

Eficiência energética: Como corrigir o fator de potência

Energy efficiency: How to correct the power factor

Alexandre Pereira Genuino Junior

Centro Universitário UniRedentor

Felipe Silveira Carreiro

Centro Universitário UniRedentor

Rafael Lima de Oliveira

Centro Universitário UniRedentor

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

DOI: 10.47573/aya.5379.2.61.9

RESUMO

Para um bom funcionamento de toda a instalação elétrica fazer o estudo e acompanhamento do índice de fator de potência é de grande importância para todas as indústrias. Corrigir o fator de potência é um processo fundamental em qualquer instalação industrial. Quedas de tensão, perdas e sobrecargas são alguns resultados negativos de um fator de potência baixo. Deste modo, é imprescindível que os profissionais atuantes no meio do ramo da eletrônica industrial tenham conhecimento neste assunto. Portanto, este assunto será abordado neste trabalho através de um estudo de caso demonstrando as fases de um processo de correção de fator de potência e, posteriormente, trazendo as indicações dos meios para realizar a correção, e quais são as opções disponíveis para que sanar o problema.

Palavras-chave: eficiência energética. fator de potência. banco de capacitores.

ABSTRACT

For a good operation of the entire installation, studying and monitoring the power factor index is of great importance for all industries. Correcting the power factor is a fundamental process in any industrial installation. Voltage drops, losses, overloads are some negative results of a low power factor. It is of great importance that professionals working in the field of industrial electronics have knowledge of this subject. Therefore, this subject will be addressed in this work through a case study demonstrating the phases of a power factor correction process and, subsequently, bringing the indications of the means to carry out the correction, and what are the options available to remedy the problem.

Keywords: energy efficiency. power factor. capacitor bank.

INTRODUÇÃO

Que o mundo moderno se tornou altamente dependente da eletricidade todos sabem. A energia elétrica está presente desde as atividades mais básicas do dia a dia até nos processos industriais mais complexos, de forma que a pesquisa nesta área vem se mostrando cada vez mais importante, podendo apresentar aos consumidores a importância de fazer o uso consciente da mesma.

Em escala residencial, o consumo consciente, normalmente, depende de ações consideravelmente simples que vão desde o apagar das luzes dos cômodos inutilizados, fechar a geladeira com atenção, desligar o chuveiro ao ensaboar enquanto se toma banho, até o dimensionamento correto dos circuitos elétricos. Já em escala industrial, além de atos simples a gerência da empresa também deve estar atenta a outros parâmetros que se não analisados a olhos clínicos podem trazer muitos prejuízos. Um exemplo é a correção do fator de potência.

Atualmente a eficiência energética é um assunto em alta na área da Engenharia Elétrica e está diretamente ligada a outro importante tema, que é o consumo consciente da energia elétrica.

O fator de potência é o índice que indica a eficiência na utilização da energia elétrica e está diretamente ligado a esses dois assuntos supracitados. Este índice é rigorosamente monitorado pelas concessionárias de energia elétrica e, os consumidores industriais que apresentam um baixo índice de fator de potência estão sujeitos a multas.

Portanto, no decorrer deste trabalho serão apresentadas as principais grandezas da eletricidade para permitir um entendimento claro da importância de se controlar o índice de fator de potência em escala industrial e de como isso é feito, além das tecnologias disponíveis no mercado e outras curiosidades tangentes ao tema abordado. Dessa forma, será ainda discorrido sobre assuntos atrelados a fator de potência (FP), mostrando a importância do monitoramento do FP, informar as consequências de um FP baixo, e por fim, identificar o problema e apresentar a solução para instalações com baixo FP.

METODOLOGIA

Potência elétrica e fator de potência

Para um melhor entendimento do trabalho, se faz necessário realizar uma breve introdução ao conteúdo teórico referente a potência elétrica em circuitos de corrente alternada (CA) e de forma mais específica o estudo do fator de potência.

O sistema elétrico em geral é formado por geração, transmissão, distribuição e consumo. As unidades consumidoras demandam do sistema uma certa quantidade de energia, denominada potência, para atender suas cargas e assim realizar suas atividades. Segundo Creder (2007) a energia elétrica absorvida por cargas alimentadas em corrente alternada pode ser decomposta em energia ativa e energia reativa.

A energia ativa, medida em kWh, é aquela convertida em energia útil, por exemplo, energia térmica, luminosa ou cinética, e que realiza trabalho. Já a energia reativa, em kVarh, é empregada como energia magnetizante na manutenção de campos eletromagnéticos de equipamentos e não realiza trabalho, sendo intermediária na utilização de energia ativa (MONTEIRO, 2009).

A razão entre a energia que é transformada em trabalho (kWh) em um intervalo de tempo e este próprio intervalo de tempo resulta na demanda ativa média, denominada potência ativa e expressa em kW, tendo como representação a letra P. Deste modo, para um circuito elétrico alimentado em CA a potência instantânea P, em Watts, se dá por:

$$P = U \times I \times \cos \Phi$$

Equação 1, potência ativa

Onde U é a tensão senoidal instantânea, em Volts, I é a corrente senoidal instantânea, dada em Amperes, e Φ é o ângulo de defasagem entre corrente e tensão elétrica.

A razão entre a energia reativa (kvarh) utilizada em um intervalo de tempo e este próprio, resulta em demanda reativa média conhecida como potência reativa, a qual é expressa em kvar e representada pela letra Q (COTRIM, 2008).

Pode se chegar no valor de energia reativa Q (VAr) através da seguinte fórmula:

$$Q = U \times I \times \text{sen } \Phi$$

Equação 2, potência reativa

Já a potência como um todo é denominada potência aparente (S) e medida em VA. Ela pode ser definida como a energia total fornecida, conforme apresentado na equação 3, onde U e I são a tensão senoidal instantânea e a corrente senoidal instantânea, respectivamente.

$$S = U \times I$$

Equação 3, potência aparente

É baseado no valor desta potência que é feito o correto dimensionamento dos sistemas de proteção de todas as instalações elétricas. Quando se contrata o fornecimento de energia elétrica é especificada a taxa de potência aparente máxima a ser disponibilizada pelo fornecedor.

Sendo assim o fator de potência é definido como o cosseno do ângulo de defasagem entre as ondas senoidais de tensão e de corrente, $\cos(\Phi)$. De acordo com Cotrim (2008) ressalta-se que, o fator de potência deve ser acompanhado das palavras “indutivo”, nos casos onde se encontram a corrente atrasada em relação à tensão, ou, “capacitivo”, quando a corrente se encontra adiantada em relação à tensão, devido a $\cos(\Phi)$ estar sempre positivo.

A ANEEL (2012) define que o fator de potência em um determinado intervalo de tempo pode ser calculado com base nas energias consumidas neste período, portanto: São as energias ativas (Wh) e reativa (Varh) consumidas em um determinado intervalo. Assim, define-se fator de potência como sendo a divisão de potência ativa (KW) pela potência aparente (VA). Portanto, se uma máquina trabalha com 100 KW (potência ativa), e a energia aparente consumida é de 125 KVA, divide-se 100 por 125, chegando-se a um fator de potência (FP) de 0,80, conforme apresentado pela equação 4.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{Q^2 + P^2}}$$

Equação 4, fator de potência

Principais causas e consequências de um baixo fator de potência

Grande quantidade de motores de indução de pequeno porte

Estes equipamentos apresentam na maioria das vezes, dificuldades para seu correto dimensionamento em relação a sua carga acoplada, podendo ser, superdimensionados para atender ao elevado torque de partida de determinadas cargas. Mesmo, em condições corretas de funcionamento, devido as suas características de construção, estes podem não apresentar um fator de potência satisfatório.

Motores de indução superdimensionados

Um motor com uma potência nominal exageradamente superior à carga acoplada demandará uma potência ativa pequena comparada a demanda reativa, tendo como resultado um baixo fator de potência.

Motores de indução operando a vazio

Os motores de indução necessitam de uma potência reativa praticamente constante em seu funcionamento, independente da carga aplicada ao eixo, já a demanda de potência ativa é diretamente proporcional a esta carga. Sendo assim, quanto menor for a carga mecânica, menor será a demanda de potência ativa e conseqüentemente menor será o fator de potência.

Máquinas de solda a arco

Estes equipamentos são máquinas que trazem junto a sua operação processos que geram distorções harmônicas, pois a tensão e correntes dos arcos elétricos possuem características não lineares. Estas distorções harmônicas implicam em um baixo fator de potência real.

Perdas nos circuitos da instalação.

As perdas de energia elétrica podem ocorrer em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total. Como essa corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma relação entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos. Em instalações com baixo fator de potência são encontradas correntes desnecessárias que acabam gerando calor ao serem conduzidas por fios e cabos. Deste modo, pode-se inferir que o baixo fator de potência é um distúrbio energético que se dá quando a operação de máquinas com motores elétricos produzem energia reativa em excesso, gerando desperdício de eletricidade, o que geralmente é objeto de multa pelas concessionárias na fatura mensal de consumo de energia elétrica (SIQUEIRA, 2020).

Perdas por queda de tensão

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

Correção de fator de potência utilizando o capacitor

Figura 1 – Capacitor



Fonte: Eletrolítico, 2021

Silva (2009, p. 30) define de forma resumida e concisa a importância do fator de potência com seu controle:

O Fator de Potência é um índice de utilização de energia cujo controle adequado em instalações consumidoras é extremamente importante, não apenas sob o ponto de vista eletro energético, mas também, e fundamentalmente, pelo fato de ser monitorado pelos sistemas de medição das concessionárias, podendo incorrer em ônus (muitas vezes significativos) nas contas de energia elétrica. (Silva, 2009, p. 30).

Visando reduzir os custos e uma utilização mais eficiente da instalação, os consumidores buscam realizar a correção do fator de potência, que também pode ser denominada como compensação de energia reativa ou de reativos. Cotrim (2008) cita três métodos para a elevação do fator de potência: o aumento do consumo de energia ativa, a utilização de máquinas síncronas super excitadas e a utilização de capacitores.

Tendo em vista o método do aumento do consumo de energia ativa citado, ele consiste na adição de novas cargas com fator de potência elevado, ou seja, que aumentam o consumo de energia ativa sem afetar demasiadamente o consumo de energia reativa. Apesar de válido, este método tem pouca aplicação prática (COTRIM, 2008).

A utilização de máquinas síncronas são operadas como geradores de potência reativa ao serem superexcitadas. Quando são empregadas exclusivamente na geração de reativos com a finalidade de controlar o fator de potência, são denominadas “compensadores síncronos”, e além disso elas podem também ser ao mesmo tempo conectadas a cargas mecânicas (COTRIM, 2008).

De acordo com Mamede Filho (2002) este procedimento não é muito adotado devido ao seu alto custo e às suas dificuldades operacionais.

Analisando as opções disponíveis a utilização de banco de capacitores é a forma mais econômica e a que permite ter uma maior flexibilidade em sua aplicação. Portanto, atualmente este é o método de correção de fator de potência mais utilizado na indústria (COTRIM, 2008).

O elemento capacitivo, denominado capacitor, é um dispositivo que consiste em dois eletrodos separados por um dielétrico, esses dispositivos tem a capacidade de acumular energia elétrica. São basicamente duas placas metálicas condutoras que são separadas por um material isolante, e ao ser aplicada uma diferença de potencial (DDP) nas faces externas é gerado um

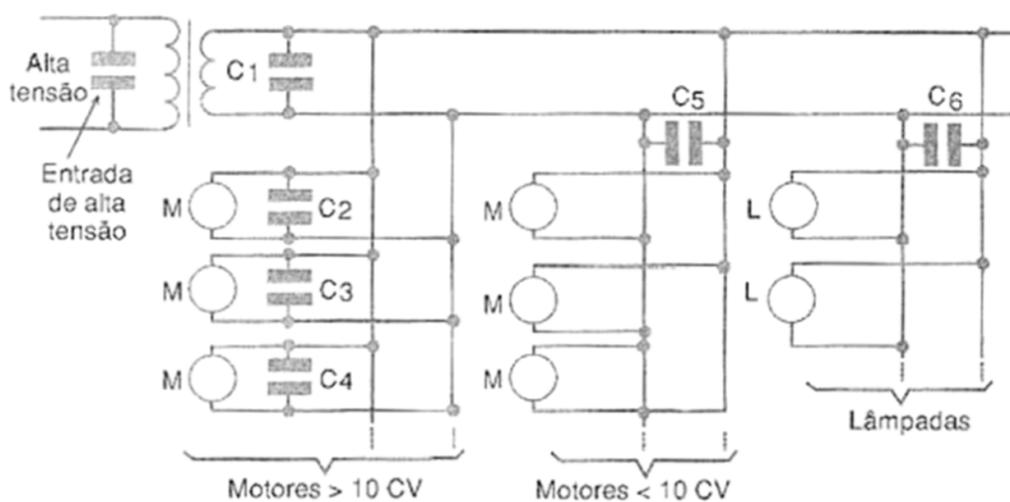
campo eletrostático entre elas, ocorrendo assim o armazenamento de energia elétrica na forma de campo elétrico.

O agrupamento dessas unidades capacitivas operando em conjunto, constitui um banco de capacitor. O princípio de funcionamento do capacitor, na sua aplicação visando a compensação de reativos na rede, se dá pela característica de defasagens da corrente em relação à tensão, essa defasagem de 90 graus atrasado da corrente em relação a tensão.

Tipos de correção de fator de potência

A correção fator de potência pode ser feita de cinco maneiras, tendo como objetivos a conservação de energia e a relação custo/benefício. Estas cinco possibilidades estão representadas na figura 2 e serão apresentadas a seguir.

Figura 2 – Diagrama de localização dos bancos de capacitores.



Fonte: Newton C. Braga, 2021.

Correção na entrada da energia em alta tensão

Assim como indicado na figura 2, localizada na parte de entrada de alta tensão do circuito, esta disposição corrige o FP avaliado pela concessionária, porém, ele não elimina os problemas encontrados internamente na instalação, além de ter um custo consideravelmente elevado. Mamede Filho (2002), entretanto, explica que pode haver alguma vantagem de ordem econômica inicial na instalação no lado primário dos transformadores, muito embora não exista liberação de capacidade nos mesmos. Os bancos de capacitores em alta tensão são fixos ou de acionamento manual em função do custo elevado dos bancos automáticos.

Correção na entrada da energia de baixa tensão

Com a fixação dos capacitores sendo feita na entrada de baixa tensão do circuito, conforme exibido na figura 2 por C1, alcançasse uma correção bastante significativa. Segundo Mamede Filho (2002), este tipo de disposição é geralmente implementado com a utilização de bancos automáticos de capacitores. Na maioria das vezes utiliza-se esta correção em instalação com elevado número de cargas e diferentes potências nominais, tendo seus regimes de trabalho sem uniformidade. Tem como uma de suas desvantagem, não possuir um alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.

Correção localizada

Como ilustrado na figura 2 este modo está representado por C2, C3 ou C4. Nesta abordagem o capacitor é instalado juntamente ao equipamento que necessita da correção do fator de potência. Do ponto de vista técnico/teórico é a maneira mais eficiente utilizada na correção de fator de potência. Sua instalação é recomendada em casos onde existam máquinas com potências maiores de 10CV. Esta configuração apresenta vantagens principalmente na redução das perdas energéticas considerando a instalação como um todo e, diminui a carga consideravelmente nos circuitos de alimentação dos equipamentos. Ela pode ser utilizada em um sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, aproveitando assim o equipamento de manobra. Além disso, ela gera potência reativa somente quando e onde for necessário.

Correção por grupo de carga

O capacitor, elemento que compensa a energia reativa indutiva, é instalado para corrigir somente em um determinado setor ou grupos de pequenos equipamentos ($<10\text{cv}$). Este tipo de instalação deverá ser feito no quadro de distribuição de alimentação de cada equipamento, conforme indicado na figura 2 por C5 e C6.

Correção mista

Quando se trata de conservação de energia da instalação a disposição mista de correção de fator de potência é a técnica mais eficiente. Nela se tem todas as vantagens das outras disposições, pois há possibilidade de fazer a correção em mais de um ponto da instalação, reduzindo as perdas e os gastos desnecessários.

Métodos de controle

O modo como a energia reativa será injetada na rede é dada pela forma de ligação dos capacitores nos diferentes pontos da instalação. Estes bancos de capacitores podem ser conectados de maneira fixa ou controlada, utilizando-se controladores e dispositivos de manobra, tanto de modo automático ou semiautomático. A seguir estão expostas às características de cada método de controle, conforme apresentado por Cotrim (2008).

Banco de capacitores fixo

Esta configuração apresenta os capacitores conectados diretamente à alimentação, nela não existe a utilização de dispositivos de manobra, o que impossibilita o controle da injeção de reativos em relação a carga. Pode ser utilizado diretamente sobre os motores, ou em barramentos gerais de tensão primária ou secundária. Este é o método mais simples e com o menor custo, entretanto, pode apresentar algumas falhas em situações de baixa carga devido ao excesso de energia reativa capacitiva, como tensões elevadas e faturamento de energia reativa capacitiva excedente. Fato que ocorre quando as cargas indutivas se encontrarem inoperantes.

Banco semiautomático

Neste caso, os capacitores são instalados junto as cargas indutivas e são acionados simultaneamente a estas, pois, geralmente utilizam-se os mesmos dispositivos de manobra das

maquinas. Este tipo de configuração permite um certo grau de controle, pois acaba injetando reativos na rede somente quando na presença de cargas solicitantes. Tem o seu custo relativamente alto à associação de um capacitor ou banco para cada carga e pode-se dizer que quanto maior a diversidade de cargas, maior este custo.

Banco automático

Este tipo de sistema realiza o fornecimento centralizado e variável de energia reativa. Ele trabalha acionando os bancos de capacitores de acordo com a variação da carga, sendo normalmente instalado no barramento geral de baixa tensão do sistema. Sua disposição apresenta vários grupos de capacitores de potências distintas, denominado estágios. Cada estágio é acionado por uma chave contatora individualmente controlada por um dispositivo eletrônico. Este dispositivo realiza o monitoramento dos parâmetros da rede elétrica e aciona, seletivamente, os estágios do banco de capacitores, que por sua vez injetam potência reativa pré-dimensionada para efetivo controle do fator de potência.

Cuidados a serem seguidos nas instalações de capacitores

É de grande importância a instalação dos capacitores em locais adequados, evitando sua exposição ao sol ou próximo de equipamentos com altas temperaturas. O local deve ser protegido contra materiais sólidos e líquidos em suspensão, além de evitar sua instalação próximo ao teto, pois a temperatura tende a ser mais alta, e por fim, cuidado com a proximidade de cargas não lineares.

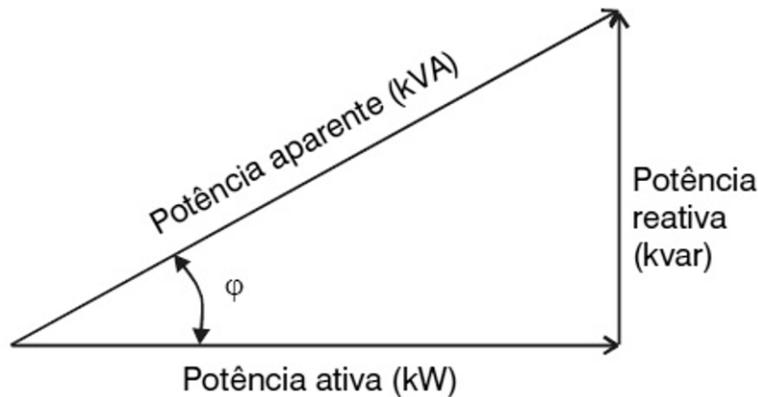
Dimensionamento do banco de capacitores

Visando uma escolha correta da metodologia e do projeto de compensação de energia reativa, o perfil da carga instalada deve ser analisado cuidadosamente.

Segundo Mamede Filho (2002) o levantamento do perfil da carga, tendo em vista o projeto do sistema de correção de fator de potência, pode ser dividido em dois grupos: os empreendimentos em projeto e os empreendimentos em operação.

Logo após realizar o levantamento e definir o perfil de carga da instalação, o que se tem como resposta é o quanto de potência reativa (Q) deve ser injetada para compensar e equilibrar a potência reativa consumida pela carga. As potências ativa, reativa e aparente podem ser demonstradas assimilando-as a um triângulo retângulo, onde a hipotenusa representa a potência aparente, o cateto oposto ao ângulo φ reproduz a potência reativa, restando para o cateto adjacente representar os valores de potência ativa, assim como ilustrado na figura 3.

Figura 3 - triângulo das potências



Fonte: Engelétrica, online

Manutenção preventiva

É de grande importância realizar o acompanhamento e a manutenção periódica nos bancos de capacitores, os principais procedimentos são:

- Fazer a verificação visual em todas as unidades capacitivas instaladas, pois se houver a atuação do dispositivo de segurança interno do capacitor, indicado pela expansão da caneca de alumínio, deverá ser efetuada sua substituição por outro de mesma potência;
- Verificar se há queima de fusíveis, caso tenha é de grande importância tentar identificar a causa da queima e depois fazer sua troca por um fusível de mesma corrente nominal;
- Medir tensão e corrente nas unidades capacitivas;
- Verificar o aperto nas conexões dos capacitores;
- Medir a temperatura interna do armário metálico interno (máxima de 450 °C).

Legislação

Atualmente as concessionárias faturam tendo como referência a quantidade de energia ativa que no caso poderia estar sendo transportada no espaço ocupado quando a instalação apresenta o consumo de reativo. Por isso as tarifas aplicadas de demanda e consumo de ativos, inclusive ponta e fora de ponta para consumidores enquadrados no modo de tarifação horossazonal. Além deste limite, a forma de medição, outro ponto importante está definido que: das 6h da manhã às 24h o fator de potência deve ser no mínimo 0,92 para a energia e demanda de potência reativa indutiva fornecida, e das 24h até as 6h no mínimo 0,92 para energia e demanda de potência reativa capacitiva recebida.

RESULTADOS

Para fins demonstrativos do procedimento de correção do índice de fator de potência, desde a elaboração do estudo da carga instalada de uma indústria até o dimensionamento de seu banco de capacitores, foi realizada uma simulação considerando uma instalação industrial.

Inicialmente é preciso identificar e obter algumas informações para o estudo através do levantamento de dados da empresa em operação.

Dados a serem identificados:

- Tipo de tarifação;
- Valor de demanda contratada;
- Fator de potência registrado.

As seguintes informações do transformador também são importantes de se obter:

- Tensão no primário;
- Tensão no secundário;
- Potência nominal;
- Potência de curto-circuito;
- Grau de ocupação;
- Corrente de magnetização;
- Impedância;
- $\cos \phi$.

Por fim, deve-se:

- Medir as tensões e as correntes (BT) nas seguintes condições:
 - Com carga mínima;
 - Com carga máxima.
- Conhecer o tipo de sistema de aterramento e para-raios:
 - Sua resistência;
 - Neutro aterrado (sim ou não);
 - Local do aterramento.

A figura 4 exibe um equipamento denominado analisador de energia, ele é utilizado para gerar dados de uma instalação elétrica. Através dele é possível conhecer as principais características de uma instalação elétrica, tais como:

- Potência ativa, reativa e aparente;
- Níveis de tensão e corrente;
- Possíveis perdas;
- Qualidade da energia fornecida.

Além disso, este equipamento é capaz de armazenar informações durante um período

de análise e, em seguida, gerar gráficos através de software compatível com o mesmo.

Figura 4 - analisador de energia.



Fonte: Fluke, online 2021.

O próximo passo para a correção do fator de potência é realizar o monitoramento da energia no local a ser analisado. Deste modo, a tabela 1 apresenta os dados simulados de um monitoramento elétrico de uma instalação industrial. O monitoramento simulado apresenta as seguintes características:

- Tempo diurno de monitoramento : 07 horas e 20 minutos.
- Tempo noturno de monitoramento : 03 horas e 40 minutos.
- Tempo total de monitoramento : 11 horas .

Tabela 1 – Monitoramento de energia.

Turno	Intervalo total de monitoramento	(Q) kVAr maximo	(P) kW	(S) kVA	FP
Manhã	9:00:00 a 10:50:00	89,91	96,13	132,35	0,73
Manhã	10:50:00 a 11:40:00	82,09	104,12	133,27	0,78
Tarde	11:40:00 a 15:30:00	91,39	84,55	125,22	0,68
Tarde	15:30:00 a 16:20:00	100,39	78,36	127,94	0,62
Noite	21:00:00 a 22:50:00	109,42	85,28	139,41	0,62
Noite	22:50:00 a 00:40:00	99,07	71,73	122,99	0,59

Fonte: os autores

Por fim, realiza-se o dimensionamento do banco de capacitores para a correção do fator de potencia. Para isso, deve-se realizar os cálculos a seguir:

De acordo com os dados apresentados na tabela 1, pode-se observar que o registro de potência reativa de maior valor (109,42 kVAr) ocorreu no período noturno, que corresponde ao instante de maior demanda em kVA em todo o período de monitoramento e a um fator de potência instantâneo equivalente a 0,62 com característica do tipo INDUTIVO.

Tendo como base as informações registradas no instante do pico da potência (85,28 kW e 109,42 kVAr, correspondentes ao FP = 0,62 INDUTIVO), é possível calcular a potência reativa, cuja característica deva ser reativa, necessária para a correção do FP. Com isso utilizando

como referência o FP= 0,95 INDUTIVO (patamar usualmente adotado na prática, acima do valor mínimo estabelecido pela legislação) e aplicando na equação 5, é possível encontrar o valor da potência reativa capacitiva a ser instalada:

A figura 5, denominada quadro de fator multiplicador foi desenvolvida para proporcionar facilidade ao projetista.

Figura 5 - Quadro de fator multiplicador.

FP Atual	Fator de Potência Desejado																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.624	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.719	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.068	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.049
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80		0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81			0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82				0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83					0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84						0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85							0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86								0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87									0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.173	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88										0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89											0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90												0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91													0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92														0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93															0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94																0.034	0.071	0.112	0.160	0.221	0.363
0.95																	0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96																		0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																			0.048	0.108	0.251
0.98																				0.060	0.203
0.99																					0.143

Fonte: Engelétrica, online 2022.

Deve se identificar o fator de multiplicação observando a interseção entre a linha do índice atual (0,62) e a coluna do índice desejado (0,95), onde o valor encontrado é o de 0,937.

O cálculo a ser realizado posteriormente é simples, basta multiplicar o valor da potência ativa pelo fator de multiplicação, obtendo a capacidade de potência reativa do banco de capacitores a ser instalado.

$$Q \text{ (capacitivo)} = 85,28 \text{ KW} \times 0,937 = 79,9 \text{ KVAr (capacitivo)}$$

Equação 5, potência reativa capacitiva

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou um assunto de grande importância na área de atuação do Engenheiro Eletricista, visto que o controle de energia reativa é um dos dilemas da manutenção industrial e vem sendo discutido com frequência.

A eficiência das máquinas e equipamentos no decorrer dos anos ficam cada vez melhores, ou seja, com o passar dos anos as indústrias que não acompanharem essas evoluções podem acabar pagando muito caro, caso a legislação aumente o valor aceitável do índice de fator de potência, o que tem-se mostrado uma tendência.

As informações e conceitos apresentados no trabalho permitem ao leitor adquirir maior conhecimento sobre a correção de fator de potência, notando quais são os passos a serem seguidos para realizar o dimensionamento de um banco de capacitores.

Por fim, tendo em vista a frequência de multas aplicadas pelas concessionárias aos consumidores, é interessante que os gestores das empresas voltem os seus olhares para o índice de fator de potência, realizando programas de análise da qualidade e do consumo da energia elétrica em suas empresas que estão ou serão conectadas a rede da distribuidora.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Nota Técnica nº 013/2011-SRE/ANEEL. Brasília, 24 jan. 2011. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/005/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_013-2011.pdf. Acesso em: 16/12/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Nota Técnica nº 0083/2012-SRD/ANEEL. Brasília, 12 jun. 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/documento/nota_tecnica_0083_daniel_dir.pdf. Acesso em: 4 15/12/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 414. Brasília, 9 set. 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>. Acesso em: 15/12/2021.

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

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

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. Fator de potência: A necessidade da correção (ART111). Disponível em: https://www.newtoncbraga.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=819:fato. Acesso em: 17/12/2021.

MAMEDE FILHO, João. Instalações Elétricas Industriais. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe. Eficiência dos sistemas elétricos industriais com aplicação de capacitores. [S. l.], 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308689791_EFICIENCIA_D_OS_SISTEMAS_ELETRICOS_INDUSTRIAIS_COM_APLICACAO_DE_CAPACITORES. Acesso em: 18/12/2021.

SILVA, Marcos César Isoni. Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFMG, Belo Horizonte, 2009.