



CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICA UTILIZANDO BANCO DE CAPACITORES

SANTOS JUNIOR; Amaury Fernandes Dos¹

CUNHA ; Pedro Augusto da²

ABREU, Adriano Bien de²

MONTEIRO, Jhonathan Everton³

RESUMO

Equipamentos elétricos de potência, como transformadores e motores elétricos de indução, são grandes responsáveis pelo consumo de quantidades significativas de energia elétrica. Este consumo pode ser dividido em dois: potência ativa e reativa. A somatória vetorial destas potências, resulta no que pode ser nomeada como potência total, também chamada de aparente. A partir da razão entre a potência ativa e a aparente, surge um termo chamado fator de potência, em que seus valores variam de 0 a 1, e quando mais próximo de 1, indica a melhor qualidade e eficiência da energia consumida, além de aumentar a durabilidade dos equipamentos. O valor mínimo regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é 0,92, e quando o fator de potência está mais baixo, acaba resultando em multa para a unidade consumidora. Uma das formas mais simples de corrigir o fator de potência, é através da instalação de bancos de capacitores. Nesse sentido, o trabalho tem por finalidade apresentar a viabilidade financeira da correção do fator de potência em motores trifásicos, tanto por meio da economia de energia, quanto por deixar de pagar a multa aplicada pela concessionária de energia, além de aumentar a eficiência energética destes motores. O trabalho possui seu método de pesquisa através de estudo de caso por meio da utilização de artigos, livros, monografias, periódicos, teses e navegação na internet, pesquisando trabalhos científicos que dissertam sobre o tema da correção do fator de potência. Utilizará como método de pesquisa o qualitativo, expondo a análise de conceitos e as ideias sobre a correção do fator de potência em motores de indução trifásica utilizando banco de capacitores. A coleta de informações para realização do trabalho ocorrerá por meio de pesquisa exploratória, através da avaliação de teorias e conceitos existentes. Estes dados serão utilizados para a fundamentação teórica do trabalho, auxiliando por meio de citações, exemplos e informações, abordando as consequências do baixo fator de potência e porque a unidade consumidora deve realizar a correção do fator de potência. Faz-se necessário, para ter-se o uso eficiente de energia, aprimorar as tecnologias para aumentar a eficiência energética em equipamentos que possuem alta potência, ou seja, que consome grande quantidade de energia elétrica, como por exemplo motores, transformadores, reatores de lâmpadas e outros equipamentos que possuem rolamentos. O equipamento escolhido neste trabalho para ser analisado a correção do fator de potência é o motor de indução trifásica, por ser o tipo de motor mais utilizado na indústria, e estar situado no setor responsável pelo consumo de 37,5% da energia elétrica consumida no Brasil. A partir das informações obtidas, conclui-se que este trabalho científico terá ótima viabilidade, tendo em vista que a correção do fator de potência é fundamental quando falamos em eficiência energética, pois contribui para que a eletricidade seja utilizada com um alto padrão de qualidade pelas unidades consumidoras, além de reduzir custos.

Palavras-chave: Engenharia Elétrica, Fator de Potência, Eficiência Energética

ABSTRACT

Electrical power equipment, such as transformers and induction electric motors, are largely responsible for the consumption of significant amounts of electricity. This consumption can be divided into two: active and reactive power. The vector sum of these powers results in what can be named as total power, also called apparent. From the ratio between active and apparent power, a term called power factor arises, in which its values range from 0 to 1, and when closer to 1, indicates the best quality and efficiency of the energy consumed, besides increasing the durability of the equipment. The minimum amount regulated by the National Electric Energy Agency (ANEEL) is 0.92, and when the power factor is lower, it ends up resulting in a fine for the consumer unit. One of the simplest ways to correct the

¹ Discente de Engenharia Elétrica da FAIP;

² Docente da FAIP;

³ Engenheiro Elétrico formado pela FAIP.

power factor is by installing capacitor banks. In this sense, the work aims to present the financial feasibility of correcting the power factor in three-phase engines, both through energy savings and by failing to pay the fine imposed by the power concessionaire, in addition to increasing the energy efficiency of these engines. The work has its research method through case study through the use of articles, books, monographs, journals, theses and internet navigation, researching scientific papers that are on the theme of power factor correction. It will use qualitative as a research method, exposing the analysis of concepts and ideas on the correction of the power factor in three-phase induction motors using capacitor bench. The collection of information to perform the work will take place through exploratory research, through the evaluation of existing theories and concepts. These data will be used for the theoretical basis of the work, assisting through citations, examples and information, addressing the consequences of the low power factor and because the consumer unit must perform the correction of the power factor. It is necessary, in order to have the efficient use of energy, improve technologies to increase energy efficiency in equipment that has high power, that is, that consumes a large amount of electricity, such as motors, transformers, lamp reactors and other equipment that have bearings. The equipment chosen in this work to analyze the correction of the power factor is the three-phase induction motor, because it is the most used type of engine in the industry, and is located in the sector responsible for the consumption of 37.5% of the electricity consumed in Brazil. From the information obtained, it is concluded that this scientific work will have great viability, considering that the correction of the power factor is fundamental when we talk about energy efficiency, because it contributes to the use of electricity with a high-quality standard by the consumer units, besides reducing costs.

Keywords: Electrical Engineering, Power Factor, Energy Efficiency.

1. INTRODUÇÃO

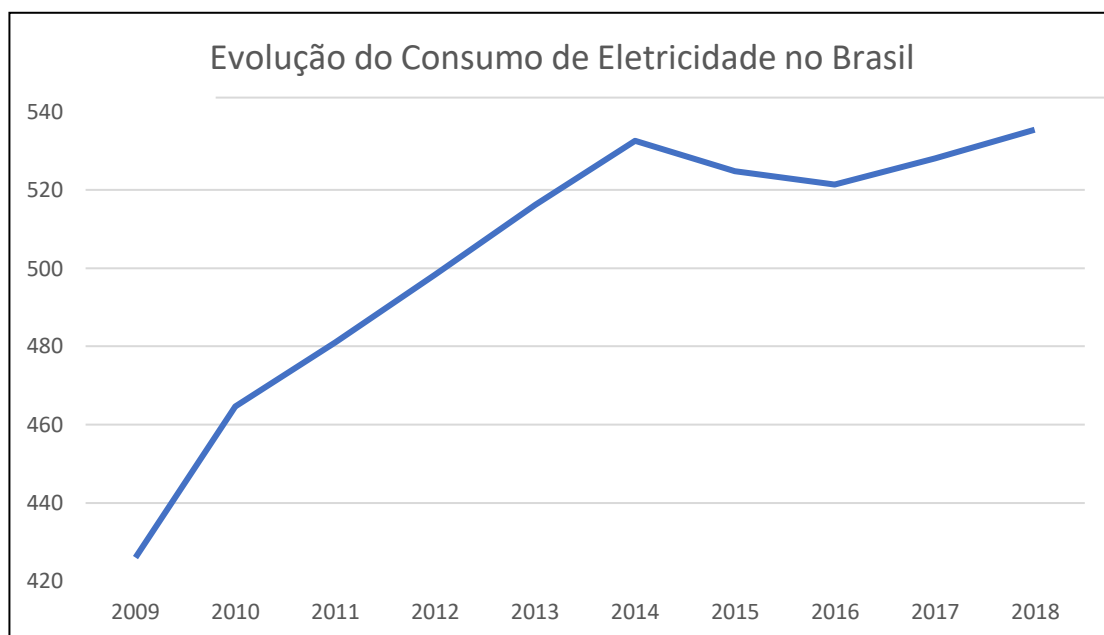
Com o passar dos anos, o homem cada vez mais é dependente da utilização da energia elétrica, que se tornou um bem necessário para toda a população, seja por objetos mais simples, como o relógio e a lâmpada, mas também por dispositivos mais complexos, como computadores, smartphones, motores e transformadores.

Segundo Walter (2010), a eletricidade foi descoberta por Thales de Mileto, em meados do século VI a.C., ao descobrir as propriedades do âmbar. Porém somente em 1833 deu-se início a utilização da energia elétrica pelo ser humano, através da comunicação, por meio da invenção do telegrafo.

Desde então, houve maior foco em construir equipamentos elétricos, onde surgiu o motor elétrico e o transformador em 1833, o telefone em 1875, a lâmpada incandescente em 1880, as primeiras usinas geradoras em corrente contínua em 1882, e finalmente em 1890 foram criadas as usinas geradoras trifásicas em corrente alternada, grandes responsáveis pela evolução no alcance da utilização da eletricidade, por ser a maneira mais eficiente de transmitir energia elétrica até as unidades consumidoras. (WALTER, 2010)

Daí por diante, a produção de equipamentos domésticos (geladeira, televisores, computadores, micro-ondas, ferros de passar) e equipamentos industriais (prensas, serras, tornos, CNCs, motores e transformadores), que demandam de energia elétrica aumenta rapidamente no mundo, e junto com o aumento no número de equipamentos que utilizam eletricidade, aumenta-se também o consumo de energia elétrica nos domicílios, empresas e comércio, e consequentemente, no sistema de distribuição de energia. (UFJF, 2013) Como retratado no gráfico abaixo

Gráfico 1: Evolução do consumo de eletricidade (2009-2018) em GWh



Apesar de haver diversos estudos ao redor do mundo com objetivo criar novas matrizes energéticas ou otimizar as utilizadas atualmente, o aumento do consumo de energia pode continuar acelerando, e resultar em problemas com a capacidade de geração.

Póvoa (2014) reitera que para solucionar o problema, as ações não se restringem ao aumento da geração de energia elétrica, através de usinas ou de importação de eletricidade de países vizinhos, pois essas soluções só visam a oferta. Observando a demanda, nota-se que há muito desperdício e uso ineficiente da energia elétrica.

A racionalização no consumo de energia elétrica é um tema global, e embora pesquisas para o desenvolvimento de novas matrizes energéticas estejam em fase bastante adiantada, a taxa de crescimento no consumo de energia elétrica supera a capacidade de ampliação dos atuais sistemas de geração. (ANDREOLI, 2005, p 31)

Faz-se necessário, para ter-se o uso eficiente de energia, aprimorar tecnologias para aumentar a eficiência energética em equipamentos que possuem alta potência, ou seja, que consome grande quantidade de energia elétrica, como por exemplo motores, transformadores, reatores de lâmpadas e outros equipamentos que possuem rolamentos. (COPEL, 2002)

Por isso, pode-se dizer que um dos temas mais importantes atualmente, no que se refere a área da eletricidade, é a eficiência energética, que pode ser definida como uma ação que busca aprimorar da melhor maneira possível, a forma de utilizar energia elétrica, tendo a menor quantidade possível de desperdícios, usando de métodos mais eficiente para obter os mesmos resultados, porém utilizando uma menor quantidade de energia elétrica.

O Brasil possui várias instituições que lidam regularmente com o tema da eficiência energética, tais como o Ministério de Minas e Energia – MME; a ELETROBRÁS, responsável pela execução do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL); a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, responsável pela execução do Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica – PEE; as próprias concessionárias distribuidoras; o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro,

responsável pela execução do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE; e algumas grandes empresas industriais, que possuem programas internos de conservação de energia. Há outras que lidam com o tema de forma transversal ou mesmo esporadicamente. (VIANA e colab., 2012, p 31)

Há diferentes formas de aumentar a eficiência energética de equipamentos, porém, o assunto abordado nesse trabalho de conclusão de curso é a correção do fator de potência, através da utilização de banco de capacitores, por ser uma forma simples e rentável.

A Correção do fator de potência através, principalmente, da instalação de capacitores tem sido alvo de muita atenção das áreas de projeto, manutenção e finanças de empresas interessadas em racionalizar o consumo de seus equipamentos elétricos. (WEG AUTOMACAO S.A, 2019, p 5)

O equipamento escolhido para ser analisado a correção do fator de potência é o motor de indução trifásica, por ser o tipo motor mais utilizado na indústria, setor responsável pelo consumo de 37,5% da energia elétrica consumida no Brasil.

Este trabalho também irá responder alguns questionamentos, como: É interessante ter o fator de potência corrigido? É rentável realizar a correção? O objetivo deste trabalho é apresentar a viabilidade financeira da correção do fator de potência em motores trifásicos, tanto por meio da economia de energia, quanto por deixar de pagar a multa aplicada pela concessionária de energia, além de aumentar a eficiência energética destes motores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho de conclusão de curso foi escrito através do estudo de caso sobre o tema correção do fator de potência em motores de indução trifásicos utilizando banco de capacitores. O levantamento teórico deste trabalho foi realizado através da utilização de artigos, livros, monografias, periódicos, teses e navegação na internet, que dissertam sobre o tema da correção do fator de potência.

Foi utilizado como método de pesquisa o qualitativo, expondo a análise de conceitos e as ideias sobre a correção do fator de potência em motores de indução trifásica utilizando banco de capacitores. E a coleta de informações para realização do trabalho ocorre por meio de pesquisa exploratória, através da avaliação de teorias e conceitos existentes.

Estes dados foram utilizados para a fundamentação teórica do trabalho, auxiliando por meio de citações, exemplos e informações, abordando e as consequências do baixo fator de potência e porque a unidade consumidora deve realizar a correção do fator de potência em determinada empresa.

MOTORES ELÉTRICOS

O motor elétrico de campo girante foi inventado por Nicola Tesla durante o período que

ocorreu entre 1882 e 1887, porém foi o motor criado entre 1888 e 1890 por Dolivo-Dobrovolsky, que mais se assemelha com os motores elétricos utilizados nos dias de hoje. Mais de um século depois, os motores elétricos ainda vêm sofrendo melhorias no seu desenvolvimento. (VIANA e colab., 2012)

Segundo Chapman (2013), o motor elétrico pode ser definido como um dispositivo que tem como função converter energia elétrica em energia mecânica. Essa conversão ocorre por meio da ação do campo eletromagnético, mediante os quais condutores energizados estabelecidos no campo magnético do motor, que ao serem atravessados pela corrente elétrica, produz uma força mecânica, denominada de torque, para realizar o movimento entre eles, e por fim, produzir a energia mecânica.

Há máquinas que existem em praticamente qualquer tipo de indústria: bombas para movimentação de líquidos, compressores e ventiladores para gases. Fábricas de alimentos e bebidas possuem bastante máquinas operatrizes, que movimentam e executam operações com latas, garrafas e outros objetos são geralmente motores pequenos, algumas vezes de construção específica para sua tarefa. A indústria têxtil também possui máquinas dedicadas, tanto para fiação como tecelagem, de tecnologia secular. Os setores de cimento, papel e celulose, químico, têm grande número de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos, agitadores, peneiras – há muitos motores grandes, mas com boa incidência de motores pequenos para os serviços auxiliares. Cerâmicas possuem grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras. Mineração, siderurgia e fabricação de metais em geral, além das bombas, compressores e ventiladores, têm também moinhos, transportadores em grande quantidade e máquinas específicas para atividades de laminação, por exemplo, para puxar, dobrar, cortar. (GARCIA, 2003, pág 47)

Os motores elétricos são divididos em duas categorias, sendo elas os motores de corrente contínua (CC) e os motores de corrente alternada (CA):

Figura 1 - Ilustrativo do motor corrente contínua e do motor corrente alternada.

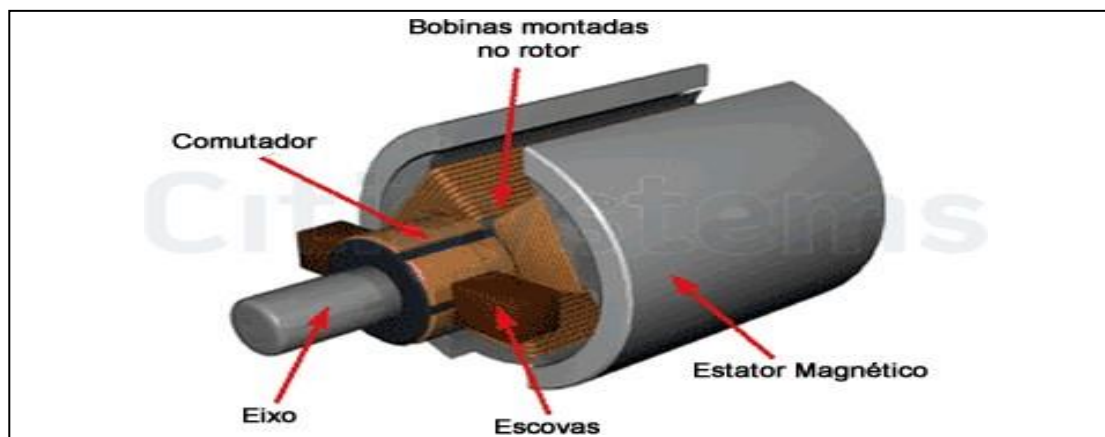


Fonte: Silveira, 2018

Os motores CC são compostos dos seguintes componentes: carcaça; bobina do rotor e estator; tampas; comutadores; escovas; mancais. Seu funcionamento ocorre a partir da

alimentação do enrolamento do rotor, onde a corrente entra e sai por meio de escovas de carvão. Esta corrente atravessa a bobina e o campo magnético presente no imã, onde é gerada a força que produz giro e torque para o eixo do motor. (FITZGERALD. e KINGSLEY., 2014)

Figura 2 - Motor de corrente contínua em partes.



Fonte: Silveira, 2018

Porem os motores CC possuem vários empecilhos, entre eles: são maiores e mais caros que os motores CA; necessitam de manutenção com mais frequência (devido comutadores e escovas); não podem ser instalados em regiões perigosas, pois produzem arcos voltaicos e faíscas. Além de que, para ligar um motor CC, é necessário ter um transformador, pois a distribuição de energia elétrica é feita em CA. (OLIVEIRA, 2009)

Já os motores CA podem ser divididos em dois tipos: síncrono e assíncrono. Os motores síncronos são aqueles que o rotor gira na mesma velocidade do campo girante, e os motores assíncronos são aqueles em que a velocidade do rotor é diferente da velocidade do campo girante. (AMARAL, 2014)

Além disso, motor CA leva vantagem em relação ao motor CC por ter maior confiabilidade, baixa manutenção, é mais robusto, maior eficiência, produz pouco ruído. Também não precisa de um transformador alimentá-lo, pois a distribuição de energia já é realizada em CA. (VIANA e colab., 2012)

TIPOS DE MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

Os motores de corrente alternada podem ser divididos de duas formas, no primeiro caso, os motores são divididos de acordo com a maneira em que será realizada sua alimentação, ou seja, monofásica ou trifásica. Além disso, eles também podem ser divididos em motores síncronos e motores assíncronos (comumente chamado de motor de indução), em que a principal diferença que pode ser observada entre esses dois motores está no rotor da máquina. (OLIVEIRA, 2009)

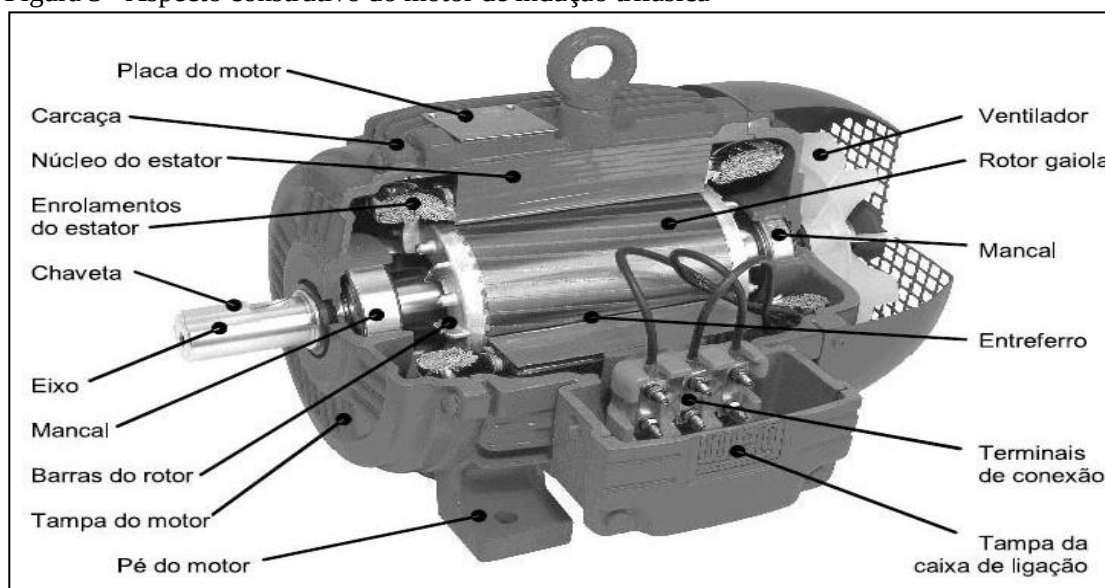
O motor síncrono é aquele que em condições de regime permanente possui seu rotor atuando em sincronia perfeita com o campo magnético girante gerado através da corrente alternada no enrolamento do estator, tendo como resultado um conjugado constante. (KOSOW, 1982)

Para um motor ter a velocidade de rotação em sincronia com a velocidade do campo girante, é necessário que o rotor do motor síncrono seja um eletroímã com polaridade fixa, produzindo um campo magnético constante, de forma que as variações do campo magnético do estator não interfira na sincronia. Este rotor é semelhante ao utilizado no motor em CC. (OLIVEIRA, 2009)

Os motores síncronos são utilizados com mais frequência em locais onde necessitam de alto rendimento, alto torque, velocidade constante e maior estabilidade na utilização com inversores de frequência, por isso, suas utilizações está presente no setor industrial, porém é visto mais regularmente em britadeiras, moinhos, bombas, compressores, refinadores, descascadores, ventiladores, extrusoras e misturadores; estando presente em diversas mineradoras, siderúrgicas, empresas de papel e celulose, química e petroquímica e borracha. (WEG AUTOMACAO, 2015)

Já o motor assíncrono, mais conhecido como motor de indução, pode ser identificado como aqueles motores que mais são utilizados na indústria. Eles são alimentados através do estator que induz o rotor, daí a designação de motores de indução. (AMARAL, 2014)

Figura 3 - Aspecto construtivo do motor de indução trifásica



Fonte: (ELETROBRAS / PROCEL EDUCAÇÃO, 2006)

No motor de indução, a alimentação de corrente alternada é direcionada diretamente no estator, à medida que o rotor recebe a corrente por indução a partir do estator. Então, quando a

excitação é realizada por uma fonte polifásica equilibrada, é gerado um campo magnético entreferro. Essa velocidade é estabelecida através da frequência aplicada e do número de polos do estator. (FITZGERALD. e KINGSLEY., 2014)

Nos motores de indução, como sempre há uma determinada carga (ainda que seja o próprio peso do rotor) os polos do rotor nunca se alinham aos polos do estator, resultando numa diferença entre a velocidade de giro do motor, e a do campo girante. Esta diferença entre as duas velocidades é chamada de escorregamento, e quanto mais resistente for a carga mecânica acionada, maior será o escorregamento. (OLIVEIRA, 2009)

Os motores assíncronos possuem excelentes características para atuar nas diferentes áreas da indústrias, por isso é utilizado como o “cavalo de força”: sua utilização é desde simples ventiladores, de cerca de 1,5kW, passando pelos motores dos veículos de tração, de aproximadamente 1250 kW, e também através de acionamento de grandes compressores utilizados principalmente na indústria química, que vão de 200 a 1800 kW, além do acionamento de máquinas de ferramentas, que partem de 4 a 30 kW. (GUEDES, 1994)

O FATOR DE POTÊNCIA

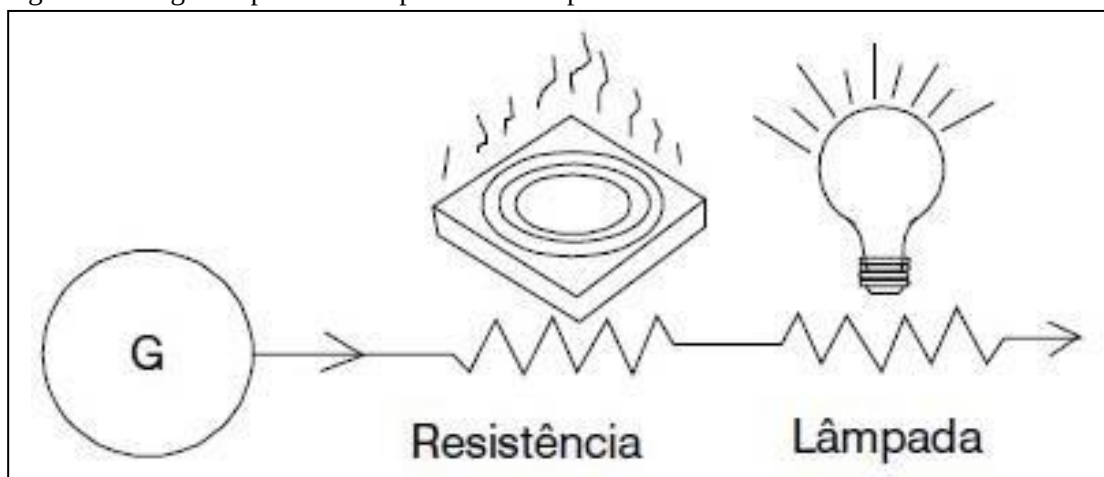
O fator de potência está presente em vários equipamentos elétricos, porém o dispositivo a ser estudado neste trabalho é o motor de indução trifásica, por estar presente em todas as empresas do ramo industrial, e por ser simples corrigir o fator de potência. (GUEDES, 1994)

O motor de indução trifásico é uma máquina com um princípio de funcionamento simples, com uma construção robusta, com pequena manutenção, e que devido à automação do seu processo de fabrico tem um preço pouco elevado. Como o progresso tecnológico permitiu o desenvolvimento de métodos de controle desta máquina elétrica, que, não sendo dissipativos de energia, contribuem para uma utilização racional da energia eléctrica, o domínio de aplicação do motor de indução trifásico tem vindo a alargar-se. (GUEDES, 1994, pág 1)

Para o funcionamento destes motores de indução, ocorrem o consumo de energia reativa indutiva, que carecem de campo elétrico e magnético para seu funcionamento, por isso são necessárias para sua operação, dois tipos de potência: a ativa e a reativa. (COPEL, 2002)

A potência ativa (P), cuja unidade de medida é definida em Watts (W) tem como função a real execução o trabalho, ou seja, ela é necessária realizar trabalho, através da geração de calor, luz, torque e movimento para determinado equipamento executar suas atividades diárias. (WEG AUTOMACAO S.A, 2019)

Figura 4 - Imagem representativa para ilustrar a potência ativa.



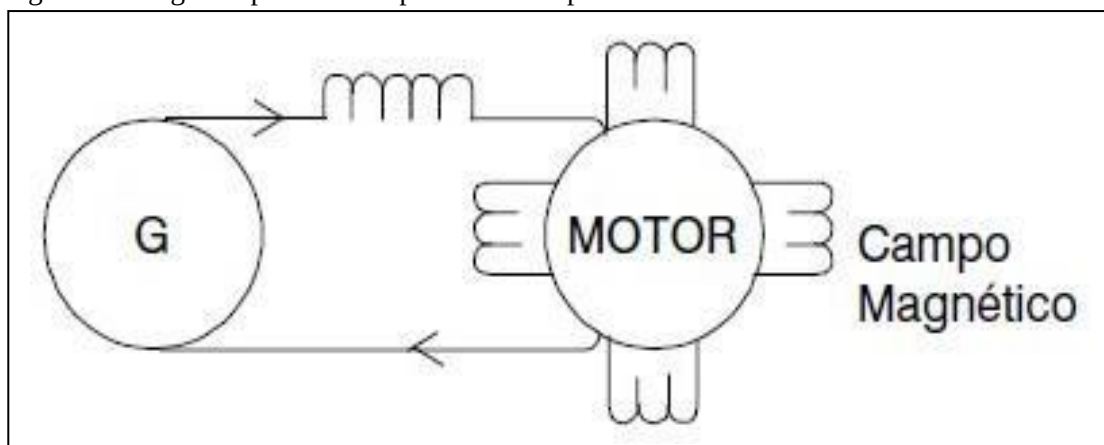
Fonte: Engeletrica, 2010

Seu valor é determinado a partir da multiplicação da tensão (V), da corrente (I) e do cosseno do ângulo φ (responsável por determinar a defasagem do ângulo entre a corrente e tensão), e se o cálculo for realizado através de um sistema trifásico de potência, é necessário adicionar-se $\sqrt{3}$ a multiplicação, como mostrado na equação abaixo: (SEGUNDO e RODRIGUES, 2015)

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi \quad [\text{Equação 1}]$$

Já a potência reativa (Q), cuja unidade de medida é definida em Volts-Amperes-Reativos (VAr) é responsável pela gerar e manter os campos elétricos e magnéticos nos enrolamentos das bobinas de motores, transformadores, reatores, lâmpadas fluorescentes, entre outros equipamentos elétricos. Para terem eficiência energética, os equipamentos precisam ter a menor quantidade possível de energia reativa. (WEG AUTOMACAO S.A, 2019)

Figura 5 - Imagem representativa para ilustrar a potência reativa.



Fonte: Engeletrica, 2010

O valor da potência reativa é determinado a partir da multiplicação da tensão (V), da corrente (I) e do seno do ângulo φ , e se o cálculo for através de um sistema trifásico de potência, é necessário adicionar-se $\sqrt{3}$ a multiplicação, como mostrado na equação indicada abaixo: (SEGUNDO e RODRIGUES, 2015)

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin \varphi \quad [\text{Equação 2}]$$

Além da potência ativa e da reativa, temos também a potência aparente (S), ou potência total, cuja unidade de medida é definida em Volts-Amperes (VA) essa potência é responsável por indicar a potência total consumida pelo equipamento. Ela é composta pela somatória vetorial da potência ativa junto com a potência reativa, ou também ela pode ser calculada através da multiplicação da tensão pela corrente, como mostrado nas equações a seguir: (SEGUNDO e RODRIGUES, 2015)

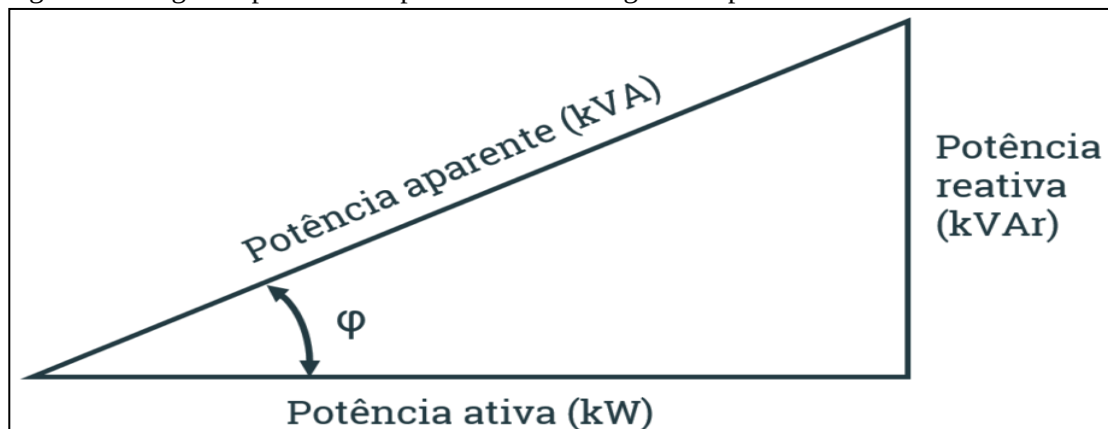
$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad [\text{Equação 3}]$$

$$S = \sqrt{3} * V * I \quad [\text{Equação 4}]$$

Por fim, através da razão entre a potência ativa e a aparente, obtém-se o valor do fator de potência (FP) do equipamento, que também pode ser encontrado através do cosseno do ângulo φ . (SEGUNDO e RODRIGUES, 2015)

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad [\text{Equação 5}]$$

Figura 6 - Imagem representativa para ilustrar o triângulo das potências.



Fonte: Viver de elétrica, 2020

O valor do fator de potência pode variar de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, melhor é o fator de potência, pois possui menos energia reativa presente no funcionamento do equipamento, e a potência aparente é quase toda formada por potência ativa. (DMSEG, 2016)

A ANEEL estabelece, através da Resolução Normativa nº 414 que:

Art. 95. “O fator de potência de referência “fR”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92.

Parágrafo único. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativos que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos arts. 96 e 97, a serem adicionadas ao faturamento regular de unidades consumidoras do grupo A, incluídas aquelas que optarem por faturamento com aplicação da tarifa do grupo B nos termos do art. 100.”(ANEEL, 2010, pág 96)

Portanto, é cobrado multa pela concessionária, para as unidades consumidoras presentes no grupo A (aquelas que possuem fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou que sejam atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária), que possuem consumo de potência reativa acima dos 8% permitido. (ANEEL, 2010)

Em ambos os sistemas tarifários, tanto Convencionais como Horo-Sazonal, o ajuste é cobrado quando o fator de potência da unidade consumidora no período de faturamento resulta inferior a 0,92 (zero vírgula noventa e dois). No caso da Tarifa Azul, o fator de potência é calculado separadamente para os dois segmentos, ponta e fora de ponta. (COPEL, 2018, pág 6)

O valor da multa (acréscimo por excedente reativo) a ser pago varia de acordo com o fator de potência da unidade consumidora, e pode ser calculada através da seguinte equação: (SIQUEIRA, 2020)

$$FP_{\text{empresa}} \quad \text{Acréscimo (Multa)} = \text{Valor da fatura} * \left(\frac{0,92}{\text{fator}} - 1 \right) \quad [\text{Equação 6}]$$

Portanto, pode-se dizer que um empresa que tenha seu fator de potência de 0,78, e levando em consideração a equação, pode-se dizer que o valor da multa aplicada pela concessionária de energia será de 18% do valor que consta na conta de energia da empresa.

CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Segundo Cagnon (2013), há vários equipamentos que podem levar ao baixo fator de potência numa determinada indústria, como a utilização de injetoras, fornos de indução ou a

arco, sistemas de solda, prensas, guindastes, pontes rolantes, bombas, compressores, ventiladores, tornos, retíficas, entre outros.

Diante disso, pode-se citar alguns fatores que causam este fenômeno, como a utilização de motores e transformadores funcionando “em vazio”, pois assim a quantidade de energia ativa diminui, por não realizarem trabalho, porém a energia reativa ainda é necessária para produzir o campo eletromagnético, fazendo com que o fator de potência diminua. Outro fator determinante é a utilização de motores e transformadores superdimensionados, em que este caso é análogo ao anterior, pois quando os equipamentos tem mais potência do que a necessária para realizar trabalho, a potência ativa diminuirá, porém a potência reativa continuará sendo utilizada, fazendo com que o fator de potência também diminua. Além disso, a utilização de lâmpadas que necessitam de reatores também influencia no fator de potência, pois estes reatores, como os motores e transformadores citados acima, possuem enrolamentos ou bobinas, responsáveis pelo consumo energia reativa, fazendo com que se resulte em um baixo fator de potência. (IFSC, 2017)

Além de ser multado na conta de energia elétrica pela concessionária e ter aumento no consumo, o baixo fator também pode diversas consequências nas empresas, trazendo danos para equipamentos e dispositivo.

Podemos citar como consequências do baixo fator de potência, o aumento das perdas através do efeito joule ocorre devido ao excesso de energia reativa sendo consumida, que consequentemente aumenta a corrente e a temperatura dos condutores. Esse aumento de corrente resulta na queda dos níveis de tensão nos circuitos de distribuição, podendo resultar na sobrecarga em alguns elementos da rede, além de causar interrupções no fornecimento de energia. Outro problema comum é a sobrecarga nos equipamentos de manobra, onde ocorre o aumento da corrente, que pode causar sobrecarga, podendo ocorrer disparos indesejados de fusíveis e disjuntores, e até a queima. Por fim, o baixo fator de potência também causa redução do aproveitamento dos transformadores, pois ele precisará suprir à quantidade de potência total dos equipamentos instalados, e quanto maior a energia reativa presente na rede elétrica, menor será a capacidade disponível do transformador para utilizar com energia ativa, sendo necessário investir na instalação de um transformador adicional, ou realizar a substituição do mesmo. (ENGELETRICA, 2011)

Segundo Reis e Kikuchi (2015, pág 17): “A primeira providência para corrigir o baixo fator de potência é a análise das causas que levam à utilização excessiva de energia reativa. A eliminação dessas causas passa pela racionalização do uso de equipamentos – desligar motores em vazio, redimensionar equipamentos superdimensionados, redistribuir cargas pelos diversos

circuitos, etc. – e pode, eventualmente, ajudar a solucionar o problema de excesso de reativo nas instalações.”

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar o cálculo do banco de capacitores necessários para corrigir o fator de potência de um motor trifásico, são necessários os valores da potência total (P) e o rendimento do motor (η). Logo após, calcula-se o valor da demanda do motor em kW (Dm), como mostrado na equação 7: (FERGÜTZ, 2016)

$$Dm = \frac{P}{\eta} \quad \text{-- [Equação 7]}$$

Foi usado para meio de estudo deste trabalho, um motor trifásico W22 da empresa WEG, muito utilizado na indústria, este motor está alimentado com tensão de 220V, e possui corrente no valor de 35,63A. Além disso, possui potência ativa de 15cv, ou 11kW, e está funcionando com 75% de sua capacidade total, o que por consequência resulta num fator de potência atual de 0,81 ($\varphi = 35,9^\circ$).

A partir das informações acima, por meios dos cálculos realizados utilizando a equação 4, foi possível encontrar o valor da potência total consumida pelo motor trifásico, como mostrado abaixo:

$$S = \sqrt{3} * V * I \Rightarrow \sqrt{3} * 220 * 35,63 \Rightarrow \mathbf{13,57 \text{ kVA}}$$

Encontrado o valor da potência total consumida pelo motor, e sabendo que este trabalha 12 horas por dia, 7 dias por semana, foi possível calcular o valor gasto de energia elétrica com este motor, levando em conta que o custo aproximado R\$0,49 por kW/h para a indústria no horário fora ponta.

$$\text{Consumo} = S * \text{horas} * \text{dias} * \text{custo} \quad \text{[Equação 9]}$$

$$\text{Consumo} = 13,57 * 12 * 30 * 0,49 \Rightarrow \mathbf{R\$ 2393,75 \text{ por mês}}$$

Além disso, é possível calcular, por meio da equação 6, o valor pago pelo acréscimo por excedente reativo, como exposto abaixo:

$$\text{Acréscimo (Multa)} = \text{Valor da fatura} * \left(\frac{0,92}{FP_{\text{empresa}}} - 1 \right) \Rightarrow 2393,75 * \left(\frac{0,92}{0,81} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow \text{R\$ } 325,07$$

$$\text{Valor total a ser pago} = \text{valor do consumo} + \text{acrescimo} \Rightarrow 2393,75 + 325,07$$

$$\Rightarrow \text{R\$ } 2718,80$$

Portanto, o valor total pago no fim do mês, para este motor trifásico de 15cv operar com fator de potência de 0,81 somando o consumo com o acréscimo por excedente reativo, é de R\$ 2718,80.

Logo após, utilizando a equação 2, foi possível encontrar o valor da potência reativa atual consumida pelo motor, como mostrado abaixo:

$$Q = \sqrt{3} * V * \bar{I} * \sin \varphi \Rightarrow \sqrt{3} * 220 * 35,63 * \sin 35,9^\circ \Rightarrow 7,96 \text{ kVAr}$$

Neste caso, deseja-se realizar a correção para ter o fator de potência final igual a 0,95 ($\varphi = 23,07^\circ$). A partir dos valores obtidos, podemos calcular a demanda do motor em kW, através da utilização da equação 6:

$$\frac{P}{Dm} = \frac{1}{\eta} \Rightarrow \frac{11000W}{0,905} \Rightarrow 12154W \Rightarrow 12,15 \text{ kW}$$

Calculado a demanda de energia do motor, é necessário encontrar o fator de multiplicação (FM), situado na tabela representada através da figura 9. Para obter o valor desejado, deve-se encontrar a linha que representa o fator de potência atual, e encontrar uma coluna que representa o fator de potência desejado, para assim, obter o valor do fator multiplicador.

Tabela 1 – Tabela ilustrativa para encontrar o 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										0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.439	0.582	
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: ENGELETRICA, 2010

Através da utilização da figura 9, encontrou-se o valor do fator de multiplicação de 0,395, analisando a linha que possui o valor do fator de potência igual a 0,81 e a coluna em que está localizado o fator de potência desejado igual a 0,95.

Encontrado o fator multiplicador (FM), deve-se multiplica-lo com a demanda do motor, para encontrar a quantidade de energia reativa (Qc) que deve ser adicionada por meio do banco de capacitores, para aumentar o valor do fator de potência até o valor desejado, como mostrado na equação abaixo: (FERGÜTZ, 2016)

$$Q_c = FM * Dm \text{ [kVAr]} \quad \text{[Equação 8]}$$

$$Q_c = FM * Dm \Rightarrow 0,395 * 12,15 \Rightarrow \mathbf{4,79 \text{ kVAr}}$$

O resultado obtido será o valor total em KVar do banco de capacitores que deve ser instalado em paralelo com o motor para realizar a correção do fator de potência para o valor planejado.

Este banco de capacitores fixo faz com que a reatância capacitiva presente anule parte da reatância indutiva presente no motor, fazendo com que o fator de potência aumente para o valor ideal.

Depois de corrigido o fator de potência, a potência reativa diminuirá, e consequentemente, também diminuirá a potência aparente e a corrente consumida pelo motor, e por consequência, acarreta na economia na conta de energia, como é possível visualizar utilizando as equações 5, 4, 2 e 8:

$$S = \frac{P}{FP} \Rightarrow \frac{11000}{0,92} \Rightarrow \mathbf{11,95 \text{ kVA}}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V} \Rightarrow \frac{11950}{\sqrt{3} * 220} \Rightarrow \mathbf{31,36 \text{ A}}$$

$$Q = \sqrt{3} * V * \bar{I} * \sin \varphi \Rightarrow \sqrt{3} * 220 * 31,36 * \sin 23,07 \Rightarrow \mathbf{4,68 \text{ kVAr}}$$

$$Consumo = S * horas * dias * custo \Rightarrow 11,95 * 12 * 30 * 0,49 \Rightarrow \mathbf{R\$ 2107,98}$$

Assim, constata-se que a partir da correção do fator de potência, diminuiu-se de 13,57kVA para 11,95kVA, ou seja, uma redução de 12% na potência total consumida. Também houve queda de 12% na corrente consumida do motor, partindo de 35,63A para 31,36A. Já a potência reativa, foi reduzida de 7,96kVAr para 4,68kVAr, representando queda de 40% no consumo.

Arelado ao que foi dito no parágrafo anterior, houve uma queda no valor de R\$ 610,83, representando economia de 22,47% na conta de energia. Este valor, no final de um ano, gera uma economia de R\$ 7329,96. Além disso, o valor investido é mínimo, tendo em vista que um

capacitor com valor próximo a este (Capacitor WEG Trifásico 220V 5kVAr) custa em média R\$ 215,00.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da fundamentação teórica e do estudo de caso presente neste trabalho, é possível concluir o quanto é extremamente interessante realizar a correção do fator de potência em motores de indução trifásica utilizando banco de capacitores, pois além de ser uma maneira simples de aumentar a eficiência energética do motor, ele também diminui as perdas por efeito joule.

Além disso, a correção do fator de potência só trará benefícios a empresa, tendo em vista que após a correção, haverá queda significativa na potência e na corrente produzida pelo motor, aliviando condutores e dispositivos de manobra, e por fim, esta redução do consumo possibilita a redução do valor da conta de energia elétrica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Bruno Anibal Moura. **Diagnóstico de avarias em motores elétricos**. 2014. 151 f. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.

ANDREOLI, André Luiz. **Controlador de demanda e fator de potência de baixo custo para unidades consumidoras de energia elétrica**. Bauru-SP, Projeto de Graduação, 2005.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 414**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf> %3E.>. Acesso em: 19 jul 2020.

BEN. **Balanço energético nacional: Ano base 2018**. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN 2019 Completo WEB.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf)>. Acesso em: 26 jul 2020.

CAGNON, José Angelo. **Capítulo 6 - Correção do Fator de Potência em Sistemas Industriais**. . [S.l.]: UNESP. , 2013

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5ª Edição ed. Porto Alegre: [s.n.], 2013. v. 42.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Fator De Potência**. Inep-Ufsc. [S.l: s.n.]. , 2002

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Manual de eficiência energética na indústria.** Manual de eficiência energética na indústria, 2018.

DMSEG. **Entendendo e corrigindo o fator de potência.** Disponível em: <<https://www.dmesg.com.br/fator-de-potencia/>>. Acesso em: 12 out 2020.

ELETROBRAS / PROCEL EDUCAÇÃO. **Conservação de Energia - Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações.** 3a. ed. Itajubá: [s.n.], 2006.

ENGELETRICA. **Manual de Correção do Fator de Potencia.** Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. Acesso em: 13 out 2020.

ENGELETRICA, 2010. **Correcao do Fator de Potencia.** Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/correcao-fator-de-potencia-fator-de-potencia.htm>>. Acesso em: 15 jul 2020.

FERGÜTZ, Marcos. **Correção do fator de potência.** UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina, p. 4–6, 2016.

FITZGERALD, e KINGSLEY. **Máquinas Elétricas.** 7ª ed. Porto Alegre: [s.n.], 2014.

GARCIA, Agenor Gomes Pinto. **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria.** COPPE UFRJ, M. Sc., Planejamento Energético–Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

GUEDES, Manuel Vaz. **O motor de indução trifásico.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. **AULA 12 - Circuitos 2 - Engenharia.** Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_12_-_Circuitos_2_-_Engenharia#Motores_e_transformadores_operando_.E2.80.9Cem_vazio.E2.80.9D_ou_com_pequenas_cargas>. Acesso em: 12 out 2020.

KOSOW, Irving. **Máquinas Elétricas e Transformadores.** 1ª ed. Porto Alegre: [s.n.], 1982.

OLIVEIRA, JGSM. **Materiais usados na construção de motores elétricos.** Seminário Técnico, PUCRS, 2009.

PÓVOA, Marcos Cortez Brito Leite. **Fatores De Influência Na Eficiência Energética.** Rio de Janeiro-RJ. Projeto de graduação, 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/8465395-Universidade-federal-do-rio-de-janeiro-fatores-de-influencia-na-eficiencia-energetica-marcos-cortez-brito-leite-povoa.html>>. Acesso em 17 out 2020.

REIS, Júlio César Silva Dos e KIKUCHI, George Tsuruji. **Banco de capacitores para correção de fator de potência em indústria.** Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FEAU), p. 44, 2015.

SEGUNDO, Alan Kardek Rêgo e RODRIGUES, Cristiano Lúcio Cardoso. **Eleticidade em CA.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, 2015.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Citisystems**. Disponível em:
<<https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>>. Acesso em: 29 ago 2020.

SIQUEIRA, Cintia De. **A conta de luz está alta? Sua indústria pode estar pagando muita por baixo fator potência. Saiba identificar o problema, conheça as causas e soluções!** Disponível em: <<https://omsengenharia.com.br/blog/baixo-fator-de-potencia/>>. Acesso em: 12 out 2020.

UFJF - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Corrente Elétrica e Transformação de Energia**. Disponível em:
<<https://www.ufjf.br/fisicaecidadania/aprendendo-e-ensinando/faca-voce-mesmo/corrente-eletrica-roteiro/>>. Acesso em: 27 out 2020.

VIANA, A. N. C.; e colab. **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. Universidade Federal de Itajubá - Campinas-SP, 2012.

VIVER DE ELÉTRICA. **Triângulo de Potências Usado em Fator de Potência**. Disponível em: <<https://www.viverdeeletrica.com/fator-de-potencia/triangulo-de-potencias-usado-em-fator-de-potencia/>>. Acesso em: 16 jul 2020.

WALTER, Osvaldo Luiz. **Historia da eletricidade 1**. Disponível em:
<<http://www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento/iee/1HistoriaEletricidade.pdf>>. Acesso em: 8 jul 2020.

WEG AUTOMACAO S.A. **Manual para Correção do Fator de Potência**. Disponível em: <<https://pt2.slideshare.net/claudioarkan/apostila-para-a-correcao-do-fator-de-potencia>>. Acesso em: 15 jul 2020.

WEG AUTOMACAO S.A. **Motores Síncronos**. Disponível em:
<http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/029001.pdf>. Acesso em: 30 ago 2020.