

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA
MARCELO PAULO RINALDI

**ESTUDO DE CASO DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA
EM INDÚSTRIAS DE BAIXA TENSÃO**

LAGES
2018

MARCELO PAULO RINALDI

**ESTUDO DE CASO DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA
EM INDÚSTRIAS DE BAIXA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Msc. Prof. Silvio Moraes de Oliveira

LAGES
2018

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Marcelo Paulo Rinaldi

NOME DO ALUNO

Estudo de Caso de Correção de
Fator de Potência em Indústrias de Baixa
Tensão

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Msc Silvio Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Orientador(a)

Mestre Nathiele W. Branco

Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá

Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 10 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me fornecer energia e sabedoria para superar meus obstáculos.

Aos meus pais, Iraci e Evelio, pelo incentivo e apoio constantes.

Aos meus familiares e amigos que me auxiliaram perante minhas dificuldades.

Ao meu orientador, Silvio Moraes de Oliveira, que realizou o suporte técnico para nortear e realizar com sucesso o intuito deste trabalho.

A minha coordenadora, Franciéli Lima de Sá, que demonstrou sempre empenho e dedicação em suas atividades.

Ao corpo docente deste centro universitário, onde demonstraram capacidade e confiança durante seus trabalhos regentes.

A todos os citados, o meu muito obrigado, que Deus lhes recompense.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar avaliação técnica sobre a importância da instalação de bancos de capacitores para correção do fator de potência em uma indústria na sua distribuição de energia em baixa tensão de forma correta, dentro das normas técnicas e de segurança, permitindo assim fluir uma energia mais limpa nos circuitos elétricos, não sobrecarregando as redes e equipamentos de proteção e alimentação e sobretudo prevenindo possíveis multas decorrentes das empresas fornecedoras de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de Potência. Normatização. Aplicação Industrial.

ABSTRACT

This work has as objective accomplishes technical evaluation on the importance of the installation of banks of capacitors for correction of the potency factor in an industry in his/her distribution of energy in low tension in a correct way, inside of the technical norms and of safety, allowing like this a cleaner energy to flow in the electric circuits, not overloading the nets and protection equipments and feeding and above all preventing possible current fines of the supplying companies of electric power.

KEYWORDS: Power Factor. Viability Industrial application.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos.....	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
1.2. Justificativa.....	14
1.3. Problema.....	15
2. METODOLOGIA.....	16
2.1. Abordagem - Pesquisa Quantitativa	16
2.2. Quanto à natureza - Pesquisa Aplicada	16
2.3. Quanto aos objetivos	16
2.3.1. Pesquisa Descritiva.....	16
2.3.2. Pesquisa Exploratória	17
2.4. Quanto aos procedimentos.....	17
2.4.1. Pesquisa Bibliográfica	17
2.4.2. Pesquisa Documental.....	18
3. HISTÓRICO E LEGISLAÇÃO.....	19
3.1. Histórico da legislação do Fator de Potência.....	19
3.2. Grupos e modalidades tarifárias	19
3.3. Legislação em vigor sobre Fator de Potência.....	21
4. FATOR DE POTÊNCIA.....	22
4.1. Potências elétricas.....	22
4.2. Motivos pelo baixo Fator de Potência	25
4.2.1. Considerações Gerais	25
4.2.2. Motores de Indução	25
4.2.3. Transformadores.....	26
4.2.4. Tensão acima da nominal	26
4.3. Necessidade da correção.....	26
4.3.1. Considerações Gerais	26
4.3.1. Cálculo do Faturamento de Energia Reativa Excedente	28
4.3.1.1 Método de Avaliação Horária do Fator de Potência.....	28
4.3.1.2. Método de Avaliação Mensal do Fator de Potência	29
5. CAPACITORES	30

5.1. Potência nominal	30
5.2. Banco de capacitores	31
5.3. Conexão dos capacitores	31
5.4. Tipos de banco de capacitores	32
5.4.1. Banco de Capacitores Fixo	32
5.4.2. Banco de Capacitores Programável	32
5.4.3. Banco de Capacitores Automático	33
5.5. Localização dos capacitores e formas de injeção de reativos.....	33
5.6. Métodos de ligação dos capacitores à rede trifásica.....	34
5.7. Principais Origens de Riscos ao Banco de Capacitores	36
5.7.1. Origem das Distorções Harmônicas	36
5.7.1.2. Efeitos das Distorções das Formas de Onda.....	36
5.7.2. Tensão nos Capacitores	37
5.7.3. Limitações da Unidade Capacitiva	38
5.8. Principais proteções de um banco de capacitores.....	38
5.9. Correção do Fator de Potência em indústrias de baixa tensão.....	39
5.10. Levantamento de dados	40
5.10.1. Indústrias em Operação	40
5.10.2. Indústria em Projeto.....	41
6. ESTUDO DE CASO - COOPERPASSO.....	43
6.1. Dados da empresa.....	43
6.2. Levantamento de dados	44
6.2.1 Dados Técnicos do Transformador de Entrada	44
6.2.2. Dados Técnicos dos Motores de Indução	46
6.3. Cálculos do projeto.....	48
6.3.1. Cálculo do fator de potência da instalação	48
6.3.2. Cálculo do fator de potência da instalação no transformador	48
6.3.3. Determinação do banco de capacitores	50
6.3. Dimensionamento dos equipamentos	54
6.3.1. Dimensionamento das Capacitâncias	54
6.3.2. Dimensionamento das Chaves Seccionadoras.....	54
6.3.3. Dimensionamento dos Fusíveis	56
6.3.4. Dimensionamento dos Contatores	57
6.3.5. Dimensionamento dos Condutores de Alimentação.....	58

6.4. Análise da instalação atual	59
6.4.1. Irregularidades nas Instalações Elétricas	59
6.5.2. Propostas de Adequações da Instalação	63
6.5.2.1. Reator de Dessintonia Bloqueador de Harmônicas	63
6.5.2.2. Relé Numérico	65
6.5.2.3. Contatores Específicos para Manobra de Capacitores	66
6.5.2.4. Proteção contra surto de tensão	67
7. RESULTADOS FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação geométrica dos vetores de potências.	25
Figura 2: Configuração estrela de ligação dos capacitores.....	35
Figura 3: Configuração triângulo de ligação dos capacitores.....	35
Figura 4: Fator multiplicador para correção do Fator de Potência.	50
Figura 5: Contator utilizado atualmente.	59
Figura 6: Disjuntores de proteção individual de capacitores.....	60
Figura 7: Disjuntor de proteção sem fixação adequada.....	61
Figura 8: Materiais inapropriados dentro do painel elétrico.....	61
Figura 9: Material condutor elétrico inapropriado dentro do painel elétrico.	62
Figura 10: Regiões energizadas sem proteção contra choques elétricos.	62
Figura 11: Exposição de barramentos energizados.	63
Figura 12: Reator de Dessintonia Bloqueador de Harmônicas.....	64
Figura 13: Relé Numérico.	65
Figura 14: Contator com pré-carga.....	66
Figura 15: Corrente sem pré-carga x Corrente com pré-carga.	67
Figura 16: Modelos de DPS.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos consumidores de energia elétrica.....	20
Quadro 2: Dados para projeto de banco de capacitores.....	30
Quadro 3: Máxima potência de capacitores em compensação individual.....	34
Quadro 4: Limites de tensão do dielétrico do capacitor.....	37
Quadro 5: Tensão e tempo máximo admissíveis.....	40
Quadro 6: Dados técnicos do transformador de entrada.....	44
Quadro 7: Relação Carga X Rendimento do transformador.....	46
Quadro 8: Razão da Potência Ativa Consumida X Carregamento do transformador.....	46
Quadro 9: Relação de dados da carga (motores).....	47
Quadro 10: Comparação de valores entre carga e carga + transformador.....	50
Quadro 11: Horário de Atividades das Cargas.....	52
Quadro 12: Discriminação dos capacitores instalados.....	54
Quadro 13: Discriminação da corrente elétrica de cada capacitor.....	56
Quadro 14: Relação de Valores comerciais de correntes de fusíveis.....	57
Quadro 15: Discriminação da corrente dos fusíveis.....	57
Quadro 16: Discriminação das correntes nos contatores.....	58
Quadro 17: Discriminação das correntes nos cabos.....	58
Quadro 18: Orçamento de Reatores de Dessintonia.....	64
Quadro 19: Orçamento de Relé de sobrecorrente.....	65
Quadro 20: Orçamento de Capacitores de manobra de capacitor.....	67
Quadro 21: Orçamento de DPS.....	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FP: Fator de Potência

DNAEE: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

kV: quilo volt

V_n: Valor máximo de tensão

I_n: Valor máximo de corrente

V: Valor eficaz de tensão

I: Valor eficaz de corrente

P_{ativa}: potência ativa

\overline{S} : Potência aparente

Q: Potência reativa

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

mm²: milímetro quadrado

F_{drp}: Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário

F_{erp}: Faturamento de consumo de energia reativa excedente por posto tarifário

Dat: Demanda de potência ativa medida em cada intervalo de 1 hora

D_{fp}: Demanda de potência ativa faturada em cada posto tarifário

Teap: Tarifa de demanda de potência ativa, por posto tarifário

Cat: Consumo de energia ativa medido em cada intervalo de 1 hora

Tdap: Tarifa de energia ativa, por posto tarifário

t: intervalo de 1 hora

n: Número de intervalos de 1 hora por posto tarifário no período de faturamento

p: Posto tarifário – ponte e fora de ponta para as tarifas horossazonais

E_{rt}, E_{at}: Energias medidas a cada intervalo de 1 hora

F_{dr}: Faturamento da demanda de potência reativa excedente

F_{er}: Faturamento de consumo de energia reativa excedente

D_{am}: Demanda de potência ativa máxima registrada no mês

D_f: Demanda de potência ativa faturada no mês

T_{da}: Tarifa de demanda de potência ativa fora de ponta-horária azul

C_{am}: Consumo de energia ativa medido no mês

C_{rm}: Consumo de energia reativa medido no mês

T_{ea}: Tarifa de energia ativa (TE) para o subgrupo B1

Fp: Fator de potência médio mensal
Qc: Potência nominal do capacitor
f: Frequência do sistema
Vn: Tensão nominal
C: Capacitância
CV: Cavalo
RPM: Rotações por minuto
 π : Pi, com valor aproximado de 3,14
V_c: Tensão sobre os terminais do capacitor
V_{rede}: Tensão da rede de alimentação
FDS: Fator de dessintonia
IEEE: Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
 $\Delta V\%$: Porcentagem da mudança de tensão;
kVA(Trafo): Potência aparente do transformador;
Kvar(cap): Potência reativa do banco de capacitores;
Z_{trafo}(%): Impedância percentual do transformador.
kvar (gerador): Potência reativa do gerador;
V: Tensão do banco de capacitores;
NBR: Norma Brasileira
ONAN: Óleo Natural, Ar Natural
AT: Alta tensão
BT: Baixa tensão
 μF : micro Faraday
I_{CONTATOR} Corrente contator
Q_{CAP}: Carga capacitor
I_{CAP}: Corrente capacitor
DPS: Dispositivo de Proteção Contra Surtos

1. INTRODUÇÃO

Um assunto relevante no setor elétrico industrial, é a correção do fator de potência (FP). Item com crescente abordagem por consequência do relevante desenvolvimento do setor fabril, traz como objetivo obter-se um melhor resultado econômico. Um FP inadequado prejudica tanto as instalações internas quanto as externas da empresa/indústria, acarretando prejuízos nos setores econômicos e ambientais.

Nas redes de energia elétrica temos a grandeza de potência elétrica que por sua vez é dividida em três subgrupos: potência ativa, potência aparente e potência reativa.

Há uma variação dos valores destas potências conforme a máquina elétrica conectada à rede, equipamentos que utilizam muito da indução elétrica geram um aumento do valor da potência reativa. Este fenômeno faz com que haja um atraso da senoide de corrente em relação à senoide da tensão, diminuindo o valor do FP.

A relação que nos mostra o valor do FP é adquirida através da potência ativa sobre a potência aparente, ou seja, seria a divisão entre a potência que gera trabalho e da potência total.

A intenção deste trabalho será analisar e demonstrar tecnicamente, a compensação e possíveis adequações de uma instalação elétrica de uma indústria com o FP projetado, mas que não houve redimensionamento quando feito novas implantações de equipamentos no setor fabril, ressaltando os resultados obtidos como o investimento para a adaptação, possíveis multas recorrentes, entre outros fatores.

Muito utilizados nas indústrias, os motores de indução elétrica são os principais equipamentos consumidores de potência reativa, onde para seu funcionamento é baseado na transformação de energia elétrica em magnética, fator capital.

Esta potência transmitida na rede, sobrecarrega transformadores e cabos elétricos, provoca redução da tensão nominal, ou seja, a potência reativa provoca diversos efeitos indesejáveis à rede elétrica em geral.

Para que haja uma redução desta potência, há a implantação de equipamentos que fazem o efeito contrário, atrasam a senoide da tensão, compensando o atraso da senoide da corrente. Estes dispositivos são chamados de capacitores.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar economicamente e tecnicamente a adequação às normas técnicas das instalações de bancos de capacitores no setor de baixa tensão de uma indústria específica, tendo como consequência um aumento na segurança da instalação e redução de problemas neste tipo de equipamento, evitando também multas decorrentes da empresa fornecedora de energia devido ao valor inadequado da potência reativa consumida.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Levantar a relação de cargas da instalação elétrica;
- Verificar a relação de equipamentos de alimentação da instalação;
- Conferir o FP atual da instalação elétrica;
- Discriminar a melhor configuração de correção do FP;
- Aplicar normas regentes da área de banco de capacitores;
- Analisar tecnicamente as instalações empregadas.
- Levantar custos para aprimorar a instalação.

1.2. Justificativa

Com as inovações tecnológicas e crescimento vertical das indústrias em todo o mundo, veio do mesmo modo o crescimento do consumo de energia elétrica e seus consequentes problemas. Os motores elétricos de indução, refrigeradores, transformadores, fornos a arco, reatores e eletrodomésticos em geral (equipamentos basicamente construídos a partir de indutores) além de absorver a energia ativa da rede elétrica, consomem também a energia reativa, componente do sistema elétrico que implica no aumento da corrente elétrica e por consequência aumentando as perdas no sistema.

Esse quesito é um problema para ambas as partes, consumidor e fornecedor de energia, onde o consumidor paga por ela, caso ela ultrapasse o limite de FP mínimo de 0,92, sendo que a energia reativa não é utilizada para realizar trabalhos úteis na indústria, sobrecarregando equipamentos de alimentação. Para a concessionária, há uma corrente elétrica maior indesejada em seus circuitos, ocasionando sobrecarga nas redes, maiores perdas e reduzindo a capacidade de distribuição de potência ativa.

Para garantir uma boa qualidade de energia, menores custos e maior segurança às instalações, se faz necessário realizar análises técnicas nos equipamentos de correção do FP, reajustando indispensavelmente condições indesejadas de trabalho.

1.3. Problema

Um dos grandes problemas das redes elétricas é a potência reativa passando pelos circuitos. Neste tipo de ocorrência fora do limite regulamentado, provoca-se diversos sobrecarregamentos e conseqüentemente aumento das perdas no sistema de transmissão/distribuição.

Como consequência destes agravos, seu circuito trabalhará nos seus limites de capacidade ou acima, onde suas cargas poderão ser atingidas por tensões muito baixas, conseqüentemente alterará o funcionamento dos equipamentos dos consumidores fora de suas condições nominais.

Além de todos estes quesitos, a parte financeira também é atingida diretamente, onde implica-se em multas da concessionária decorrentes aos valores atípicos de potência reativa consumida.

Para que não haja excedentes na fatura de energia, são verificados simultaneamente os valores de potência reativa e ativa dentro da unidade consumidora, tendo a relação destas, encontra-se o chamado Fator de Potência, tendo como ideais valores entre 0,92 a 1,0.

A instalação elétrica que atende as normas técnicas, representa um fator com grande responsabilidade para um funcionamento adequado dos equipamentos, assegurando segurança aos operadores e a infraestrutura local.

2. METODOLOGIA

2.1. Abordagem - Pesquisa Quantitativa

Esclarece Fonseca (2002, p. 20):

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenómeno, as relações entre variáveis, etc.

A pesquisa quantitativa é fundamentada na objetividade, tendo como centro de pesquisa as bases do assunto. Referencialmente do ponto inicial é essencial para a compreensão do assunto em si, para ter como base para compreender o assunto em si.

De acordo com POLIT, BECKER E HUNGLER (2004, p. 201); “A pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica”.

Está baseada no pensamento de que a o raciocínio deve ser lógico, apresentando uma tese racional e natural.

2.2. Quanto à natureza - Pesquisa Aplicada

Objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

2.3. Quanto aos objetivos

2.3.1. Pesquisa Descritiva

De acordo com (TRIVIÑOS, 1987);

“A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenómenos de determinada realidade”.

Esta espécie de pesquisa traz como objetivo relatar uma série de informações sobre a pesquisa, trazendo o assunto abordado para a realidade, descrevendo os fatos e fenômenos.

2.3.2. Pesquisa Exploratória

Este tipo de pesquisa visa proporcionar ao leitor uma maior espontaneidade, trazendo e construindo hipóteses que facilitem a compreensão do problema. Citando origens bibliográficas como sua principal espécie de pesquisas.

2.4. Quanto aos procedimentos

De acordo com Fonseca (2002), a pesquisa possibilita uma aproximação e um entendimento da realidade a investigar, como um processo permanentemente inacabado.

Ela se processa através de aproximações sucessivas da realidade, fornecendo subsídios para uma intervenção no real. A pesquisa deve trazer uma aproximação para que haja uma conexão, trazendo um senso de investigação, incorporando-se ao assunto.

2.4.1. Pesquisa Bibliográfica

De acordo com FONSECA (2002, p. 32).

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

Assim a pesquisa bibliográfica possui como principal característica o levantamento de assuntos já abordados, e publicados em algum meio, que serviu como fonte de assunto teórico para as pesquisas.

2.4.2. Pesquisa Documental

De acordo com FONSECA (2002, p. 32)

A pesquisa documental trilha os mesmos caminhos da pesquisa bibliográfica, não sendo fácil por vezes distingui-las. A pesquisa bibliográfica utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos localizados em bibliotecas. A pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc.

Esta forma de pesquisa possui grande semelhança com a pesquisa bibliográfica, a diferença entre elas é o requisito onde que a pesquisa documental se refere a fontes mais diversificadas, alguns exemplos são revistas, estatísticas, etc.

3. HISTÓRICO E LEGISLAÇÃO

3.1. Histórico da legislação do Fator de Potência

Com o Decreto nº 62.724 de 1968 e com a redação do Decreto nº 75.887 de 1975, foi adotado pelas concessionárias de energia elétrica o FP igual a 0,85 como mínimo.

Com o Decreto nº 479 de 1992, foi buscado um valor de FP mais próximo do unitário, tanto pelos consumidores quanto pelas concessionárias, onde o já extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, renovou as leis dos valores limites do fator de potência reativo e capacitivo através da Portaria nº 1.569 de 1993, tendo os seguintes aspectos relevantes:

- Faturamento da energia reativa e capacitiva excedente;
- Redução do período de avaliação e monitoramento do FP, passando de mensal para horário em 1996;
- Aumento do limite mínimo do FP de 0,85 para 0,92.

3.2. Grupos e modalidades tarifárias

No fornecimento de energia elétrica existem diversos grupos e subgrupos que se classificam pela tensão de alimentação e demanda contratada. A cobrança pelo consumo excessivo de potência reativa é designada para consumidores do Grupo A, vemos abaixo a classificação.

Quadro 1: Classificação dos consumidores de energia elétrica.

Grupo	Classificação	Tensão de Alimentação e/ou característica
Grupo A	Subgrupo A1	≥ 230 kV
	Subgrupo A2	88kV a 138 kV
	Subgrupo A3	69kV
	Subgrupo A4	2,3kV a 25kV
	Subgrupo AS	< 2,3kV (com fornecimento subterrâneo) *opcional no grupo A
Grupo B	*	< 2,3kV

Fonte: ANEEL.

As modalidades tarifárias podem ser classificadas da seguinte maneira:

- Tarifação Convencional: Aplica tarifas em cima da energia elétrica consumida e/ou demanda de potência, sem levar em conta o horário do dia ou período do ano.
- Tarifação Horo-sazonal: Aplica tarifas em cima da energia elétrica consumida e/ou demanda de potência, levando em conta o horário do dia ou período do ano, onde se divide em:
 - a) Tarifa Azul: tarifas diferentes aplicadas pelo horário (horário de ponta e fora de ponta) e períodos do ano (seco e úmido), se aplicando somente para consumidores com atendimento de tensão acima de 69kV ou com tensão de fornecimento inferior à 2,3kV, mas que tenha demanda de potência igual ou superior a 300kW.
 - b) Tarifa Verde: aplica tarifas diferentes dependendo do horário do dia e período do ano.
 - c) Horário de Ponta: período de três horas (17:00 às 20:00horas), não abrangendo sábados, domingos e feriados nacionais.

3.3. Legislação em vigor sobre Fator de Potência

A averiguação do FP da energia consumida pela indústria pode ser realizada de duas maneiras: avaliação horária e avaliação mensal.

A avaliação horária tem como característica realizar o cálculo do FP com os valores de energia/potência reativa e ativa em intervalos de uma hora, durante as tarifas azul e verde (período de faturamento).

É realizado na avaliação horária duas formas diferentes de verificação, dependendo do horário. Vemos a seguir suas características:

1ª Entre 6:00 horas e 24:00 horas é avaliado o FP indutivo;

2ª Entre 00:00 horas e 6:00 horas é avaliado o FP capacitivo.

A avaliação mensal tem como base de cálculo do FP o consumo de energia/potência ativa e reativa consumida pela indústria medidos durante o período de faturamento, chamado de tarifa convencional.

Conforme a normativa da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (ANEEL, 2012):

Art. 95. O fator de potência de deslocamento de referência “fr”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, o valor de 0,92 indutivo ou capacitivo para as unidades consumidoras dos grupos A e B conectadas em níveis de tensão inferiores a 69 kV e o valor de 0,95 indutivo para as demais unidades consumidoras.

Para os casos onde infringiu-se os valores pré-determinados há a realização de uma cobrança extra, dependendo do nível de consumo reativo realizado.

4. FATOR DE POTÊNCIA

4.1. Potências elétricas

Para se compreender sobre FP, há a necessidade de ter um conhecimento sobre as potências elétricas presentes nas redes de energia elétrica. Na grande maioria dos circuitos elétricos temos três potências presentes: Potência Ativa, Potência Reativa e Potência Aparente.

Para o acionamento de qualquer equipamento elétrico há a necessidade da energia elétrica, essa energia absorvida será transformada em trabalho conforme a potência que o equipamento foi dimensionado.

Conceitos básicos de corrente e tensão instantânea:

$$v(t) = V_n \cdot \text{sen}(\omega t + \theta) \quad (4.1)$$

$$i(t) = I_n \cdot \text{sen}(\omega t + \gamma) \quad (4.2)$$

$$V = \frac{V_n}{\sqrt{2}} \quad (4.3)$$

e

$$I = \frac{I_n}{\sqrt{2}} \quad (4.4)$$

V_n e I_n = Valor máximo de tensão e corrente respectivamente (pico)

V e I = Valores eficazes de tensão e corrente respectivamente (rms)

Para realizar seu cálculo é preciso a leitura instantânea de tensão e corrente ao longo do tempo, onde podemos idealizar matematicamente da seguinte forma:

$$P_{\text{ativa}} = \frac{1}{T} \int_0^T v i dt \quad (4.5)$$

Onde temos que i é o valor da intensidade de corrente no dado instante t , v é o valor da tensão nesse mesmo instante e T é o tempo de integração.

Outra maneira de se obter a potência absorvida pela carga é da seguinte forma:

Sendo:

$$v(t) = V_n \cdot \cos(\omega t + \theta) \quad (4.5)$$

$$I(t) = I_n \cdot \cos(\omega t + \gamma) \quad (4.6)$$

$$p(t) = v(t) \cdot I(t) = V_n \cdot I_n \cdot \cos(\omega t + \theta) \cdot \cos(\omega t + \gamma) \quad (4.7)$$

Onde: ω : ângulo de defasagem da onda de tensão em relação ao tempo inicial ($t=0$)

θ : ângulo de defasagem da onda de tensão em relação ao tempo inicial ($t=0$)

ω : frequência angular

Como

$$\cos(a - \beta) + \cos(a + \beta) = 2 \cdot \cos a \cdot \cos \beta \quad (4.8)$$

Considerando

$$a = \omega t + \theta \text{ e } \beta = \omega t + \gamma \quad (4.9)$$

Chega-se

$$p(t) = \frac{V_n \cdot I_n}{2} \cdot \cos[\cos(\omega t + \theta - \omega t - \gamma) + \cos(\omega t - \theta + \omega t + \gamma)] \quad (4.10)$$

$$p(t) = V \cdot I \cos(\theta - \gamma) + V \cdot I \cos(2\omega t + \theta + \gamma)$$

$$FP = \cos(\theta - \gamma) = \cos \varphi \quad (4.11)$$

φ = Defasagem angular entre tensão e corrente ($\varphi = \theta - \gamma$)

Utilizando os fasores de tensão e corrente:

$$\dot{V} = V \angle \theta \text{ e } \dot{I} = I \angle \gamma$$

$$\vec{S} = \dot{V} \cdot I^* = V \cdot I \angle \theta - \gamma \quad (4.12)$$

$$\vec{S} = V \cdot I \cdot \cos(\theta - \gamma) + j \cdot V \cdot I \cdot \sin(\theta - \gamma) \quad (4.13)$$

$$\vec{S} = \underbrace{S \cdot \cos(\theta - \gamma)}_P + j \cdot \underbrace{S \cdot \sin(\theta - \gamma)}_Q = P + jQ \quad (4.14)$$

\vec{S} : Potência complexa (VA);

$|\vec{S}|$: Potência aparente (VA);

P: Potência ativa (W);

Q: Potência reativa (VAr).

No caso de uma rede com tensões e correntes limpas, ou seja, sem distorções harmônicas, podemos simplificar para:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4.15)$$

Potência Reativa: usada para manter o campo eletromagnético, é medida em volt-ampère reativo (VAR) e não produz trabalho útil, sendo dada por (PINTO, 2014):

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (4.16)$$

Com base nessas definições para correntes e tensões senoidais, o fator de potência é definido como a relação entre a potência ativa e a aparente (ANEEL, 2012):

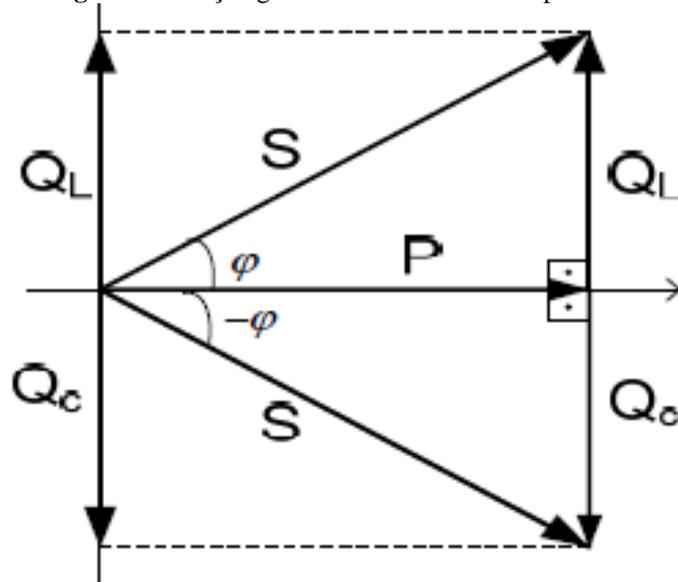
$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad (4.17)$$

A potência aparente é definida pela raiz quadrada da soma dos quadrados da potência reativa e ativa, assim podemos dizer que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.18)$$

A seguir podemos verificar o triângulo de potências, relacionando as três, reativa, ativa e aparente.

Figura 1: Relação geométrica dos vetores de potências.



Fonte: PINTO.

Podemos utilizar os termos $\cos \varphi$ em atraso, $\cos \varphi$ atrasado e $\cos \varphi$ indutivo para cargas indutivas, ou seja, a corrente está atrasada em relação à tensão.

Da mesma forma podemos utilizar os termos $\cos \varphi$ em avanço, $\cos \varphi$ adiantado e $\cos \varphi$ capacitivo para cargas capacitivas, ou seja, a corrente está adiantada em relação à tensão.

4.2. Motivos pelo baixo Fator de Potência

4.2.1. Considerações Gerais

O consumo de energia reativa infelizmente é existente nas indústrias e os motivos são diversos, onde à presença de enrolamentos e bobinas são pontos característicos destes (VIEIRA, 1989). Nos próximos itens veremos as principais origens de consumo de energia reativa.

4.2.2. Motores de Indução

Os motores de indução elétrica são uma das principais origens do consumo de energia reativa dentro das unidades consumidoras, onde que seu princípio de funcionamento é baseado em função de bobinas eletromagnéticas, determinante para tal consumo.

Esse valor de energia reativa pode ser ainda pior se o motor de indução for superdimensionado ou trabalhar a vazio, onde a energia reativa é mais elevada proporcionalmente a energia ativa consumida quando o motor está corretamente dimensionado ao trabalho proposto.

4.2.3. Transformadores

Os transformadores assim como os motores de indução, possuem grande característica de consumo de energia reativa devido a seus princípios eletromagnéticos (CREDER,2007). O consumo reativo não possui quase nenhuma dependência da carga aplicada a máquina. Desta forma, facilita a correção do valor de fator de potência, sendo possível aplicar um valor capacitivo com base em valores de carga em vazio.

4.2.4. Tensão acima da nominal

No caso de motores de indução temos uma equação onde a demanda de potência reativa é proporcional ao quadrado da tensão de entrada, assim, ocorrendo uma elevada tensão, o Fator de Potência terá um valor reduzido consideravelmente.

$$Q = \sqrt{(V \cdot I)^2 + (V \cdot I \cdot \cos\phi)^2} \quad (4.19)$$

4.3. Necessidade da correção

4.3.1. Considerações Gerais

A correção do fator de potência é de suma importância para qualquer indústria, seja ela qual for seu setor de produção. Está diretamente ligada à condição em que sua rede elétrica se encontra, melhor dizendo, se está limpa ou com ruídos, harmônicas, oscilações de tensões.

Conforme a normativa da ANEEL e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os valores admissíveis para Fator de Potência de uma indústria até 69kV seriam acima de 0,92, ou seja, importâncias superiores estariam aceitáveis para termos uma rede com condições de uso.

Estes valores se alteram, horários de pico de consumo como das 6 às 24 horas os valores se mantem em 0,92, mas para o restante do dia, o valor mínimo é de 0,92 para energia e demanda de potência capacitiva recebida.

Em 2010 foi aprovada a Resolução nº 414, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, incorporando a previsão de pagamento de excedentes reativos previsto na Resolução nº. 456/2000 (ANEEL, 2012).

As multas e cobranças efetuadas seriam cobradas equivalentemente a potência reativa consumida pela unidade consumidora.

As quedas de tensões são bastante comuns quando se tem um baixo FP para um valor fixo de potência ativa, onde suas consequências são uma elevação do valor da corrente elétrica que passa pelos cabos, sendo assim, conforme mais corrente passa pelo cabo, maiores serão as perdas pelo efeito Joule.

Tudo segue em forma de cascata, havendo mais consequências para o circuito como o acionamento de dispositivos de segurança, como disjuntores e reles de sobrecarga, que mesmo sendo dimensionados corretamente, romperão o circuito devido a elevada corrente. Este problema se agrava ainda mais em circuitos com diversos equipamentos que geram um baixo FP, onde há a soma destas sobrecorrentes.

Para termos ideia de como o FP influi no cabeamento do circuito, temos a seguir o quadro mostrando o efeito no cabeamento (BRAGA, 2016):

Quadro 01- Influência do FP no condutor elétrico.

FP	Secção Relativa do Cabo (mm ²)
1,0	1,0
0,90	1,23
0,80	1,56
0,70	2,04
0,60	2,78
0,50	4,0

Fonte: BRAGA.

Pode-se notar que conforme o FP baixa, a secção do cabo precisa ser cada vez maior para conduzir a mesma potência ativa de uma carga, lembrando que o FP é influenciado pelo nível de potência reativa do circuito. Outro ponto negativo a ser observado é o peso dos cabos,

onde que sobrecarregará fisicamente as redes aéreas, produzindo riscos a terceiros (ANEEL 456, 2000).

4.3.1. Cálculo do Faturamento de Energia Reativa Excedente

4.3.1.1 Método de Avaliação Horária do Fator de Potência

A seguir vemos a forma de cálculo para se obter o faturamento de energia reativa excedente pelo método de avaliação horária, seguindo a resolução 414 da ANEEL.

$$F_{drp} = \left[\max_{i=1}^n \left(D_{at} \cdot \frac{0,92}{F_{pp}} \right) - D_{fp} \right] \cdot T_{dap} \quad (4.20)$$

$$F_{erp} = \sum_{i=1}^n \left[C_{at} \cdot \left(\frac{0,92}{F_{pp}} - 1 \right) \right] \cdot T_{eap} \quad (4.21)$$

$$F_{pp} = \cos \arctg \left(\frac{0,92 \cdot E_{rt}}{E_{at}} \right) \quad (4.22)$$

F_{drp} : Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário;

F_{erp} : Faturamento de consumo de energia reativa excedente por posto tarifário;

D_{at} : Demanda de potência ativa medida em cada intervalo de 1 hora, em kW;

D_{fp} : Demanda de potência ativa faturada em cada posto tarifário, em kW;

T_{eap} : Tarifa de demanda de potência ativa, por posto tarifário em R\$/kW;

C_{at} : Consumo de energia ativa medido em cada intervalo de 1 hora, em kWh;

T_{dap} : Tarifa de energia ativa, por posto tarifário em R\$/kWh;

t : intervalo de 1 hora;

n : Número de intervalos de 1 hora por posto tarifário no período de faturamento;

p : Posto tarifário – ponte e fora de ponta para as tarifas horossazonais;

E_{rt} , E_{at} : Energias medidas a cada intervalo de 1 hora.

4.3.1.2. Método de Avaliação Mensal do Fator de Potência

A seguir podemos verificar o método de avaliação mensal do faturamento de energia reativa excedente, seguindo a resolução 414 da ANEEL.

$$F_{dr} = \left(D_{am} \cdot \frac{0,92}{F_p} - D_f \right) \cdot T_{da} \quad (4.23)$$

$$F_{er} = C_{am} \cdot \left(\frac{0,92}{F_p} - 1 \right) \cdot T_{ea} \quad (4.24)$$

$$F_p = \frac{C_{am}}{\sqrt{C_{am}^2 + C_{rm}^2}} \quad (4.25)$$

F_{dr} : Faturamento da demanda de potência reativa excedente;

F_{er} : Faturamento de consumo de energia reativa excedente;

D_{am} : Demanda de potência ativa máxima registrada no mês, em kW;

D_f : Demanda de potência ativa faturada no mês, em kW;

T_{da} : Tarifa de demanda de potência ativa fora de ponta-horária azul em R\$/kW;

C_{am} : Consumo de energia ativa medido no mês, em kWh;

C_{rm} : Consumo de energia reativa medido no mês, em kWh;

T_{ea} : Tarifa de energia ativa (TE) para o subgrupo B1 em R\$/kWh;

F_p : Fator de potência médio mensal;

5. CAPACITORES

5.1. Potência nominal

A potência nominal absorvida pela rede de um capacitor em condições de trabalho ideais (tensão, frequência e temperatura ambiente) pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{1000 \cdot Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_n^2} \quad (5.1)$$

Q_c : Potência nominal do capacitor (kVAr);

f : Frequência do sistema (Hz);

V_n : Tensão nominal (kV);

C : Capacitância (F).

Para o dimensionamento dos dispositivos de proteção e do cabeamento do circuito dos capacitores utilizamos o seguinte quadro:

Quadro 2: Dados para projeto de banco de capacitores.

Tensão de Linha (V)	Potência (kVar)	Capacitância (F)	Corrente Nominal (A)	Fusível NH ou DZ (A)	Condutor de Ligação (mm ²)
380	2,5	46	6,6	10	2,5
380	3,0	55	7,9	16	2,5
380	5,0	92	13,2	25	2,5
380	6,0	110	15,8	32	4
380	10,0	184	26,3	50	10
380	12,0	220	31,6	50	10
380	15,0	276	39,5	63	16
380	18,0	330	47,4	80	25
380	20,0	367	52,6	100	25
380	24,0	440	63,2	100	35
380	25,0	460	65,8	125	35
380	30,0	551	78,9	160	50

Fonte: Catálogo WEG – Capacitores para correção do FP.

5.2. Banco de capacitores

Conforme a normativa da ANEEL (2012; p. 02):

“Art. 95. O fator de potência de deslocamento de referência “fr”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, o valor de 0,92 indutivo ou capacitivo para as unidades consumidoras dos grupos A e B conectadas em níveis de tensão inferiores a 69 kV e o valor de 0,95 indutivo para as demais unidades consumidoras.

Os bancos de capacitores são equipamentos utilizados por indústrias, concessionárias de energia elétrica e empresas que desejam manter o valor do Fator de Potência entre 0,92 a 1,0, valores definidos pela ANEEL. O não cumprimento destes números acarreta severas multas na fatura de energia elétrica da empresa infringente.

De acordo com o Blog Saber Elétrica (2014, p. 01):

Estas irregularidades na rede elétrica são proporcionadas por cargas indutivas, ou seja, equipamentos que envolvem bobinas de indução como motores e transformadores, onde acabam provocando na rede um atraso da corrente elétrica em relação a senoide da tensão.

Nestes casos são instalados os bancos de capacitores, fornecendo uma carga capacitiva e adiantando a onda da corrente em relação a tensão, tal efeito causa a regularização e tentativa de simetria das ondas, obtendo uma energia mais limpa.

5.3. Conexão dos capacitores

A conexão dos bancos de capacitores pode ser feita de três formas: delta, estrela com neutro aterrado e estrela com neutro isolado (KAGAN, 2005).

A conexão delta é geralmente utilizada em tensões até 2,4kV devido aos custos com a proteção e também pode causar interferências em circuitos de proteção e de comunicação.

A conexão estrela com neutro aterrado oferece um baixo custo de instalação e também uma boa via de escoamento para descargas atmosféricas, mas também fornece problemas com circuitos de comunicação e proteção, causa sobrecorrentes em fusíveis e nos próprios capacitores, sendo necessários filtros para as correntes harmônicas.

O terceiro método de ligação é o com neutro isolado, onde não existe problemas com harmônicas, o único fator negativo são os momentos de acionamentos de cargas, onde o custo em disjuntores do banco aumenta.

5.4. Tipos de banco de capacitores

Dependendo da situação e aplicação, as configurações de instalação de bancos de capacitores poderão ser realizadas de distintas formas, entrando em conformidade com a quantidade de aplicação de energia capacitiva necessária na rede durante o período.

Existem três configurações principais: banco de capacitores fixo, banco de capacitores programável e banco de capacitores automático.

5.4.1. Banco de Capacitores Fixo

Como o próprio nome diz, a reatância capacitiva sempre se manterá na rede, ou seja, mesmo que precise dela ou não, será injetado no circuito. Normalmente é conectada na entrada da rede/subestação. Nesta configuração deve-se levar em consideração um possível baixo fator de potência durante o período capacitivo do dia (BLOG ENGELÉTRICA, 2011).

Muito utilizado para transformadores. Para realizar a conexão destes à rede, é necessário contadores especiais para esta aplicação, onde o acionamento deve ser manual. Se tem uma menor vida útil dos equipamentos de correção por manterem-se acionados 24 horas por dia (MAMEDE, 2007).

A maior parte desta aplicação são para correção de transformadores em vazio ou ligados diretamente a carga/equipamento, apresentando uma menor vida útil perante os outros métodos por ficar com os capacitores acionados 24 horas por dia, 7 dias por semana. É também a maneira mais barata de se corrigir o FP, tendo o retorno financeiro do investimento numa média em 2 meses.

5.4.2. Banco de Capacitores Programável

É direcionado a aplicações onde equipamentos indutivos tenham uma faixa de horário fixos para acionamento, então é programado esse intervalo de tempo para que o banco de capacitores seja acionado automaticamente. Também à necessidade de contadores especiais para a conexão à rede (BLOG ENGELÉTRICA, 2011).

Sistema ideal para quando se tem longos períodos sem a utilização de cargas, como por exemplo, pequenas indústrias ou comércios que ficam em funcionamento durante o período diurno. Ideal para cargas reativas até 10 kVAr, obtendo retorno financeiro em até 4 meses.

5.4.3. Banco de Capacitores Automático

Podemos cita-la como a configuração mais inteligente das três, onde há o monitoramento simultâneo da energia reativa da rede e apresenta uma série de capacitores que podem ser conectados de forma parcial, nivelando completamente a carga reativa (BLOG ENGELÉTRICA, 2011).

Muito utilizado por indústrias que ligam e desligam repetidamente motores elétricos de indução durante o dia, em horários diferenciados. Sendo ideal para cargas acima de 10 kVAr, onde apesar de ser a forma mais cara de corrigir o FP, é a mais ideal, podendo obter o retorno econômico em até 10 meses (MAMEDE, 2007).

Um ponto em questão deste método é a não recomendação para circuitos que possuam altas cargas e rápida atuação, como por exemplo, elevadores, prensas, soldas e guindastes pelo seguinte motivo, os sistemas convencionais possuem um pequeno retardo no acionamento dos capacitores, e quando acionados poderão não ser mais necessários, havendo uma possível sobretensão na rede.

5.5. Localização dos capacitores e formas de injeção de reativos

Existem vários locais apropriados para a instalação de bancos de capacitores, os mais comuns são cinco, tais eles são: em ramais de baixa tensão, individualmente em cada máquina, em barramentos que alimentam grupos de máquinas indutivas, na saída e entrada dos transformadores.

No caso de compensação individual onde a aplicação de capacitores é direta no motor elétrico, deve-se seguir certas determinações onde que a tabela corrente do capacitor não deve ser maior que a corrente de partida do motor. O quadro a seguir demonstra a potência máxima do capacitor ligado diretamente ao motor elétrico.

No quadro a seguir podemos verificar que conforme a potência rotação do motor vai variar a compensação máxima individual com capacitores.

Quadro 3: Máxima potência de capacitores em compensação individual.

Potência do motor (CV)	Rotação (rpm)					
	3600	1800	1200	900	720	600
	kVAr	kVAr	kVAr	kVAr	kVAr	kVAr
5	2	2	2	3	4	4,5
7,5	2,5	2,5	3	4	5,5	6
10	3	3	3,5	5	6,5	7,5
15	4	4	5	6,5	8	9,5
20	5	5	6,5	7,5	9	12
25	6	6	7,5	9	11	14
40	9	9	11	12	15	20
50	12	11	13	15	19	24
60	14	14	15	18	22	27
75	17	16	18	21	26	32,5
100	22	21	25	27	32,5	40
150	32,5	30	35	37,5	47,5	52,5
200	40	37,5	45	42,5	60	65
250	50	45	52,5	57,5	70	77,5
300	57,5	52,5	60	65	80	87,5
400	70	65	75	85	95	105
500	77,5	72,5	82,5	97,5	107,5	115

Fonte: COTRIM, 427 P.

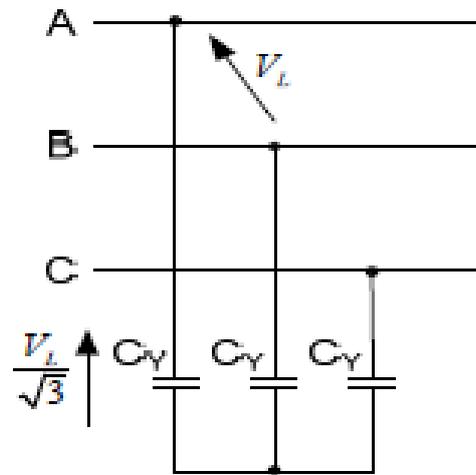
5.6. Métodos de ligação dos capacitores à rede trifásica

Os capacitores trifásicos apresentam em sua estrutura física somente três *bornes* para a realização de ligação à rede, desta maneira destina-se um para cada fase da rede. Mas há também os capacitores monofásicos que possuem somente dois *bornes* de ligação, desta forma temos duas maneiras de injeta-los à rede: ligação estrela e ligação triângulo.

- Ligação estrela

Na próxima imagem verificamos a configuração estrela de ligação dos capacitores à rede.

Figura 2: Configuração estrela de ligação dos capacitores.



Fonte: www.voltimum.com.br

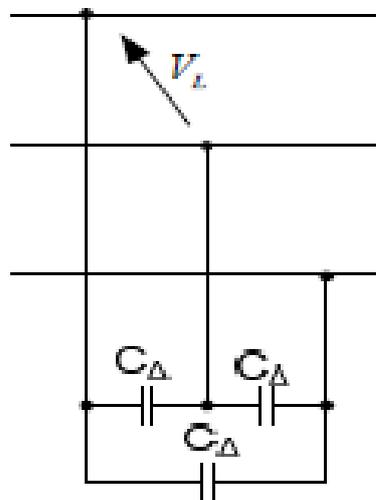
Cálculo da capacitância resultante para ligação estrela:

$$C_Y = \frac{Q_{c3\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_1^2} \quad (5.2)$$

- Ligação triângulo

Na próxima imagem verificamos a configuração triângulo de ligação dos capacitores à rede.

Figura 3: Configuração triângulo de ligação dos capacitores.



Fonte: www.voltimum.com.br

Cálculo da capacitância resultante para ligação triângulo:

$$C_{\Delta} = \frac{Q_{c3\phi}}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_1^2} \quad (5.3)$$

Equivalência de ligação triângulo com ligação estrela:

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} \quad (5.4)$$

5.7. Principais Origens de Riscos ao Banco de Capacitores

5.7.1. Origem das Distorções Harmônicas

As distorções harmônicas são deformações periódicas da onda original da rede, apresentando frequências diferentes. Estas subfrequências são geralmente originadas da relação não-linear de tensão/corrente de equipamentos ligados à rede, como por exemplo, motores, transformadores, etc. Outra causa são pontes retificadoras, conversores eletrônicos.

5.7.1.2. Efeitos das Distorções das Formas de Onda

Para um bom funcionamento dos equipamentos elétricos interligados à rede há a necessidade de fornecer uma energia de qualidade ao mesmo. A presença de harmônicas produz a distorção da frequência original, assim a sua correção está de suma importância para que não ocorra anomalias do funcionamento dos equipamentos (ROBBA, 2000). A seguir podemos citar alguns problemas causados pelas distorções harmônicas:

- A ressonância de tensões e correntes entre as capacitâncias e indutâncias que geralmente tem a origem de associação de capacitores em motores e transformadores, dispositivos de correção do fator de potência;

- Correntes elevadas no neutro de origem em circuitos com lâmpadas de descarga com reatores ferromagnéticos monofásicos;
- Aquecimento elevado dos núcleos ferromagnéticos com o aumento das correntes parasitas e perdas por histerese;
- Surgimento e oscilações de ruídos (ferro-ressonância em transformadores e reatores);
- Elevado aquecimento dos capacitores originada por ressonância de capacitores *shunt*, gerando tensões elevadas e avarias excessivas no dielétrico, acarretando maiores riscos de explosões dos capacitores por carência de dissipação do calor;
- Falha na ação de proteção de relés eletrônicos e digitais fora de calibração, relés eletromagnéticos;

5.7.2. Tensão nos Capacitores

A equação a seguir mostra como calcular a tensão sobre os terminais do capacitor.

$$V_c = \frac{V_{rede}}{1-FDS} \quad (5.5)$$

V_c - Tensão sobre os terminais do capacitor (V)

V_{rede} - Tensão da rede de alimentação (V)

FDS - Fator de dessintonia (%)

Desta forma, deve ser dimensionado uma tensão nominal do capacitor superior a V_c . Abaixo se encontra a tabela que correlaciona a tensão da rede com a tensão do dielétrico do capacitor para $FDS = 7\%$.

Quadro 4: Limites de tensão do dielétrico do capacitor.

Tensão de Rede (V)	Tensão do Dielétrico do capacitor (V)
220	380
380	440
440	480

Fonte: Catálogo WEG – Capacitores para correção do FP.

5.7.3. Limitações da Unidade Capacitiva

A IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) aponta certos moldes para se aplicar no projeto de bancos de capacitores, abaixo são citados alguns destes itens (IEEE,1992):

- Unidades capacitivas não devem fornecer menos que 100% e não mais que 115% da potência reativa nominal para a tensão senoidal e frequência nominais, medidos a uma temperatura constante de 25°C no invólucro e internamente;
- Capacitores devem ser capazes de operações contínuas contanto que nenhuma das seguintes limitações forem excedidas:
 - ✓ 110 % do valor nominal da tensão eficaz, e $1,2 \times \sqrt{2}$ da tensão de pico da tensão nominal eficaz, incluindo harmônicas, mas excluindo transitórios.
 - ✓ 180% do valor nominal da corrente eficaz, incluindo corrente fundamental e harmônica.
 - ✓ 135% do valor nominal da potência reativa (kVAr). Esse valor deve incluir os seguintes fatores e não devem ser excedidos por seus efeitos combinados:
 - Potência reativa causada por tensão acima do valor de placa na frequência fundamental, mas dentro das limitações permitidas.
 - Potência reativa causada por tensões harmônicas superpostas à frequência fundamental.
 - Potência reativa superior ao dado de placa causada por tolerâncias de fabricação.

5.8. Principais proteções de um banco de capacitores

As proteções comuns de banco de capacitores são:

- Proteção de sobrecorrente no circuito do banco;
- Proteção de sobrecorrente para faltas nas unidades do banco;
- Proteção de sobretensão permanentes nas unidades restantes devido à falha de unidades individuais;
- De sobretensão na barra do banco de capacitores;

- De surto de tensão do sistema;
- Descarga de corrente de unidades paralelas;
- De corrente “*inrush*” devido ao chaveamento;
- De arcos sobre a estrutura do capacitor;
- Proteção de diferencial por fase.

Estas proteções são necessárias para manter o pleno funcionamento do banco de capacitores, como por exemplo a proteção de sobretensões, que é necessária para o período transitório de remoção do banco do circuito, havendo uma redução da tensão da rede.

5.9. Correção do Fator de Potência em Indústrias de Baixa Tensão

Para realizar o projeto de Correção do Fator de Potência, devemos levar em consideração todos os dados referentes aos parâmetros elétricos das instalações, seja ela através de medições ou dados presumidos.

Quando realizamos a correção do FP na entrada na indústria, mais especificamente em baixa tensão, podemos utilizar de avaliações e estimativas da demanda de energia reativa da empresa.

Através da próxima fórmula temos como obter quanto a porcentagem de aumento da tensão com a aplicação deste método.

$$\Delta V\% = \frac{kVA_r (cap)}{kVA (trafo)} \cdot Z(trafo(\%)) \quad (5.6)$$

Onde:

$\Delta V\%$ = Porcentagem da mudança de tensão;

$kVA(Trafo)$ = Potência aparente do transformador;

$kVA_r(cap)$ = Potência reativa do banco de capacitores;

$Ztrafo(\%)$ = Impedância percentual do transformador.

Ocorrendo esse aumento do valor da tensão, há também um acréscimo da capacidade do banco de capacitores, como vemos na próxima formula:

$$kvar(\text{gerador}) = kvar(\text{cap}) \cdot V^2 \quad (5.7)$$

Onde:

$kvar(\text{gerador})$ = Potência reativa do gerador;

V = Tensão do banco de capacitores;

$kvar(\text{cap})$ = Potência do banco de capacitores.

Essa elevação de tensão, dependendo do seu nível e tempo pode ser prejudicial aos capacitores, vemos os seus limites de trabalho sem avarias no próximo quadro.

Quadro 5: Tensão e tempo máximo admissíveis.

Frequência	Tensão (valor eficaz)	Máxima Duração
Nominal	1,0 Vn	Contínua
Nominal	1,1 Vn	8 horas por um período de 24h
Nominal	1,15 Vn	30 minutos por um período de 24h
Nominal	1,2 Vn	5 minutos
Nominal	1,3 Vn	1 minuto
Nominal mais harmônicas	Valor tal que a corrente não exceda à $1,3/n$	

Fonte: Catálogo WEG – Capacitores para correção do FP.

5.10. Levantamento de dados

5.10.1. Indústrias em Operação

Levar em consideração os seguintes dados:

- Fator de Potência registrado;
- Tipo de tarifação.

Dados do transformador:

- Potência nominal;
- Tensão primário;
- Tensão secundário;
- Impedância;
- Corrente de magnetização;
- Potência de curto-circuito;
- $\cos \phi$;
- Grau de ocupação;

5.10.2. Indústria em Projeto

Para indústria em projeto, deve-se presumir o valor do Fator de Potência da instalação com a ajuda das cargas que serão instaladas na rede elétrica.

Para os casos onde o levantamento dos valores de equipamentos não lineares e não ultrapassam 20% da carga total, usa-se capacitores para a correção, mas há a necessidade de medição após efetuada a instalação dos equipamentos para verificação de presença de harmônicas, não sendo menor que 3% da tensão nominal. Havendo superioridade deste valor, há a obrigação de aplicação de indutores e filtros.

Assim, tendo em mãos o circuito unifilar da instalação elétrica, incluindo o banco de capacitores e também os horários de funcionamento das cargas indutivas, indutivas não-lineares e ativas, há a escolha mais adequada do tipo de banco de capacitor a ser instalada.

5.4.1.3 Determinação do Fator de Potência em Industrias de Baixa Tensão (sem correção)

Há duas circunstâncias para se obter o valor do tamanho do banco de capacitores necessários para a correção do FP, a primeira são em industrias ainda em projeto e a segunda já é com a mesma em pleno funcionamento.

A primeira, é necessário ter-se os seguintes dados técnicos:

- Ciclo de operação diária, semanal, mensal e anual;
- Dados das curvas ativas e reativas consumidas;
- Levantamento das cargas em projeto;

- Determinação das demandas reativas e ativas para cada intervalo de horário.

Para indústrias em projeto temos duas maneiras de se estimar o valor do FP, vemos a seguir:

- a) Método analítico: Calcula-se o FP através do triângulo de potências, assim determina-se a demanda ativa e reativa, somando-as obteremos o FP médio da indústria estimado.
- b) Método do ciclo de carga operacional: Baseia-se na estimativa do consumo de energia horário quando a indústria está nas tarifas verde e azul, ou quando a tarifa é convencional, é realizado a estimativa com base no consumo mensal.

A segunda maneira é o cálculo em indústrias já em operação, onde deve-se realizar o levantamento de dados quando o consumo estiver com carga máxima de operação, ou seja, prevendo o pior caso necessário para correção do FP.

Em indústrias em operação podemos ter três métodos para realizar a estimativa do FP, que são eles:

- a) Método analítico: mesmas características da maneira de estimativa do FP em projeto.
- b) Método dos consumos médios mensais: É utilizado em indústrias de tarifa convencional, onde realiza-se uma média de consumo dos últimos seis meses do consumo de energia reativa e ativa, fazendo o cálculo necessário para correção.
- c) Método das potências medidas: utiliza-se da medição instantânea das potências ativa e reativa para levantamento de dados. Estes dados são disponibilizados em planilha Excel pela concessionária.

6. ESTUDO DE CASO - COOPERPASSO

6.1. Dados da Empresa

Nome: **Cooperpasso - Cooperativa Agropecuária Passo da Felicidade**

Atividade econômica principal: **Comércio atacadista de matérias-primas agrícolas com atividade de fracionamento e acondicionamento associada - CNAE 4623108**

Endereço: **Frei Rogério/SC, Brasil**

Situação Cadastral: **Ativa desde 18/3/2013**

Demais atividades realizadas:

- Atividades de pós-colheita;
- Comércio atacadista de soja;
- Comércio atacadista de animais vivos;
- Comércio atacadista de sementes, flores, plantas e gramas;
- Comércio atacadista de alimentos para animais;
- Comércio atacadista de matérias-primas agrícolas não especificadas anteriormente;
- Comércio atacadista de cereais e leguminosas beneficiados;
- Comércio atacadista de defensivos agrícolas, adubos, fertilizantes e corretivos do solo;
- Comércio varejista de tintas e materiais para pintura;
- Comércio varejista de material elétrico;
- Comércio varejista de ferragens e ferramentas;
- Comércio varejista de materiais hidráulicos;
- Comércio varejista de cal, areia, pedra britada, tijolos e telhas;
- Comércio varejista de materiais de construção não especificados anteriormente;
- Comércio varejista de materiais de construção em geral;
- Comércio varejista de medicamentos veterinários;
- Comércio varejista de artigos do vestuário e acessórios;
- Comércio varejista de calçados;

- Comércio varejista de plantas e flores naturais;
- Comércio varejista de animais vivos e de artigos e alimentos para animais de estimação;
- Comércio varejista de outros produtos não especificados anteriormente;
- Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, municipal;
- Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, intermunicipal, interestadual e internacional;
- Depósitos de mercadorias para terceiros, exceto armazéns gerais e guarda-móveis;
- Serviços de agronomia e de consultoria às atividades agrícolas e pecuárias;
- Atividades de associações de defesa de direitos sociais;
- Atividades associativas não especificadas anteriormente.

6.2. Levantamento de dados

Para a realização deste projeto foi necessário realizar o levantamento de diversos dados técnicos da empresa: alguns vindos de projetos elétricos da indústria e outros obtidos no chão de fábrica, com o auxílio dos operadores das máquinas.

6.2.1 Dados Técnicos do Transformador de Entrada

O quadro a seguir nos mostra os dados técnicos referente ao transformador de entrada do setor fabril de empresa.

Quadro 6: Dados técnicos do transformador de entrada.

Dados Técnicos do Transformador de Entrada	
Potência	500 kVA
Tensão nominal AT	13.8 kV
Tensão nominal BT	0.38 kV
Forma construtiva	Tanque corrugado
NBI (AT)	95.0 kV

Norma	NBR 5356
Frequência	60.0 Hz
Grupo ligação WT	Dyn1
Fase	Trifásico
Instalação	Ao tempo
Altitude máxima de instalação	1000.0 m
Atmosfera	Não agressiva
Temperatura ambiente máxima	40.0 °C
Fator K	K1
Tipo Comutação	CST
Tap's	-4x0.6 kV
Classe temperatura material isolante	E (120 °C)
Refrigeração	ONAN
Material dos condutores AT/BT	Al/Al
Elevação temperatura dos enrolamentos média	65.0 °C
Elevação de temperatura dos enrolamentos no ponto mais quente	80.0 °C
Impedância	4.5 %
Perdas em vazio	1.1 kW
Perdas totais	9.8 kW
Corrente de excitação	1.8 %
Nível de ruído	56.0 dB
Descargas parciais	300.0 pC

Fonte: Catálogo WEG – Transformador 500kVA.

O quadro a seguir nos mostra a relação entre carga x rendimento do transformador de entrada.

Quadro 7: Relação Carga X Rendimento do transformador.

Fator de Carga (%)	ONAN ($\varphi = 0,8$)	ONAN ($\varphi = 0,9$)	ONAN ($\varphi = 1$)
25	98.38	98.56	98.7
50	98.39	98.57	98.71
75	98.04	98.26	98.43
100	97.61	97.87	98.08

Fonte: Catálogo WEG – Transformador 500kVA.

O quadro a seguir nos mostra a potência ativa consumida pelo transformador de entrada perante seu nível de carregamento.

Quadro 8: Razão da Potência Ativa Consumida X Carregamento do transformador.

Carregamento (%)	P (kW)
100	7,65
75	4,73
50	2,75
25	1,5
0	1,1

Fonte: Catálogo WEG – Transformador 500kVA.

6.2.2. Dados Técnicos dos Motores de Indução

Quadro 9: Relação de dados da carga (motores).

RELAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS						
Nº motor	Função	CV	V	A	FP	kW
1	EXAUSTOR 01 - SECADOR	30	380	43,5	0,74	22,08
2	EXAUSTOR 02 - SECADOR	30	380	43,5	0,74	22,08
3	EXAUSTOR 03 - SECADOR	30	380	43,5	0,74	22,08
4	EXAUSTOR 01 - SILO ARMAZENADOR	25	380	35,3	0,79	18,4
5	EXAUSTOR 02 - SILO ARMAZENADOR	25	380	35,3	0,79	18,4
6	ELEVADOR 01 - MOEGA	20	380	28,4	0,83	14,72
7	ELEVADOR SECADOR	20	380	28,4	0,83	14,72
8	ELEVADOR DESCARGA SECADOR	20	380	28,4	0,83	14,72
9	ELEVADOR SILO PULMÃO	20	380	28,4	0,83	14,72
10	ELEVADOR SILO ARMAZENADOR	20	380	28,4	0,83	14,72
11	EXAUSTOR 01 SILO PULMÃO	20	380	28,4	0,83	14,72
12	EXAUSTOR 02 SILO PULMÃO	20	380	28,4	0,83	14,72
13	ELEVADOR 02 - MOEGA	15	380	21,3	0,86	11,04
14	REDLER PÓS LIMPEZA	10	380	14,1	0,84	7,36
15	ROSCA VARETORA SILO ARMAZENADOR	7,5	380	11,3	0,82	5,52
16	REDLER DESCARGA 01 SILO PULMÃO	5	380	8	0,83	3,68
17	MÁQUINA PRÉ LIMPEZA EXAUSTOR	5	380	8	0,83	3,68
18	MÁQUINA 01 PÓS LIMPEZA EXAUSTOR	5	380	8	0,83	3,68
19	MÁQUINA 02 PÓS LIMPEZA EXAUSTOR	5	380	8	0,83	3,68
20	REDLER DESCARGA SILO ARMAZENADOR	4	380	6,6	0,84	2,944
21	REDLER DESCARGA SILO ARMAZENADOR	4	380	6,6	0,84	2,944
22	MÁQUINA 01 PÓS LIMPEZA PENEIRA	4	380	6,6	0,84	2,944
23	REDLER DESCARGA SECADOR	3	380	5,2	0,82	2,208
24	REDLER DESCARGA 02 SILO PULMÃO	3	380	5,2	0,82	2,208
25	MÁQUINA PRÉ LIMPEZA PENEIRA	3	380	5,2	0,82	2,208
26	MÁQUINA 2 PÓS LIMPEZA PENEIRA	3	380	5,2	0,82	2,208
27	ROSCA VARREDORA 01 SILO PULMÃO	3	380	5,2	0,82	2,208
28	ROSCA VARREDORA 02 SILO PULMÃO	3	380	5,2	0,82	2,208
29	MESA SECADOR	2	380	3,6	0,86	1,472
TOTAL	*	364,5	*	533,2	*	268,272

Fonte: Projeto Elétrico da Instalação (Apêndice A).

6.3. Cálculos do projeto

6.3.1. Cálculo do fator de potência da instalação

- Corrente nominal

$$I_n = \frac{P(kW)}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \quad (6.1)$$

Como o silo em seu pico de funcionamento (safra) utiliza no máximo 65% da carga total de motores, devido aos ciclos operacionais das máquinas. Dessa maneira utilizarei essa porcentagem de carga total.

$$I_n = \frac{268,272 \cdot 0,65}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92 \cdot 0,83} \quad (6.2)$$

$$I_n = \frac{174,376}{0,502} = 347,36 \text{ A} \quad (6.3)$$

- Corrente de magnetização

$$I_{mag} = 0,2 \cdot I_n \quad (6.4)$$

$$I_{mag} = 0,2 \cdot 347,36 = 69,47 \text{ A} \quad (6.5)$$

6.3.2. Cálculo do fator de potência da instalação no transformador

$$S = \frac{P(CV) \cdot 0,735}{\eta \cdot \cos\varphi \text{ (medido)}} \quad (6.6)$$

$$S = \frac{268,272}{0,83 \cdot 0,77} \quad (6.7)$$

$$S = \frac{268,272}{0,639} = 419,76 \text{ kVA} \quad (6.8)$$

$$\% C_{TR} = \frac{S_{CARGA}}{S_{TRAFO}} \quad (6.9)$$

$$\% C_{TR} = \frac{419,76}{500} = 0,83 \quad (6.10)$$

Perdas de magnetização do transformador: 1,1kW (dados técnicos)

$S_{TR 75\%}$ = Perdas do transformador conforme carga (tabela).

$$S_{TR 75\%} = 1,1 + j4,73 \quad (6.11)$$

Cálculo da potência da carga (Motores)

$$S = \frac{268,272}{0,83 \cdot 0,77} = 419,76 \text{ kVA} \quad (6.12)$$

Transformando o valor da potência S:

$$S = 323,2 + j267,82 \quad \cos \varphi = 0,77 \quad (6.13)$$

$$S_{TOTAL} = S_{TR} + S_M = 1,1 + j4,73 + 323,2 - j277,66 \quad (6.14)$$

$$S_{TOTAL} = 324,3 - j282,39 \text{ kVA} \quad (6.15)$$

$$S_{TOTAL} = 423,62 - \underline{140,04^\circ} \text{ kVA} \quad (6.16)$$

$$\underline{\cos 40,04^\circ = 0,765} \quad (6.17)$$

Quadro 10: Comparação de valores entre carga e carga + transformador.

	Cargas	Transformador + Carga
Potência Ativa (kW)	268,272	324,32
Potência Aparente (kVA)	348,4	423,62
Potência Reativa (kVAr)	222,28	282,39
Fator de Potência	0,77	0,7655

Fonte: O Autor.

6.3.3. Determinação do banco de capacitores

Rendimento motores: 94% (tabela WEG)

Corrente de Magnetização: 69,47A (calculada)

1º Método: Fator Multiplicador (tabela)

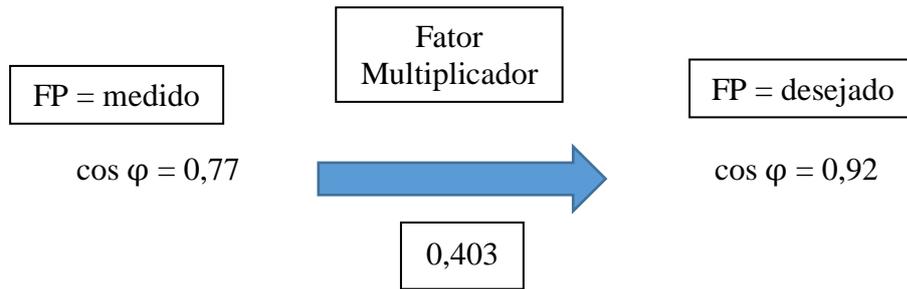


Figura 4: Fator multiplicador para correção do Fator de Potência.

Fator de Potência Original	Fator de Potência Desejado																					
	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,50	0,582	1,008	1,034	1,060	1,086	1,112	1,138	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,305	1,337	1,365	1,403	1,420	1,431	1,432	1,432	1,432	1,432
0,51	0,937	0,963	0,989	1,015	1,041	1,067	1,093	1,120	1,147	1,174	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,617	1,702
0,52	0,893	0,919	0,945	0,971	0,997	1,023	1,049	1,076	1,103	1,130	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643	1,800
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	1,458	1,600	1,759
0,54	0,809	0,835	0,861	0,887	0,913	0,939	0,965	0,992	1,019	1,046	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559	1,727
0,55	0,768	0,794	0,820	0,846	0,873	0,899	0,925	0,952	0,979	1,006	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518	1,695
0,56	0,729	0,755	0,781	0,807	0,834	0,860	0,886	0,913	0,940	0,967	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479	1,666
0,57	0,691	0,717	0,743	0,769	0,796	0,822	0,848	0,875	0,902	0,929	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441	1,638
0,58	0,655	0,681	0,707	0,733	0,759	0,785	0,811	0,838	0,865	0,892	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,404	1,601
0,59	0,618	0,644	0,670	0,696	0,723	0,749	0,775	0,802	0,829	0,856	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368	1,565
0,60	0,583	0,609	0,635	0,661	0,687	0,714	0,740	0,767	0,794	0,821	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333	1,530
0,61	0,549	0,575	0,601	0,627	0,653	0,679	0,705	0,732	0,759	0,787	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299	1,496
0,62	0,515	0,541	0,567	0,593	0,620	0,646	0,672	0,699	0,726	0,753	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265	1,462
0,63	0,483	0,509	0,535	0,561	0,587	0,613	0,639	0,666	0,693	0,720	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,232	1,429
0,64	0,451	0,477	0,503	0,529	0,555	0,581	0,607	0,634	0,661	0,688	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,200	1,397
0,65	0,419	0,445	0,471	0,497	0,523	0,549	0,576	0,602	0,629	0,657	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169	1,366
0,66	0,388	0,414	0,440	0,466	0,492	0,519	0,545	0,572	0,599	0,626	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138	1,335
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	0,966	1,108	1,305
0,68	0,328	0,354	0,380	0,406	0,432	0,459	0,485	0,512	0,539	0,566	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078	1,275
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	0,907	1,049	1,246
0,70	0,270	0,296	0,322	0,348	0,374	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020	1,217
0,71	0,242	0,268	0,294	0,320	0,346	0,372	0,398	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	1,189
0,72	0,214	0,240	0,266	0,292	0,318	0,344	0,370	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	1,161
0,73	0,186	0,212	0,238	0,264	0,290	0,316	0,343	0,370	0,396	0,424	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936	1,133
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	0,908	1,105
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	1,079
0,76	0,105	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,856	1,053
0,77	0,079	0,105	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,289	0,316	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829	1,026
0,78	0,052	0,078	0,104	0,130	0,156	0,183	0,209	0,236	0,263	0,290	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802	999
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	0,634	0,776	976
0,80	0,000	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	0,608	750	950
0,81	0,000	0,000	0,026	0,052	0,078	0,104	0,131	0,157	0,184	0,212	0,240	0,268	0,296	0,325	0,356	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	750
0,82	0,000	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	0,546	0,599	0,654	713	910
0,83	0,000	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	0,520	0,573	0,628	0,686	672	869
0,84	0,000	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	0,493	0,544	0,596	0,649	0,704	630	827
0,85	0,000	0,026	0,053	0,080	0,107	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,472	0,528	0,584	0,641	0,699	0,758	600	797
0,86	0,000	0,027	0,054	0,081	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,441	0,493	0,546	0,600	0,654	0,709	0,764	569	766
0,87	0,000	0,027	0,054	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,418	0,474	0,531	0,588	0,645	0,702	0,759	0,816	538	735
0,88	0,000	0,027	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,392	0,449	0,507	0,565	0,623	0,681	0,739	0,796	0,853	507	704
0,89	0,000	0,027	0,056	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,360	0,413	0,468	0,524	0,580	0,636	0,692	0,748	0,803	0,858	476	673
0,90	0,000	0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,332	0,386	0,441	0,497	0,553	0,609	0,665	0,721	0,776	0,831	0,886	445	642
0,91	0,000	0,029	0,059	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,374	0,435	0,496	0,557	0,618	0,679	0,739	0,799	0,858	0,917	0,976	1,035	414	611
0,92	0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,345	0,406	0,467	0,528	0,589	0,649	0,709	0,768	0,827	0,886	0,945	1,004	383	580
0,93	0,000	0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,314	0,375	0,436	0,497	0,558	0,619	0,679	0,738	0,797	0,856	0,915	0,974	1,033	352	549
0,94	0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,281	0,342	0,403	0,464	0,525	0,586	0,647	0,707	0,767	0,826	0,885	0,944	1,003	1,062	321	518
0,95	0,000	0,037	0,078	0,126	0,186	0,247	0,308	0,369	0,430	0,491	0,552	0,613	0,674	0,734	0,794	0,854	0,913	0,972	1,031	1,090	290	487
0,96	0,000	0,041	0,089	0,149	0,219	0,290	0,351	0,412	0,473	0,534	0,595	0,656	0,717	0,777	0,837	0,896	0,955	1,014	1,073	1,132	259	456
0,97	0,000	0,048	0,108	0,178	0,249	0,320	0,381	0,442	0,503													

$Q_{BANCO} = \text{Fator Multiplicador} \times \text{Potência Reativa (transformador + carga)}$

$$Q_{BANCO} = 0,403 \cdot 282,39 \quad (6.18)$$

$$Q_{BANCO} = 113,8 \text{ kVAr}$$

2º Método: Relações Trigonométricas

$$\cos \varphi_1 = 0,77 \rightarrow \varphi = 39,54^\circ$$

$$\cos \varphi_2 = 0,92 \rightarrow \varphi = 23,07^\circ$$

$$Q_2 = Q_1 - Q_{BANCO} \quad (6.19)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad (6.20)$$

$$Q_1 = 0,81 \cdot 282,39 = 229,24 \text{ kVAr} \quad (6.21)$$

$$Q_2 = 0,42 \cdot 282,39 = 120,27 \text{ kVAr} \quad (6.22)$$

$$Q_{BANCO} = 229,24 - 120,27 = 108,96 \text{ kVAr} \quad (6.23)$$

5.3.3. Método de Correção do Fator de Potência

Para levantar dados do projeto foi necessário realizar um levantamento de informações na empresa com o fundamento de ter conhecimento dos horários de funcionamento dos equipamentos da mesma.

Para isto, uma ficha com as cargas indutivas do silo foi preenchida com os devidos períodos de atividades. Esses dados são de fundamental importância para realizar a discriminação de qual método de correção do fator de potência realizará o melhor trabalho, supostamente sendo ele uma correção automática, fixa ou programada.

O quadro a seguir nos mostra esses dados.

Quadro 11: Horário de Atividades das Cargas.

RELAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS			
Nº motor	Função	Potência (CV)	Horário de Funcionamento
1	EXAUSTOR 01 – SECADOR	30	06:00 às 24:00h
2	EXAUSTOR 02 – SECADOR	30	06:00 às 24:00h
3	EXAUSTOR 03 – SECADOR	30	06:00 às 24:00h
4	EXAUSTOR 01 - SILO ARMAZENADOR	25	06:00 às 24:00h
5	EXAUSTOR 02 - SILO ARMAZENADOR	25	06:00 às 24:00h
6	ELEVADOR 01 – MOEGA	20	06:00 às 24:00h
7	ELEVADOR SECADOR	20	06:00 às 24:00h
8	ELEVADOR DESCARGA SECADOR	20	06:00 às 24:00h
9	ELEVADOR SILO PULMÃO	20	06:00 às 24:00h
10	ELEVADOR SILO ARMAZENADOR	20	06:00 às 24:00h
11	EXAUSTOR 01 SILO PULMÃO	20	06:00 às 24:00h
12	EXAUSTOR 02 SILO PULMÃO	20	06:00 às 24:00h
13	ELEVADOR 02 – MOEGA	15	06:00 às 24:00h
14	REDLER PÓS LIMPEZA	10	06:00 às 24:00h
15	ROSCA VARELORA SILO ARMAZENADOR	7,5	06:00 às 24:00h
16	REDLER DESCARGA 01 SILO PULMÃO	5	06:00 às 24:00h
17	MÁQUINA PRÉ LIMPEZA EXAUSTOR	5	06:00 às 24:00h
18	MÁQUINA 01 PÓS LIMPEZA EXAUSTOR	5	06:00 às 24:00h
19	MÁQUINA 02 PÓS LIMPEZA EXAUSTOR	5	06:00 às 24:00h
20	REDLER DESCARGA SILO ARMAZENADOR	4	06:00 às 24:00h
21	REDLER DESCARGA SILO ARMAZENADOR	4	06:00 às 24:00h
22	MÁQUINA 01 PÓS LIMPEZA PENEIRA	4	06:00 às 24:00h
23	REDLER DESCARGA SECADOR	3	06:00 às 24:00h
24	REDLER DESCARGA 02 SILO PULMÃO	3	06:00 às 24:00h
25	MÁQUINA PRÉ LIMPEZA PENEIRA	3	06:00 às 24:00h
26	MÁQUINA 2 PÓS LIMPEZA PENEIRA	3	06:00 às 24:00h
27	ROSCA VARREDORA 01 SILO PULMÃO	3	06:00 às 24:00h
28	ROSCA VARREDORA 02 SILO PULMÃO	3	06:00 às 24:00h
29	MESA SECADOR	2	06:00 às 24:00h
TOTAL	*	364,5	*

Fonte: O Autor.

Como podemos verificar, o período de funcionamento do silo aparentemente apresenta um ciclo fixo de utilização das cargas, onde poderia ser adotado o modelo de correção programada, onde seriam ligados à rede um banco de capacitores referente à necessidade. Mas existe um grande fator que extingue todo esse raciocínio, isso se deve ao modo de funcionamento das atividades no interior da indústria.

Além de uma visita técnica na área da elétrica foi também foi realizado um acompanhamento de campo para conseguir absorver características próprias do ciclo de operação das máquinas de grãos.

Com tal acompanhamento, foi constatado que dentro de um mesmo ciclo de operação principal existem outras ramificações de ciclos, ou seja, não há só um processo único. De acordo com o estado do produto, umidade ou impureza inapropriados, os grãos tomam rumos diferenciados dentro da malha operacional. Desta maneira, não há a utilização completa dos motores das máquinas e sim um percentual em relação a carga total.

Com esta análise verifica-se que não se pode adotar o sistema de banco de capacitores programável, por onde seriam injetados à rede uma carga reativa excedente a necessária, tendo como consequência um FP capacitivo fora do permitido por norma e rendendo perdas financeiras à empresa.

O sistema de banco de capacitores fixo não se pode adotar pela mesma maneira, as cargas apresentam variações de horários de consumo.

O método que apresentou melhor concordância com as características de operação da empresa foi o banco de capacitores com atuação automática, onde que conforme a leitura e comando da necessidade as cargas capacitivas são incorporadas à rede.

6.3. Dimensionamento dos equipamentos

6.3.1. Dimensionamento das Capacitâncias

$$C_{(\mu F)} = \frac{10^3 \cdot \text{kVAr}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (\text{kV}_C)^2} \quad (6.24)$$

$$C_{(\mu F)} = \frac{10^3 \cdot 113,8}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 0,38^2} \quad (6.25)$$

$$C = 2090,5 \mu F$$

Quadro 12: Discriminação dos capacitores instalados.

Capacitância (μF)	Quantidade	Capacitância	Capacitância Acumulada
3 x 123	5	1845	1845
3 x 15,5	2	93	1938
3 x 61	1	183	2121

Fonte: O Autor.

6.3.2. Dimensionamento das Chaves Seccionadoras

O acionamento e proteção dos capacitores é realizado de forma unitária, dessa forma é dimensionado os equipamentos responsáveis por tais funções de acordo com os valores de cada capacitor e não referente ao banco de capacitores como um todo.

Os equipamentos de manobra, controle e proteção, e as ligações devem ser projetadas para suportar permanentemente uma corrente igual a 1,3 vezes a corrente dada para uma tensão senoidal de valor eficaz à tensão nominal, na frequência nominal (NBR5060).

$$S = P + jQ \quad (6.26)$$

$$P=0 \rightarrow S = jQ \quad (6.27)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (6.28)$$

$$I_{cap} = \frac{Q_{cap}}{\sqrt{3} \cdot V_{FF}} \quad (6.29)$$

$$I_{cap\ 1\ e\ 2} = \frac{2,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} \quad (6.30)$$

$$I_{cap\ 1\ e\ 2} = 3,79\ A$$

$$I_{cap\ 3} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38} \quad (6.31)$$

$$I_{cap\ 3} = 15,19\ A$$

$$I_{cap\ 4\ a\ 8} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0,38} \quad (6.32)$$

$$I_{cap\ 4\ a\ 8} = 30,38\ A$$

$$I_{chave} \geq 1,65 \cdot I_{cap} \quad (6.33)$$

$$I_{chave\ 1\ e\ 2} \geq 1,65 \cdot 3,79 \quad (6.34)$$

$$I_{chave\ 1\ e\ 2} \geq 6,26\ A$$

$$I_{chave\ 3} \geq 1,65 \cdot 15,19 \quad (6.35)$$

$$I_{chave\ 3} \geq 25,06\ A$$

$$I_{chave\ 4\ a\ 8} \geq 1,65 \cdot 30,38 \quad (6.36)$$

$$I_{chave\ 4\ a\ 8} \geq 50,12\ A$$

Quadro 13: Discriminação da corrente elétrica de cada capacitor

Capacitor	Carga Reativa (kVAr)	Corrente (A)	Corrente da Chave (A)
1 e 2	2,5	3,79	6,26
3	10	15,19	25,06
4 a 8	20	30,38	50,12

Fonte: O Autor.

6.3.3. Dimensionamento dos Fusíveis

$$I_{FUS} = (1,65 \text{ a } 1,80) \cdot I_{cap} \quad (6.37)$$

$$I_{FUS_{1 e 2}} = (1,65 \text{ a } 1,80) \cdot 3,79 \quad (6.38)$$

$$I_{FUS_{1 e 2}} = 6,25 \text{ à } 6,82A$$

$$I_{FUS_3} = (1,65 \text{ a } 1,80) \cdot 15,19 \quad (6.39)$$

$$I_{FUS_3} = 25,06 \text{ à } 27,34A$$

$$I_{FUS_{4 a 8}} = (1,65 \text{ a } 1,80) \cdot 30,38 \quad (6.40)$$

$$I_{FUS_3} = 50,12 \text{ à } 54,68A$$

Quadro 14: **Relação de Valores comerciais de correntes de fusíveis.**

Correntes comerciais de fusíveis (A)
6
10
16
20
25
32
40
50
63
80

Fonte: Catálogo WEG - Capacitores para correção do FP.

Quadro 15: Discriminação da corrente dos fusíveis.

Capacitor	Carga Reativa (kVAr)	Corrente (A)	Corrente do Fusível (A)
1 e 2	2,5	3,79	6
3	10	15,19	25
4 a 8	20	30,38	50

Fonte: O Autor.

6.3.4. Dimensionamento dos Contatores

$$I_{\text{CONTATOR}} \geq 1,88 \cdot Q_{\text{cap}} \quad (6.41)$$

ou

$$I_{\text{CONTATOR}} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot I_{\text{cap}} \quad (6.42)$$

I_{CONTATOR} = Corrente contator (A)

Q_{CAP} = Carga capacitor (kVAr)

I_{CAP} = Corrente capacitor (A)

$$I_{\text{CONTATOR}_{1 \text{ e } 2}} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot 3,79 \quad (6.43)$$

$$I_{\text{CONTATOR}_{1 \text{ e } 2}} \geq 5,11 \text{ a } 5,30 \text{ A}$$

$$I_{\text{CONTATOR}_3} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot 15,19 \quad (6.44)$$

$$I_{\text{CONTATOR}_3} \geq 20,50 \text{ a } 21,26\text{A}$$

$$I_{\text{CONTATOR}_{4 \text{ a } 8}} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot 30,38 \quad (6.45)$$

$$I_{\text{CONTATOR}_{4 \text{ a } 8}} \geq 41 \text{ a } 42,53^{\text{a}}$$

Quadro 16: Discriminação das correntes nos contadores.

Capacitor	Carga Reativa (kVAr)	Corrente (A)	Corrente no Contador (A)
1 e 2	2,5	3,79	5,11 a 5,30
3	10	15,19	20,50 a 21,26
4 a 8	20	30,38	41 a 42,53

Fonte: O Autor.

6.3.5. Dimensionamento dos Condutores de Alimentação

$$I_{\text{CABO}} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot I_{\text{cap}} \quad (6.46)$$

$$I_{\text{CABO}_{1 \text{ e } 2}} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot 3,79 \quad (6.47)$$

$$I_{\text{CABO}_{1 \text{ e } 2}} \geq 5,11 \text{ a } 5,30$$

$$I_{\text{CABO}_3} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot 15,19 \quad (6.48)$$

$$I_{\text{CABO}_3} \geq 20,50 \text{ a } 21,26\text{A}$$

$$I_{\text{CABO}_{4 \text{ a } 8}} \geq (1,35 \text{ a } 1,40) \cdot 30,38 \quad (6.49)$$

$$I_{\text{CABO}_{4 \text{ a } 8}} \geq 41 \text{ a } 42,53^{\text{a}}$$

Quadro 17: Discriminação das correntes nos cabos.

Capacitor	Carga Reativa (kVAr)	Corrente (A)	Corrente nos Cabos (A)
1 e 2	2,5	3,79	5,11 a 5,30
3	10	15,19	20,50 a 21,26
4 a 8	20	30,38	41 a 42,53

Fonte: O Autor.

6.4. Análise da Instalação Atual

6.4.1. Irregularidades nas Instalações Elétricas

Durante as visitas realizadas na empresa CooperPasso, foi possível analisar recorrentes falhas da manutenção e também nas instalações elétricas que forma realizadas de forma inadequada referente as normas regentes.

Para a injeção dos capacitores a rede é feito de forma individual, onde utiliza-se capacitores específicos para esta atividade. No caso da instalação atual, os capacitores são classificados de como de utilização normal, ou seja, inapropriados para o projeto em questão, acarretando danos aos capacitores.

Figura 5: Contator utilizado atualmente.



Fonte: O Autor.

Conforme os cálculos de dimensionamento dos componentes da instalação da correção do FP apresentados anteriormente, os equipamentos de proteção dos capacitores estão fora das tolerâncias aceitáveis, assim, podendo fornecer riscos aos equipamentos (capacitores).

Podemos verificar isso na próxima figura.

Figura 6: Disjuntores de proteção individual de capacitores.



Fonte: O Autor.

Os valores aceitáveis para haver uma proteção dentro das normas seriam de 6 a 6,82A.

O ambiente fabril muitas vezes apresenta áreas com níveis maiores de insalubridade, no nosso caso com o beneficiamento do grão bruto vindo direto da lavoura, há um elevado grau de poeira. A imagem a seguir nos mostra o estado do interior de um dos painéis elétricos, a poeira entra dentro e se acumula.

O principal fator de risco nesses casos são o de princípio de incêndios pelo fato de que o pó proveniente dos grãos de milho e soja são altamente incendiáveis. Outro fator de risco é de curto-circuito, devido a diminuir a resistência a passagem de corrente elétrica entre partes energizadas dos componentes elétricos.

Podemos também citar outro risco devido ao mau isolamento mecânico dos painéis, a entrada de animais no seu interior. Este último fator pode render diversos danos às instalações e equipamentos conectados à rede através de curtos-circuitos entre áreas energizadas dos painéis.

Durante minha visita, foi relatado por um eletricista local um acontecimento da empresa onde um roedor entrou no painel e provocou um curto-circuito no barramento geral no painel, deixando toda a empresa sem energia elétrica.

Figura 7: Disjuntor de proteção sem fixação adequada.



Fonte: O Autor.

A imagem anterior também nos demonstra outra irregularidade, como vemos à direita há dois dispositivos de proteção mal fixados, promovendo riscos durante sua operação e também de curtos-circuitos movimentações inapropriadas dentro do painel.

Durante a visita, também se verificou outro fator proporcionador de riscos, como vemos na próxima figura há a presença de materiais com grande grau de combustão, no caso uma caixa de papelão e folhas de papéis próximo aos capacitores.

Figura 8: Materiais inapropriados dentro do painel elétrico.



Fonte: O Autor.

Em outro painel constatou-se outra irregularidade, além da presença de materiais com alto grau de combustão, também houve a presença de materiais com alto índice de condução de eletricidade, no caso, um recipiente de agrotóxico feito de alumínio, que estava muito próximo dos terminais do disjuntor geral dos painéis de comando. Podemos verificar na próxima figura.

Figura 9: Material condutor elétrico inapropriado dentro do painel elétrico.



Fonte: O Autor.

Um fator que proporciona grandes riscos de choque elétrico a quem realiza a operação/manutenção dos painéis é a exposição de áreas vivas em terminais de cabos e também dos equipamentos de proteção e comando. Abaixo verifiquemos a não isolamento elétrica dos terminais dos cabos de entrada e saída de um disjuntor.

Figura 10: Regiões energizadas sem proteção contra choques elétricos.



Fonte: O Autor.

A próxima figura nos demonstra o mesmo erro de proteção na isolação de regiões energizadas, neste caso o barramento principal encontra-se com a isolação elétrica danificada devido a um curto-circuito anterior, e ainda os cabos de entrada do disjuntor geral da instalação está sem as devidas proteções contra fugas e arcos elétricos.

Figura 11: Exposição de barramentos energizados.



Fonte: O Autor.

Como podemos perceber, na região superior da imagem vemos o barramento energizado com a falta de isolamento elétrico, onde é visualmente possível caracterizar a falta do mesmo devido a algum curto-circuito acontecido anteriormente.

6.5.2. Propostas de Adequações da Instalação

6.5.2.1. Reator de Dessintonia Bloqueador de Harmônicas

Em redes industriais há muito a presença de harmônicas provocadas por diversas origens de cargas não-lineares (retificadores, inversores, etc.) e é colocado em risco capacitores usados para a correção do FP devido a uma possível ressonância.

Figura 12: Reator de Dessintonia Bloqueador de Harmônicas



Fonte: sptrafotransformadores.com.br

Esse reator elimina as distorções harmônicas evitando possíveis explosões devido a presumíveis ressonâncias e evita a redução da vida útil dos equipamentos. A ligação do reator de dissintonia é realizada de modo em série com o capacitor, da forma com que realize um filtro de frequências indesejáveis ao sistema.

As correntes de sobrecarga podem ser produzidas por uma tensão excessiva na frequência fundamental, ou por harmônicos, ou por ambos (NBR 5060, 1977). As harmônicas também fornecem o sobrecarregamento dos capacitores, dessa maneira o reator aumenta sua eficiência de fornecimento de carga reativa.

Quadro 18: Orçamento de Reatores de Dessintonia.

Capacitor	Carga Reativa (kVAr)	Qtidade	Potência (kVAr)	Valor Unitário (R\$)	Valor (R\$)
1 e 2	2,5	2	5	149,00	298,00
3	10	1	10	299,00	299,00
4 a 8	20	4	25	590,00	2360,00
TOTAL	*	*	*	*	2957,00

Fonte: Catálogo WEG – Capacitores para correção do FP.

A cima vemos o orçamento dos reatores de dissintonia para o projeto em questão, demonstrando o custo e dimensionamento de cada equipamento.

6.5.2.2. Relé Numérico

Este equipamento tem a finalidade de atuar na proteção do banco de capacitores através da leitura das correntes *in-rush*, onde envia aos controladores um sinal binário sobre a atual situação do sistema. Também realiza o envio de sinais de sobrecarga e falta à terra.

Figura 13: Relé Numérico.



Fonte: www.nei.com.br

As sobrecargas e os aquecimentos diminuem a vida dos capacitores e, em consequência, as condições de funcionamento (isto é, temperatura, tensão e corrente) devem ser rigorosamente controladas (NBR5060).

Em qualquer equipamento elétrico as características de trabalho devem serem seguidas para um funcionamento adequado e sem desgastes indevidos, o mesmo acontece com os capacitores, com o controle de corrente, tensão e frequência injetados a ele.

Quadro 19: Orçamento de Relé de sobrecorrente.

Equipamento	Qtidade	Valor Unitário (R\$)	Valor (R\$)
Transformador De Corrente - Tc 80/5	24	80	1920,00
Relé de Sobrecorrente ABB 601	2	1590,00	3180,00
TOTAL	*	*	5100,00

Fonte: www.nei.com.br

No quadro anterior vemos o orçamento dos relés de sobrecorrente para o projeto em questão, onde além dos mesmos, será necessário a compra de transformadores de corrente para atender as características de utilização dos relés de sobrecorrente.

6.5.2.3. Contatores Específicos para Manobra de Capacitores

Na realização da manobra de fechamento do banco de capacitores à rede acontece um fenômeno chamado de corrente *in-rush*. Onde há a elevação da corrente em até $100 \times I_n$ devido à baixa impedância associada à rede, prejudicando os capacitores injetados à rede e consequentemente reduzindo sua vida útil.

Para a solução deste problema é utilizado contatores específicos para essa manobra, onde possui características construtivas especiais, como a presença de resistores de pré-carga ligados em série onde limitam a corrente *in-rush* devido a aumentar a impedância total da carga (banco de capacitores). Após um curto espaço de tempo, os contatos principais são acionados e os resistores são retirados do circuito.

Devem ser utilizados dispositivos de manobra, especialmente previstos para operação de capacitores (NBR5060).

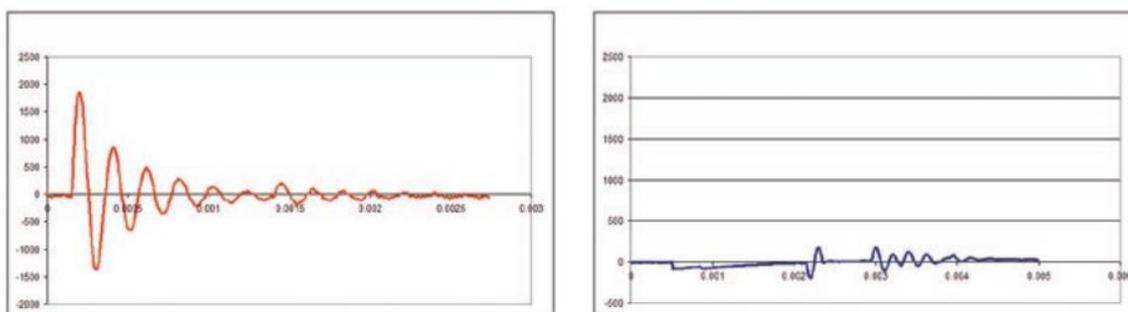
Figura 14: Contator com pré-carga.



Fonte: Catálogo WEG – Manobra de Capacitores

Como podemos perceber, há existência de um acoplamento adicional comparado aos contadores de atuação nominal. Este, faz com que insira uma resistência responsável por diminuir a corrente no momento de acionamento do capacitor.

Figura 15: Corrente sem pré-carga x Corrente com pré-carga.



Fonte: Catálogo WEG – Manobra de Capacitores.

A figura demonstra a corrente elétrica durante a injeção do banco de capacitores à rede, podemos perceber a redução drástica da mesma durante o período.

Quadro 20: Orçamento de Capacitores de manobra de capacitor.

Equipamento	Qtde	Valor Unitário (R\$)	Valor (R\$)
Contator De Manobra De Capacitor WEG Cwmc10 10A 220Vac	2	91,90	183,80
Contator De Manobra De Capacitor WEG Cwmc25 25A 220Vac	1	177,00	177,00
Contator De Manobra De Capacitor WEG Cwmc50 50A 220Vac	4	370,00	1480,00
TOTAL	*	*	1840,80

Fonte: WEG

No quadro anterior vemos a descrição dos capacitores de manobra de capacitor necessários para o projeto, demonstrando seus respectivos valores comerciais.

6.5.2.4. Proteção contra surto de tensão

As descargas atmosféricas são responsáveis pela redução da vida útil e na maioria das vezes estrago parcial/completo de equipamentos elétricos. Capacitores que podem ser submetidos a sobretensões elevadas, devido a descargas atmosféricas devem ser adequadamente protegidos (NBR5060).

Para a proteção dos equipamentos conectados à rede elétrica, pode-se utilizar um dispositivo chamado de DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surtos), onde é instalado no painel de comando do circuito. Ele deverá atuar sim que houver uma sobretensão, realizando

uma conexão das fases anormais com o sistema de aterramento e forçando atuar instantaneamente os dispositivos de proteção (disjuntores e/ou fusíveis).

Figura 16: Modelos de DPS.



Fonte: www.jetluz.com.br

A figura anterior nos demonstra três tipos de DPS, sendo o primeiro, da esquerda para direita, monofásico, posteriormente também monofásico, porém com proteção ao neutro, e o terceiro um DPS para sistemas trifásicos.

Para realizar a inserção do equipamento ao circuito, foi realizado o orçamento a seguir.

Quadro 21: Orçamento de DPS.

Equipamento	Qtidade	Valor Unitário (R\$)	Valor (R\$)
DPS 4 Pólos 20-40kA	8 peças	150,00	1200,00
Conectores	48 peças	0,50	24,00
Cabeamento	5 metros	2,25	11,25
Mão de obra técnica	3 horas	55,00	165,00
TOTAL	*	*	1400,25

Fonte: www.lojaeletrica.com.br

7. RESULTADOS FINAIS

Ao passar dos anos a utilização da energia elétrica está se tornando ponto fundamental para o cotidiano e evolução da sociedade, tendo como pontos criteriosos bem distribuídos que veem desde a saúde social até grandes indústrias multinacionais. No Brasil, existem dados que comprovam a necessidade de geração de 1600 MW por ano.

Com este aumento crescente, há a preocupação constante com o fornecimento de energia elétrica para todos os habitantes, falando de uma melhor maneira, preocupação para fornecer uma boa energia a sociedade em geral.

Esta apreensão está relacionada a diversos fatores, mas um ponto em questão que é levado em consideração é o sobrecarregamento dos circuitos distribuidores por potências reativas.

As concessionárias necessitaram adotar normas para regulamentar/parametrizar valores aceitáveis de FP para que flua uma energia limpa nas redes distribuidoras e não sobrecarregue as redes de transmissão e distribuição.

As indústrias, principais consumidoras de energia reativa dentro da sociedade, tendem a buscar maneiras de reduzir estas. O uso de banco de capacitores traz esta finalidade com grande eficiência.

Com o estudo de cada caso específico, considerando o levantamento de cargas indutivas e aplicação de uma configuração de banco de capacitores, há o equilíbrio de potências e assim o FP se coloca em valores aceitáveis e admissíveis.

Além de benefícios à concessionária de energia elétrica, o consumidor também é afetado por pontos favoráveis à sua instalação. Sobrecarregamentos de equipamentos e cabos, oscilações de tensões e correntes, e ruídos são alguns quesitos que são evitados com a correção do FP.

Como há a necessidade de fazer a instalação de bancos de capacitores para a compensação reativa das cargas indutivas da instalação, existe a obrigação de se realizar um bom projeto elétrico do mesmo, levando em consideração todas as normas técnicas regentes na área.

Conforme a pesquisa e trabalho realizado em cima de uma instalação elétrica de compensação do FP, vemos que não foram adotadas e seguidas todas as normas de segurança, trazendo riscos diversos aos operadores de máquinas, equipe de manutenção e a própria instalação elétrica e seus equipamentos nela conectados.

A proteção do banco de capacitores não foi levada em consideração quando realizado o projeto original, deixando como consequência um alto grau de possíveis explosões, redução

da vida útil e curtos-circuitos ocorrerem nos mesmos. Para que haja a redução destes riscos, foram propostas soluções com a implantação de equipamentos responsáveis por realizar leituras e ações dos diversos quesitos ocasionadores de avarias nos capacitores, cada um com suas próprias características de atuação.

Para extinguir esses riscos de explosões, que na maioria das vezes são causados por correntes harmônicas, teve-se a proposta de implantar bloqueadores de dessintonia, equipamento no qual é ligado em série com os capacitores e realiza um processo de filtragem das correntes harmônicas, deixando percorrer uma energia mais limpa aos capacitores.

Descargas atmosféricas produzem grandes danos a equipamentos conectados à rede, por este motivo, a norma NBR5060 traz requisitos mínimos para proteção dos bancos de capacitores, onde as utilizações de equipamentos de proteção são essenciais para a finalidade.

Observando que na instalação elétrica do projeto não havia isto, foi analisado a implantação de DPS's, equipamento no qual realiza a proteção dos capacitores contra surtos de tensão na rede.

No momento de manobras do banco de capacitores, podem ocorrer picos de correntes elétrica, acarretando danos e redução da vida útil de equipamentos. Para evitar isto, a inserção de relés numéricos ao circuito produz tal proteção ao mesmo, realizando a leitura instantânea da corrente do circuito e atuando quando necessário. Este equipamento além de detectar correntes *in-rush*, realiza a medição de sobrecargas no sistema, no nosso caso, o circuito de capacitores.

Um ponto em questão que não foi levado em consideração no projeto original, foi a especificação dos equipamentos responsáveis por realizar a conexão dos capacitores a rede, onde foram instalados contadores de características normais e não contadores específicos para esta atividade, que possuem em seu mecanismo resistores chamados de pré-carga que auxiliam na redução dos picos de corrente elétrica no circuito.

Com a visita a campo na empresa, foi possível analisar em suas instalações outras irregularidades perante as normas regentes, onde áreas energizadas ficam expostas, facilitando riscos a choques elétricos a usuários do painel. Dentro dos painéis de comando foi possível perceber a presença de materiais inapropriados, aumentando os riscos de incêndio e de curto-circuito. A falta de manutenção periódica e a ausência de mão de obra qualificada demonstraram consequências nas instalações, onde equipamentos apresentavam processos de instalação equivocadas e não seguiam as normas técnicas regentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Regulamenta a definição, os valores de referência e a abrangência na aplicação do Fator de Potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras e altera a Resolução Normativa nº. 414, de 9 de setembro de 2010 e os Módulos 1, 3, 5 e 8 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, São Paulo, p. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5060: Guia para Operação de Capacitores de Potência.** Rio de Janeiro, p. 2. 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5060: Guia para Operação de Capacitores de Potência.** Rio de Janeiro, p. 5. 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5060: Guia para Operação de Capacitores de Potência.** Rio de Janeiro, p. 7. 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5060: Guia para Operação de Capacitores de Potência.** Rio de Janeiro, p. 8. 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5060: Guia para Operação de Capacitores de Potência.** Rio de Janeiro, p.9. 1977.

BLOG ENGELÉTRICA, **Tipos de Bancos de Capacitores**, 2011 – Disponível <<https://www.engeletrica.ind.br/tipos-de-bancos-de-capacitores-ceu8> – Online. Acesso em 15 de maio de 2018.

CATÁLOGO WEG – **Manobra de Capacitores.** Disponível <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Contadores/Manobra-de-Capacitores/Linha-CWMC/CONTATOR-CWMC18-10-30X04/p/12783277>>. Online. Acesso em 23 Set 2018.

CATÁLOGO WEG – **Transformador Óleo Distribuição**. Disponível <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-e-Reatores-a-%C3%93leo/Transformadores-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o-a-%C3%93leo/301-a-3-000-kVA/Transformador-%C3%93leo-500-0kVA-13-8-0-38kV-CST-ONAN/p/13637134>>. Online. Acesso em 24 Set 2018.

COTRIM, Ademaro Alberto Machado Bittencourt, **Instalações Elétricas**, 5ª Edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

CREDER, H.; **Instalações Elétricas**. 15ª Edição. São Paulo. Editora LTC (Grupo GEN), 10/09/2018, p.440.

DUAILIBE, Paulo. **Capacitores: Instalação e Correção do Fator de Potência: Consultoria para Uso Eficiente de Energia**. 1ª edição. 2000. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07_capacitorese_fatordepotencia.pdf>. Acesso em: 06 set. 2018.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

JACQUES, Luiz. Blog Saber Elétrica. **Banco de capacitores**, 2014. Disponível em <<https://www.sabereletrica.com.br/banco-de-capacitores>>. Online. Acesso em 29 de maio de 2018.

KAGAN, N.; OLIVEIRA C. C.; ROBBA, E. J.; **Introdução de Distribuição de Energia Elétrica**. 1º Edição. São Paulo. Editora Edgard Blucher, p.344.

JETLUZ. Disponível <<http://www.jetluz.com.br/dispositivo-de-protecao-contrasurtos-dps-by1-jng-pr-791669-391612.htm>>. Online. Acesso em 23 Set 2018.

NEI SOLUÇÕES. Disponível <<https://www.nei.com.br/produto/2013-09-rele-numeric-ref601-aps-componentes-eletricos-ltda?id=831d3e50-6e64-11e4-9fa8-0e94104de12e>>. Online. Acesso em 22 Set 2018.

LOJA DA ELÉTRICA. Disponível < <http://www.lojaeletrica.com.br/protetor-dps,dept,7006.aspx>>. Online. Acesso em 15 Set 2018.

MAMEDE FILHO, João.; **Fator de potência. Instalações Elétricas Industriais.** 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007. p. 177-225.

PINTO, Milton de Oliveira. **Energia Elétrica: Geração, Transmissão e Sistemas Interligados.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. p. 136.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização.** Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Power Systems; **Resolução ANEEL 456 de 29/11/2000 Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.** p. 6. 2000.

ROBBA, E. J.; **Introdução a Sistemas Elétricos de Potência.** 2ª Edição. São Paulo; Editora Edgard Blucher, 09/09/2018. p. 484.

SP TRAFIO INDUSTRIA E COMÉCIO DE ELETRO ELETRONICOS – LTDA
Disponível <<http://sptrafotransformadores.com.br/reator-de-dessintonia-trifasico-bloqueador-de-harmonic.html>>. Online. Acesso em 20 Set 2018.

WEG ACIONAMENTOS. **Manual para Correção do Fator de Potência.** São Paulo, 2009. p. 38.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.

VIEIRA, P. A.; **Correção do Fator de Potência.** 2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Manuais CNI, 1989, p. 154.

APÊNDICE A

- Projeto elétrico que serviu como base de estudo e cálculo para a realização do trabalho.