituições que trabalham com a eficiência energética podem ser citadas, como exemplo o Ministério de Minas e Energia (2020), que diz que: o baixo fator de potência (FP) é um dos principais motivos do desperdício de energia elétrica no Brasil, podendo chegar a até 30% da energia consumida. Outras que abordam temas parecidos são a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e a ELETROBRÁS. Que são responsáveis pelo Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica, e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), respectivamente.

A criação do PROCEL, realizada pelo Ministério de Minas e Energia, em 1986 foi realizada com o intuito de promover diversas iniciativas de uso racional de energia elétrica, já que a demanda estava aumentando. Eles planejavam com isso maximizar os resultados em eficiência e economia elétrica (GODOI, 2008).

Na criação do PROCEL foram estabelecidos objetivos, realização de assistência tecnológica energética ao setor industrial, investimentos em pesquisas para definir os padrões de consumo do mercado, a atuação nas áreas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, bem como suas estimativas futuras, e o desenvolvimento de normas, padronização e certificação de equipamentos empregados no uso final visando o uso eficiente da energia elétrica.

O PROCEL criou o Selo PROCEL de Economia de Energia. Ele é usado globalmente para classificar a eficiência energética de cada eletrodoméstico, nos mostrando qual o mais eficiente para ser adquirido. O Fator de Potência é um fator prioritariamente considerado nessa classificação.

Segundo Souza, Guerra e Kruger (2011), a criação do PROCEL teve como objetivo, várias pesquisas tecnológicas, com assistência de pesquisadores industriais. Assim, definindo os padrões de consumo e estimando futuros consumos. Com isso, criou-se normas e padronizações de sistemas visando a qualidade de energia e a eficiência energética.

Para evitar o desperdício de energia elétrica, o antigo DNAEE (Departamento Nacional de Energia Elétrica), fixou a portaria 1569/93 que estabeleceu o fator de potência maior ou igual a 0,92. O não cumprimento dessa portaria acarreta aos usuários, multas pesadas e desnecessárias (Costa, 2021).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. RELEVÂNCIA DO CONSUMO CONSCIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Simabukulo et al. (2023) Ao longo do último século a humanidade tem experimentado uma evolução sem precedentes impulsionada por diversas descobertas científicas e tecnológicas. Entre todas as inovações que transformaram nossas vidas, o consumo de energia elétrica tem se destacado como uma das principais devido a sua versatilidade e aplicabilidade em diversos setores. A eletricidade tornou-se uma peça vital do convívio humano moderno, sendo empregada em todos os setores atuais, incluindo os vitais como a saúde.

Com eletrificação das indústrias tivemos um dos fatores-chave para a rápida expansão econômica e o aumento da produtividade. E graças ao uso de máquinas elétricas, como motores e equipamentos de automação, os processos produtivos ficaram mais eficientes e baratos se comparados com a força humana e animal empregada anteriormente, consequentemente permitindo a fabricação em larga escala. Isso resultou em uma maior disponibilidade de produtos, redução de custos e melhoria da qualidade de vida em muitas regiões do mundo.

À medida que a humanidade avança para o futuro, a importância do consumo de energia elétrica só tende a aumentar. Com o desenvolvimento de tecnologias emergentes, como veículos elétricos, energias renováveis, inteligência artificial e internet das coisas, a demanda por eletricidade continuará a crescer.

Portanto, é crucial investir em técnicas eficientes de consumo, geração e distribuição da energia elétrica, com infraestrutura adequada, políticas de eficiência energética e pesquisa e desenvolvimento de novas soluções para garantir um suprimento sustentável e confiável de energia elétrica.

2.2 EXPLICAÇÃO SOBRE EFICIÊNCIA E QUALIDADE ENERGÉTICA

Segundo Simabukulo et al. (2023) A eficiência energética faz se essencial para garantir o uso adequado dos recursos disponíveis e para minimizar o desperdício de energia. No entanto, tão importante quanto a eficiência é a qualidade da energia utilizada, sendo medida conforme a disponibilidade contínua e confiável de energia, bem como às características adequadas de tensão, frequência e forma de onda.

Conforme Poliquezi (2016, p.10):

De maneira geral a eficiência energética mede a qualidade no uso da energia para os fins a que ela serve à sociedade. Qualquer atividade atualmente exercida pela sociedade moderna só é possível através do uso de uma ou mais formas de energia, provenientes das diversas fontes disponíveis para produção deste bem imprescindível.

Uma boa qualidade de energia é fundamental para o bom funcionamento de equipamentos e sistemas elétricos, evitando danos, mau desempenho e falhas. Quando a qualidade da energia é comprometida, podem ocorrer problemas como flutuações de tensão, interrupções de fornecimento, variações de frequência e distorções harmônicas. Esses problemas podem afetar negativamente o desempenho de dispositivos eletrônicos, sistemas de automação, equipamentos industriais e até mesmo a segurança das pessoas.

Uma má qualidade de energia pode resultar em perdas econômicas significativas. Interrupções no fornecimento de energia podem levar a paralisações na produção industrial, perda de dados em sistemas de computadores, danos a equipamentos sensíveis e até mesmo interrupções em serviços essenciais, como hospitais e telecomunicações.

Para se obter uma melhor qualidade de energia é necessário que se faça um levantamento abrangente de todos os sistemas que demandam uso de energia elétrica na instalação. Uma vez realizado este levantamento crucial efetuar um diagnóstico minucioso dos pontos de consumo. O diagnóstico energético visa a identificação de pontos de desperdício energético na planta, tendo como base qualidade construtiva e atividade operacional dos equipamentos apontados no diagnóstico.

Uma outra maneira de se analisar a eficiência energética em uma empresa é através da fatura de energia, onde encontramos dados gerais de consumo, possíveis multas, variações no consumo e ineficiência energética.

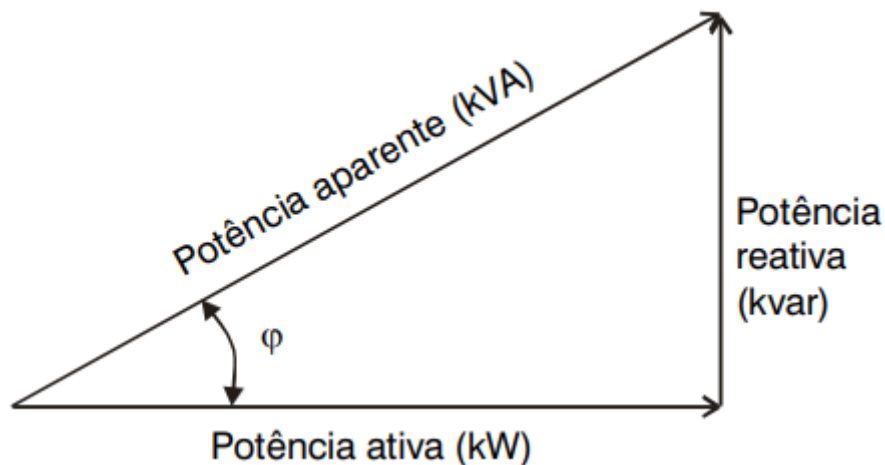
Entre as avaliações da eficiência energética deve-se levar em consideração o fator de potência da instalação, a fim de mensurar a quantidade de energia reativa utilizada. Atualmente o fator de potência permitido é de no mínimo 0,92, caso esse valor esteja abaixo a unidade consumidora pode ser multada, além de que um bom FP implica em uma melhor eficiência e qualidade energética.

2.3 TIPOS DE POTÊNCIA ELÉTRICAS

O termo potência é aplicado para fornecer uma indicação da quantidade de trabalho (conversão de energia) que pode ser realizado em um determinado período de tempo; isto é, a potência é a velocidade com que um trabalho é executado, diz Boylestad (2004).

Uma máquina que pode realizar o mesmo trabalho em menos tempo ou mais trabalho no mesmo intervalo de tempo tem mais potência outra máquina. Em uma instalação há a presença de cargas indutivas que fazem uso de energia reativa para que possam manter o fluxo em seu campo eletromagnético, a operação dessas cargas necessita de dois tipos de potência, a ativa e a reativa. A soma vetorial dessas duas potências caracteriza a potência aparente.

Figura 1. Triângulo de potências



Fonte: (ENGELÉTRICA SERVIÇOS ELÉTRICOS, 2017)

2.3.1 Potência ativa

A potência ativa é o tipo de potência mais conhecido e comumente utilizado. Ela é responsável pela realização do trabalho útil em um sistema elétrico. A potência ativa é medida em watts (W) e representa a quantidade de energia que é convertida em trabalho útil, como a iluminação de lâmpadas, o funcionamento de motores elétricos e o aquecimento de aparelhos. É a potência ativa que efetivamente realiza as tarefas desejadas e é consumida pela carga elétrica. WEG (2018)

2.3.2 potência reativa

A potência reativa, por sua vez, é a potência necessária para o funcionamento dos componentes indutivos e capacitivos de um sistema elétrico. Esses componentes, como bobinas e capacitores, armazenam energia temporariamente e liberam-na em ciclos, o que cria um fluxo oscilatório de energia. A potência reativa é medida em volt-ampères reativos (VAR) e é representada pela letra Q. Ela não realiza trabalho útil diretamente, mas é essencial para manter a tensão e a corrente em fase adequada e para a estabilidade do sistema elétrico.

Embora a potência ativa seja a única que realiza trabalho útil, a potência reativa também é fundamental para o bom funcionamento dos sistemas elétricos sendo ela necessária para corrigir o fator de potência e melhorar a eficiência do sistema, MATTEDE (2018).

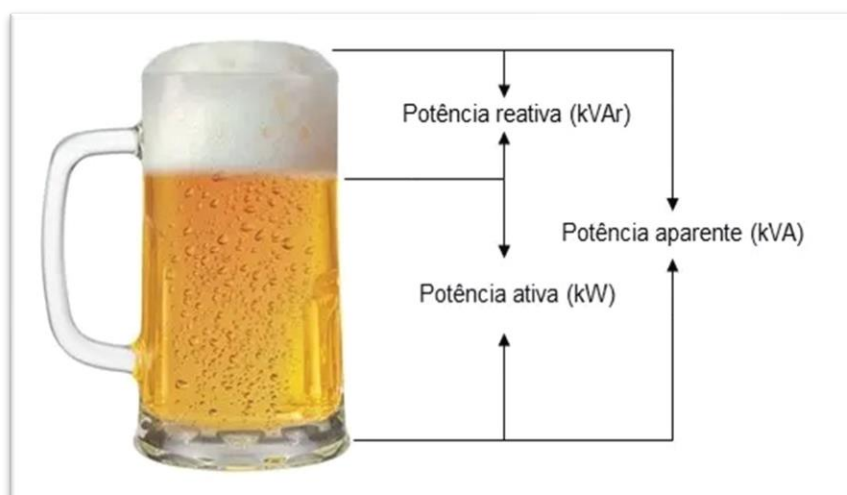
2.3.3 Potência aparente

Segundo Escrich. (2023). A potência aparente é a soma vetorial da potência ativa e da potência reativa. Ela representa a potência total exigida pela carga elétrica.

(Boylestad, 2012) A potência aparente é medida em volt-ampères (VA) e é representada pela letra S. Ela indica a quantidade total de energia que está sendo fornecida a uma carga elétrica, levando em consideração tanto a potência ativa quanto a potência reativa. A potência aparente é uma combinação da energia que é convertida em trabalho útil e da energia que é armazenada e devolvida ao sistema.

2.3.4 Relacionamento das potencias

Figura 2. Potências aparente, reativa e ativa



Fonte: (Mundo da elétrica, 2016)

Torres (2012) diz que: em analogia, podemos didaticamente comparar os três tipos de potência com a bebida chope. Na composição da bebida, temos a espuma, que não é tão bem aproveitada, o líquido, onde realmente reside o chope, e todo o volume do copo. Podemos comparar a espuma com a potência reativa, o líquido com a potência ativa, e o volume total com a potência aparente.

Para se mensurar a eficiência energética em uma instalação deve-se levar em consideração o fator de potência (FP), este é definido como sendo a razão entre a potência ativa e a potência reativa do sistema, um valor do FP próximo a 1 representa uma alta eficiência energética, caso esse valor seja baixo o sistema apresenta uma baixa eficiência, diz Mochetti.

2.4 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência é um termo que se refere à relação entre a potência ativa e a potência aparente em um sistema elétrico. É representado pela letra grega “ $\cos \varphi$ ” ou “FP” e fica entre 0 e 1. Santana e Júnior (2021), dizem que manter um fator de potência próximo à unidade é essencial para garantir a operação eficiente e confiável dos sistemas elétricos, isso porque quando o fator de potência se aproxima de 1, a energia elétrica convertida em trabalho útil (potência real) é alta em relação à potência total de entrada (potência aparente). Isso se refere ao uso eficiente da energia elétrica e ao funcionamento ideal dos sistemas elétricos.

Por outro lado, quando o fator de potência é muito baixo (próximo de 0,5 ou menos), indica que grande parte da potência de entrada é desperdiçada em vez de ser usada para fazer um trabalho útil. Isso ocorre quando há muita potência reativa no sistema, principalmente devido a dispositivos indutivos, como motores,

transformadores, reatores ou capacitores. Esses dispositivos armazenam energia e a alimentam de volta na rede, resultando em um fluxo de energia oscilante.

2.4.1 Cálculo do fator de potência

O fator de potência de uma instalação elétrica pode ser dado por:

$$\cos \varphi = \frac{\text{Potência Ativa (KW)}}{\text{Potência Reativa (KVA)}}$$

Por exemplo, caso a potência ativa seja de 3KW e a reativa seja 4KVAr:

$$\cos \varphi = \frac{3 \text{ KW}}{4 \text{ KVAr}} = \cos \varphi = 0,75$$

Apesar de ser apenas um exemplo simples, pode-se notar que quanto maior for a potência reativa, menor será o fator de potência. Portanto o ideal é o caso em que temos uma potência reativa o mais próximo possível da ativa.

2.5 CAUSAS DE PERDA DE POTÊNCIA

A perda de potência é um problema comum nos sistemas elétricos que pode resultar em diversos impactos negativos, tanto para residências quanto para indústrias. Existem várias causas possíveis para a perda de potência, dentre elas, os transformadores, necessitam de energia reativa para manter o fluxo magnético, uma vez que haja pouca ou nenhuma demanda de potência ativa em sua saída (secundário), essa relação resulta em um baixo Fator de Potência (FP), conforme destacado por Silva em 2009.

Figura 3. Imagem de alguns transformadores



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Da mesma forma acontece com motores elétricos, caso trabalhe vazio ou com carga baixa acarreta uma diminuição na relação entre potência ativa e potência reativa, resultando em um baixo fator de potência, pois os motores consomem a mesma energia reativa caso rodem com sua carga máxima ou vazios, porém a energia ativa consumida é diretamente proporcional a carga aplicada ao eixo do motor (GODOI, 2018). Por isso é importante destacar que os equipamentos devem ser bem dimensionados para que não trabalhem abaixo de sua capacidade e consumam uma potência reativa que não seria necessário.

Figura 4. Motor trifasico operando com subcarga



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

O uso de máquinas de solda e reatores para lâmpadas de vapor de sódio também pode levar a um baixo fator da instalação.

Figura 5. Lâmpada a vapor de solda



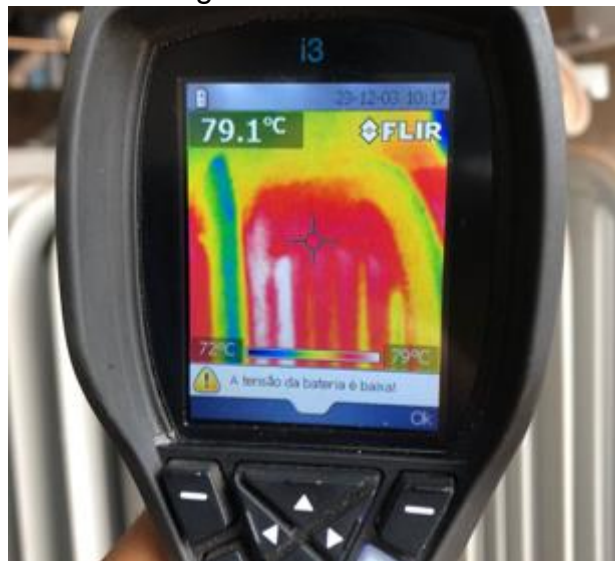
Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

As perdas de potência também estão relacionadas com as perdas energéticas em forma de calor, pois devido ao excesso de energia reativa necessita-se de uma alta corrente o que acaba aquecendo os condutores e equipamentos, acarretando um baixo fator de potência. Além do gasto em forma de calor, uma corrente alta, sobretudo em épocas de maior demanda da rede, pode provocar quedas de tensão acentuadas o que pode fazer com que haja interrupções no fornecimento de energia e a sobrecarga em componentes da mesma.(Godoi, 2008).

2.6 CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Perdas de energia elétrica podem se dar por conta do calor. Como a corrente aumenta com o excesso de energia reativa, o baixo fator de potência tem grande influência, aquecendo os equipamentos e seus respectivos condutores. Devido ao baixo FP, é possível notar correntes desnecessárias que produzem calor dentro dos equipamentos e seus cabos. Dessa forma, sua baixa influência sobre o excesso de energia reativa resulta em um grande desperdício energético, o que resulta em multas na fatura mensal.

Figura 6. Calorímetro



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

O aumento da corrente devido à falta de energia reativa, provoca calor, como enfatizado na figura 6, podendo provocar quedas de tensão, sobrecarregando a rede ou causando interrupções da energia elétrica.

2.7 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Boylestad, 2012, p. [696]. O processo de introduzir elementos reativos para levar o fator de potência a um valor mais próximo da unidade é chamado de correção de fator de potência.

A correção de fator de potência é um processo essencial para otimizar o consumo de energia elétrica e garantir um uso eficiente dos recursos disponíveis. Visando equilibrar a relação entre a potência ativa e a potência aparente, garantindo um fator de potência próximo de 1. Isso traz uma série de benefícios, tanto econômicos quanto operacionais, para residências e indústrias.

Uma das principais vantagens da correção do fator de potência é a redução dos custos de eletricidade. Ao melhorar o fator de potência, a sobretaxa de reativo imposta pelas concessionárias de energia é minimizada, resultando em uma conta de eletricidade mais baixa. A correção do fator de potência permite que a energia elétrica seja utilizada de forma mais eficiente, evitando o desperdício e reduzindo os custos associados.

Além da economia de custos, a correção do fator de potência também contribui para o aumento da capacidade e eficiência dos sistemas elétricos. Um fator de potência próximo de 1 implica em uma redução da corrente elétrica necessária para fornecer a mesma quantidade de energia. Isso significa que a capacidade da rede elétrica é mais bem aproveitada, resultando em uma distribuição mais eficiente da energia elétrica.

Conforme Mattede. (2023). A correção do fator de potência pode ser alcançada por meio da instalação de capacitores, que são dispositivos projetados para compensar a potência reativa e equilibrar o sistema elétrico. Os capacitores armazenam energia elétrica e liberam-na em ciclos, contrabalançando a energia reativa e melhorando o fator de potência. Esses capacitores podem ser instalados tanto no lado da carga (como em motores, transformadores e equipamentos indutivos) quanto no lado da rede elétrica (para correção global do fator de potência).

O dimensionamento adequado e a localização estratégica dos capacitores são fundamentais para a correção eficiente do fator de potência. Um estudo prévio das características do sistema elétrico e das cargas é realizado para determinar a quantidade e a capacidade dos capacitores necessários. Essa análise leva em consideração fatores como o perfil de carga, a variação sazonal da demanda, as características dos equipamentos e a carga reativa existente.

Além da instalação de capacitores, outras práticas de gestão energética também podem ser adotadas para otimizar a correção do fator de potência. Isso inclui o monitoramento contínuo do fator de potência, a manutenção regular dos equipamentos elétricos, a identificação e correção de problemas de potência reativa, e a conscientização dos usuários sobre a importância do uso eficiente da energia elétrica.

Em suma, a correção do fator de potência é uma etapa crucial para garantir o bom consumo de energia elétrica. Ela contribui para a redução dos custos, o aumento da capacidade e eficiência dos sistemas elétricos, prolonga a vida útil dos

equipamentos e melhora a qualidade da energia fornecida. Mesmo em residências, a correção do fator de potência pode trazer benefícios significativos, como a redução das contas de energia, o aumento da vida útil dos aparelhos elétricos e a melhoria da estabilidade da rede elétrica.

Segundo Escrich. (2023). Ao adotar a correção do fator de potência, os consumidores podem não apenas reduzir seus gastos com energia elétrica, mas também contribuir para a sustentabilidade ambiental. O uso eficiente da energia elétrica resultante da correção do fator de potência diminui a demanda global de energia, reduzindo a necessidade de geração de eletricidade a partir de fontes não renováveis. Isso contribui para a mitigação das mudanças climáticas e para a preservação dos recursos naturais.

Portanto, é fundamental que as residências e as indústrias estejam conscientes da importância da correção do fator de potência. A implementação de medidas para melhorar o fator de potência, como a instalação de capacitores e a adoção de práticas de gestão energética, pode trazer benefícios significativos tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Ao otimizar o consumo de energia elétrica, garantindo um fator de potência próximo de 1, estamos construindo um futuro mais eficiente, sustentável e economicamente viável.

2.8 MEDIÇÃO E COBRANÇA

Caso não haja um controle do fator de potência é comum que haja cobrança da energia reativa excedente, quando não há esse controle o consumidor acaba tendo uma demanda maior de energia o que sobrecarrega a rede.

Segundo a EMBRASUL, os medidores das concessionárias fazem a leitura do consumo de kWh em um intervalo de 15 minutos ou dependendo, em alguns casos essa medição pode ser efetuada a cada 5 minutos.

A taxa de excedente reativo caso haja em um estabelecimento aparecerá na fatura como **excedente de consumo reativo** ou pela presença das siglas **EREX** e **FER**.

2.8.1 Sobre a ocorrência

A ocorrência de excedente de reativo é verificada pela concessionária através do fator de potência mensal e/ou do fator de potência horário.

O fator de potência mensal é calculado com base nos valores mensais de potência ativa (kWh) e potência reativa (kVArh), já o horário é calculado com base nos valores medidos de hora em hora pelo medidor.

Figura 7. Conta de energia

GRANDES CLIENTES RUA CONDE DE SOROCABA, 491 JARDIM ANA BELA ANEL 12345678-90 Atendimento USPC CEP 03058-040 São Paulo Fax: 8521-0921		Contrato nº 138A2W	
Nota Fiscal / Conta de Energia Elétrica Nº 582DD2S		Página Nº 1A	
Referência nº SPREEDY TRACE IND. E COM. LTDA. IMP. RUA DAS ANDORINHAS 6489-A VILA FURTADO CEP 04040-020 CARAMBEI	Cliente beneficiário e Endereço da unidade consumidora SPREEDY TRACE IND. E COM. LTDA. IMP. RUA DAS ANDORINHAS 6489-A VILA FURTADO CEP 04040-020 CARAMBEI		
Classe 3 - INDUSTRIAL	Banco / Agência CNPJ 12.345.478/0001-9A	Inscr. Estadual	
Data Leitura 14/09/03	Data Próx. Leitura 14/10/03	Emissão 14/09/03	Vencimento 29/09/03
Descrição	Tarifa	Valores	
CONSTR. POTÊNCIA 0.16800			
CONSTR. ATIVO 0.4200			
CONSTR. REATIVO 0.4200			
DEMANDA PONTA			
DEMANDA FORA DE PONTA IND.			
DEMANDA FORA DE PONTA CAP.			
ENERGIA ATIVA PONTA			
ENERGIA ATIVA FORA DE PONTA INDUSTRIAL			
ENERGIA ATIVA FORA DE PONTA CAP.			
ENERGIA REATIVA PONTA			
ENERGIA REATIVA FORA DE PONTA INDUSTRIAL			
ENERGIA REATIVA FORA DE PONTA CAP.	1270,0		53.669,00
DEMANDA CONTRATADA	KW 1300,0		11.399,40
DEMANDA FATURADA	KW 43981		7.790,43
ENERGIA REATIVA EXC. PONTA	25984		14.535,12
ENERGIA REATIVA EXC. PP IND.	12494		8.542,65
FATOR DE CARGA DE PONTA	31949		2.549,12
FATOR DE CARGA FORA DE PONTA	535335		9.404,18
Importe sujeito a ICMS 9,056,12	JUROS: 0,00	VALOR DA FATURA:	107.889,90
Valor do ICMS: 1.630,10	MULTA: 0,00	SALDO ANTERIOR	0,00
Alíquota: 18%	Eletrobrás: 0,00	VALOR TOTAL A PAGAR:	107.889,90
		Autenticação Mecânica	
184620598981279500000098127349			

Fonte: (WGR, 2018)

3. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma análise da eficiência do consumo elétrico, para a elaboração e estruturação foram usadas contas de energia e pesquisas bibliográficas. A pesquisa bibliográfica teve como objetivo reunir textos, artigos e trabalhos sobre o uso elétrico eficiente e analisar métodos para reduzir o consumo de energia reativa.

O objetivo final foi de disseminar informações úteis sobre o excedente de potência reativa, visando possíveis economias industriais, empresariais e demais consumidores de média a alta tensão.

3.1 BUSCA POR CONTAS DE ENERGIA DO SETOR INDUSTRIAL

A fim de se obter dados suficientes para análise, foi pesquisado empresas com potencial de fornecer contas como exemplos de aplicação do presente trabalho. Contudo, as empresas com fator de potência abaixo de 0.92 que encontramos não puderam disponibilizar as contas de luz para nós por motivos de privacidade.

Diante desse problema, foram conduzidas pesquisas online, identificando sites que abordam o tema do fator de potência.

Figura 8. Conta de energia com alta energia reativa excedente

EXEMPLO

COPEL Copel Distribuição S.A. José Indroso Bizetto, 158 Br. C. Massangati Curitiba PR - CEP 81200-240 CNPJ: 04.288.898/0001-06 - E: 90.233.073-99 - IM 423.952-4

www.copel.com
0800 643 75 75

NOME DE SUA EMPRESA EPP
RUA DE SUA EMPRESA, 123
CIDADE INDUSTRIAL - CURITIBA - PR - CEP: 123456-789
CNPJ: 123.456.789/0001-01 - IE: 1234567890

Mês de Referência: **Outubro/2019**
Unidade Consumidora: **12345678**

VENCIMENTO: **03/11/2019**
VALOR A PAGAR: **R\$ 7.931,72**

FAT-01-20198303405286-58

Valores Faturados
NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 101.471.615 - SÉRIE B
Emitida em 11/10/2019

Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS
ENERGIA ELET CONSUMO PTA	kWh	124,00	1,977339	245,19	245,19	29,00
ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	kWh	8422,00	0,521342	4.390,74	4.390,74	29,00
ENERGIA REAT EXC F FONTA	kWh	2247,00	0,420877	945,71	945,71	29,00
DEMANDA	kW	75,76	21,127904	1.600,65	1.600,65	29,00
DEMANDA ULTRAPASSAGEM01/10/19 - 07:30	kW	5,76	42,255208	243,39	243,39	29,00
ENERGIA CONS. B. AMARELA	kWh			70,86	70,86	29,00
ENERGIA CONS. B. VERMELHA	kWh			336,27	336,27	29,00
CONT. ILLUMIN. PUBLICA MUNICIPIO				98,91		

Fonte: (Energia solar Araucária, 2019)

4. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do presente trabalho tem como objetivo informar como foram pensadas e desenvolvidas maneiras de corrigir o baixo fator de potência, visando a diminuição do excedente reativo e consequentes economias no setor industrial.

4.1 PROPOSTAS DE CORREÇÕES DO FATOR DE POTÊNCIA

Apenas a correção do FP já libera capacidade para instalação de novos equipamentos, sem que haja investimentos em transformador ou substituição de condutores para tal (WEG, 2009). Para corrigi-lo é necessário compensar a energia reativa vinda de bobinas (indutores) com energia reativa vinda de capacitores, sendo

elas respectivamente, energia indutiva e capacitiva. Para diminuir uma é necessário aumentar a outra.

Desse modo, evitar a ocorrência de cobrança pela concessionária dos valores referentes aos excedentes de demanda reativa. Assim obteremos os benefícios adicionais em termos de redução de perdas elétricas e de melhoria do perfil de tensão da rede elétrica, (CREDER, 2016).

Os capacitores, funcionam como fonte de energia reativa, limitando onde efetivamente ela é necessária, liberando toda capacidade para outros equipamentos

A fim de resolver e neutralizar o alto consumo da corrente reativa, devemos aumentar a corrente capacitiva, como citado, os bancos de capacitores é a maneira mais utilizada dentre todas para aumentar o fator de potência (CREDER, 2016).

4.1.1. Banco de capacitores

Com o intuito de potencializar a energia elétrica gerada a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), estabeleceu em 1992, através do decreto N^o 479 que tanto concessionárias como unidades consumidoras devem manter o fator de potência da unidade (1,00), coube a DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), estabelecer um novo valor limite de referência, antes este era 0,85 e com o novo decreto passou a ser 0,92. Caso esse valor fique abaixo a unidade consumidora será multada.

Para correção de fator de potência basicamente existem três métodos possíveis, aumento do consumo de energia ativa, utilização de motores síncronos superexcitados e utilização de banco de capacitores. Porém na prática o método mais utilizado e mais efetivo são os bancos de capacitores, apresentam um baixo custo e é de fácil instalação

Em sistemas industriais para correção do fator de potência e aumento da eficiência energética faz-se necessário a utilização de unidades capacitivas dispostas de forma série-paralelo para que seja fornecido uma determinada quantidade de potência reativa para o sistema. Estas unidades capacitivas, denominada banco de capacitores estão alocadas em racks, estes são estruturas metálicas fabricadas em aço galvanizado, alumínio ou aço inoxidável, nestes racks também há a presença de disjuntores, seccionadores, equipamentos de proteção e equipamentos de medidas, (Chiodelli, 2021).

Figura 9. Banco de capacitores



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Os bancos de capacitores podem ser fixos, quando o conjunto apresente uma carga constante durante o dia, ou automáticos para quando se tem uma variação na curva de carga reativa.

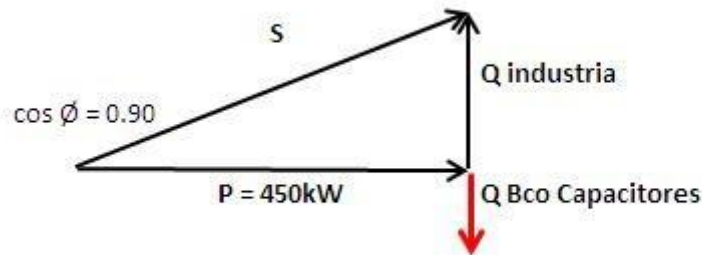
4.1.1.1 Dimensionamento do banco de capacitores

O dimensionamento de banco de capacitores é realizado com o uso de equipamentos apropriados para medição dos parâmetros, como o Wattímetro, Multímetro e demais equipamentos. É possível realizar o cálculo do dimensionamento desde que, no mínimo, se tenha duas das quatro informações sobre o triângulo de potência, seja a potência aparente, reativa, ativa ou inclusive o próprio fator de potência. Em posse dos dados, podemos calcular o triângulo de potência como um todo.

Abordaremos o seguinte caso como exemplo fictício, destacado na figura 10. É importante ter em mente que para o dimensionamento do banco de capacitores, calculamos o circuito atual e o circuito desejado, sendo assim,

repetiremos alguns cálculos para o fator de potência atual e o fator de potência desejado.

Figura 10. Triângulo de potências contendo duas informações relevantes



Fonte: (Pelka, 2017)

Conforme destacado na figura 10, temos 450kW de potência ativa e um fator de potência abaixo do mínimo exigido de 0.92. Nosso objetivo é dimensionar um banco de capacitores para manter o fator de potência em 0.95, deixando uma margem para eventuais expansões no circuito.

Primeiramente, precisamos saber qual é nossa potência aparente atual, para isso podemos usar a fórmula do cosseno.

$$\cos \theta = 0.90 = \frac{450}{S} \therefore S = \frac{450}{0.90} = 500kVA$$

Sendo assim, atualmente nossa potência aparente é de 500kVA. Seguiremos para a potência reativa, podemos usar Pitágoras para calcular a potência reativa atual do sistema.

$$S^2 = P^2 + Q_{industria}^2$$

$$500^2 = 450^2 + Q_{industria}^2$$

$$250.000 = 202.500 + Q_{industria}^2$$

$$Q_{industria} = \sqrt{250.000 - 202.500} \cong 218kVAr$$

Portanto, atualmente nossa potência reativa se encontra em 218kVAr, precisamos encontrar o quanto ela precisaria abaixar para que, usando o mesmo valor de potência ativa (450kW) o fator de potência se mantenha em 0.95. Para isso repetiremos os cálculos, mas considerando o fator de potência desejado.

$$\begin{aligned} \cos \theta = 0.95 = \frac{450}{S} \therefore S &= \frac{450}{0.95} \cong 474 \text{ kVA} \\ 474^2 &= 450^2 + Q_{\text{industria}}^2 \\ 224.676 &= 202.500 + Q_{\text{industria}}^2 \\ Q_{\text{industria}} &= \sqrt{224.676 - 202.500} \cong 149 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Portanto, devemos ter um banco de capacitores de no mínimo 149kVAr, podendo ser dividido em diversas partes e ou módulos como 3 bancos de 50kVAr ou 5 de 30kVAr e ademais.

Também podemos dimensionar utilizando equipamentos técnicos específicos para tal tarefa. Por exemplo, utilizando um analisador de redes elétricas ST9600R (figura 11), basta fazer uma medição durante alguns dias ou uma semana, e o relatório gerado irá conter o valor faltante em KVAR.

Figura 11. ST9600R



Fonte: (Lotus Automação, 2020)

4.1.1.2 Bancos de capacitores fixos

Aconselhado para aplicações que apresentam uma grande oscilação na variação de energia utilizada, recomendado para quando se tem necessidade de uma carga constante no sistema, pois estes permanecem ativos até que se tenha uma influência externa.

4.1.1.3 Bancos automáticos de capacitores

Os bancos automáticos de capacitores são acionados por um equipamento eletrônico denominado controlador automático de FP (CAFP), estes, por meio de chaveamentos controla a potência reativa que é inserida no sistema, o que possibilita um ajuste mais preciso.

César (2009, p.38) acrescenta que este controle é possível monitorando-se os níveis de tensões em uma rede monitorada e os níveis de corrente em um alimentador geral obtidos a partir do secundário de TCs (transformadores de corrente), essas informações são processadas por um programa interno do controlador que toma a decisão de mudar ou não o estado dos relés o que faz com que os capacitores sejam ou não energizados.

Figura 12. Controlador automático de fator de potência - PFW01



(Fonte: Dos próprios autores, 2023)

Na figura 12 podemos ver um controlador da marca WEG, modelo PFW01, vista frontal onde é realizada programação de tempos e setpoints.

Figura 13. Chaveamentos de controle



(Fonte: Dos próprios autores, 2023)

A figura 13, apresenta o mesmo controlador da WEG, porém agora vemos a ligação das saídas, essas saídas comutam contadores que fazem entrar ou sair unidades capacitivas, esse conjunto formado por saída, contador e capacitor é denominado estágio, caso o fator de potência esteja fora do valor programado o controlador faz o acionamento de um ou mais estágios.

Figura 14. Contador



(Fonte: Dos próprios autores)

Conforme mostrado nas figuras 12, 13 e 14, o controlador automático de fator de potência possui saídas as quais comutam contadores que acionam capacitores, esse conjunto de saída, contador e capacitor é denominado estágio. Caso o fator de potência esteja fora do valor programado no controlador, é acionado um ou mais estágios.

4.1.2. REVISÃO DO MAQUINÁRIO ELÉTRICO

É de suma importância um bom dimensionamento dos motores e quaisquer outros maquinários elétricos. Um planejamento feito às pressas e mal dimensionado prejudicará o fator de potência da rede.

Segundo FILHO (2010), a escolha de motores com potência além da necessária provoca maior custo incipiente, rendimento inferior e menor fator de potência, o que acarreta desperdícios monetários. Motores mal dimensionados com potência abaixo da exigida pelo processo trabalharão em regime de sobrecarga, o que pode causar danos precocemente.

Seguindo a mesma linha, mesmo um projeto mal dimensionado caso repensado com cautela, corrigira, além de outros problemas, o fator de potência. Portanto funcionando como uma maneira de corrigir, em partes, o fator de potência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS – O QUE VOCÊS APRENDERAM COM O TRABALHO

Tendo em vista o trabalho apresentado percebe-se que os bancos de capacitores são considerados uma das formas mais viáveis para correção do fator de potência, tendo em vista que quase não se altera a estrutura, além de apresentar um excelente custo-benefício para a empresa. A instalação de bancos de capacitores aumenta a eficiência na utilização da energia elétrica, resultando em uma utilização da potência ativa. Aumentar a vida útil dos equipamentos e traz uma melhor qualidade energética

Com a correção do fator de potência é possível diminuir perdas por efeito Joule, e por consequência aumentar a economia e lucros da empresa, já que evita penalidades e tarifas adicionais para empresa.

A correção do fator de potência além de diminuir o impacto para o meio ambiente, traz um grande benefício para a instalação, pois um sistema que não apresente excedente de reativo liberam capacidade adicional nas linhas de transmissão e transformadores aumentando assim a eficiência da infraestrutura de uma empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Resolução Normativa nº 414/2010: Direitos e Deveres dos Consumidores e Distribuidoras. Brasília, 2016. 80 p.

BOYLESTAD, Robert L.; DO NASCIMENTO, José Lucimar. Introdução à análise de circuitos. Pearson Educación, 2004.

BRASIL. DECRETO Nº 479, DE 20 DE MARÇO DE 1992. Diário Oficial da União - Seção 1 - 23/3/1992, Página 3749.

CREDER, H. Instalações elétricas. Rio de Janeiro, RJ: 15ª edição. Livros Técnicos e Científicos, 2016.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Brasília, DF, Edição nº 15, Seção 1, 21 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/servicos/diario-oficial-da-uniao> . Acesso em: 10 de nov de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Eficiência energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica> Acesso em: 10 de setembro de 2023.

ESCRICH, Bianca. Wey2Blog. O que é o fator de potência. Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/fator-de-potencia/#:~:text=Para%20promover%20o%20uso%20racional,total%20ou%20apar%20do%20sistema.> . Acesso em: 21 de julho de 2023.

FIESC. Desperdício elétrico no brasil equivale ao consumo de 20 milhões de residenciais. <https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/desperdicio-eletrico-no-brasil-equivale-ao-consumo-de-20-milhoes-de-residencias>. Acesso em: 21 de junho de 2023

GODOI, J. M. A. Metodologia para gestão da eficiência energética de sistemas industriais sob condicionantes socioambientais sustentáveis. 2008. 146 p. Monografia de especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético – Programa Intraunidades do Instituto de Eletrotécnica e Energia, IEE. Universidade de São Paulo.

JUNIOR, Alexandre Pereira Genuino; CARREIRO, Felipe Silveira; DE OLIVEIRA, Rafael Lima. Eficiência energética: Como corrigir o fator de potência Energy efficiency: How to correct the power factor. 2023.

MATTEDE, Henrique. Fator de Potência: O que é e como calcular. Mundo da Elétrica, Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/fator-de-potencia-o-que-e-como-calcular/> Acesso em: 21 de junho de 2023.

MATTEDE, Henrique. Mundo da elétrica. Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/>. Acesso: 10 de nov de 2023

OLIVEIRA, Lilian Silva de. Gestão Energética de Edificações Públicas no Brasil. 263 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

OLIVEIRA, W.R. (2013). Uma avaliação sobre inversores de frequência e distorções harmônicas e inter-harmônicas. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 02/2013, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 83p.

PELKA, Adilson. LinkedIn. Como calcular o banco de capacitores. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/como-calcular-um-banco-de-capacitores-adilson-pelka-mba/?originalSubdomain=pt>. Acesso em 2 de dezembro de 2023.

RODRIGUES, FIDEL JUNQUEIRA. Correção de fator de potência. Monografia de conclusão de curso. USF, 2012.

SCRIBD. Instalações elétricas. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/370620535/Instalacoes-Elétricas> Acesso em: 21 de junho de 2023.

SIMABUKULO, L. A. N., Correa, L. F. S., Santos, M. M. O., & Martins, M. (2010). Energia, industrialização e modernidade – história social. São Paulo: Alameda.

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, Versão Online, p.1-7, jan. 2011. Acesso em: 24 nov. 2023.

TORRES, Gabriel. Clube do hardware, entenda potência ativa e reativa. Disponível em: <https://www.clubedohardware.com.br/>. Acesso: 09 de setembro de 2023.

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Departamento de engenharia Elétrica. Capítulo 4 - Máquinas Elétricas e Transformadores. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/capitulo-4-2013-2s.pdf> Acesso em: 10 de novembro de 2023.

WEG. Correção do Fator de Potência. 958. [S.l.]: WEG, 2018. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 21 de julho de 2023. Disponível

em:<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf> . Acesso em: 21 de julho de 2023.