



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DANIEL HERRISON COUTINHO LOBATO

HIGOR DA COSTA TRINDADE

**PROPOSTA DE PROJETO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DO
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNIFAP**

MACAPÁ

2018

DANIEL HERRISON COUTINHO LOBATO

HIGOR DA COSTA TRINDADE

**PROPOSTA DE PROJETO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DO
RESTAURANTE UNIVERSITARIO DA UNIFAP**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em engenharia elétrica, do departamento de ciências exatas e tecnológicas da universidade federal do Amapá como item de avaliação obrigatória.

MACAPÁ

2018

DANIEL HERRISON COUTINHO LOBATO,

HIGOR DA COSTA TRINDADE

**PROPOSTA DE PROJETO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DO
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNIFAP**

Trabalho de conclusão de curso II (TCCII) apresentado ao Curso de bacharelado em engenharia elétrica da Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, como requisito obrigatório para obtenção do grau de Graduado em bacharelado em engenharia elétrica.

Aprovado em _____ de _____ de 2018

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Werbeston Douglas de Oliveira

UNIFAP

Prof. Dr. Geraldo Neves de Albuquerque Maranhão

UNIFAP

Prof. Me. Felipe Monteiro

UNIFAP

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus que nos deu força e sabedoria para que enfrentarmos e superarmos todos os obstáculos que apareceram durante o período da graduação, aos professores Geraldo Neves de Albuquerque Maranhão e Felipe Monteiro pelo esforço demonstrado em nos guiar na elaboração deste trabalho. E ao professor Werbeston Douglas de Oliveira, pela compreensão na rapidez da execução deste.

RESUMO

Este trabalho propõe um projeto de correção do fator de potência do restaurante universitário da universidade federal do Amapá utilizando capacitores fixos, baseando-se em dados coletados do sistema elétrico por meio de um analisador trifásico de energia, com leituras realizadas ao longo de duas semanas ininterruptas com espaço temporal de amostras de 1 segundo. O projeto possui previsão de economizar em até 60% do reativo, aumentando a eficiência energética do sistema e com um tempo de retorno do capital investido, caso seja instalado, de 8 meses.

Palavras chaves: Fator de potência, Energia reativa, Banco de capacitores, eficiência energética.

ABSTRACT

This work presents a power factor correction design of the university restaurant of the federal university of Amapá, using fixed capacitors, based on data collected from the electrical system by means of a three - phase energy analyzer with measurements over two uninterrupted weeks with 1 second sample, cost prediction model of 60% of energy efficiency and a time of return of capital invested when there is 8 months.

Key words: Power factor, Reactive energy, Capacitor bank, energy efficiency.

Lista de Figuras

Figura 1 – Equilíbrio do fator de potência.....	10
Figura 2 – Analisador utilizado no trabalho.....	11
Figura 3 – Circuito RLC.....	12
Figura 4 – Circuito RLC com reatância indutiva maior que a capacitiva.	13
Figura 5 – Circuito RLC com reatância capacitiva maior que a indutiva.	14
Figura 6 – Circuito equivalente.....	14
Figura 7 – Circuito equivalente.....	16
Figura 8 – Ângulo de defasagem entre tensão e corrente.....	18
Figura 9 - Energia ativa x reativa	18
Figura 10– Equilíbrio do fator de potência.....	19
Figura 11 – Variação das perdas de energia em condutores em função do fp.....	20
Figura 12 – Correção do fp por capacitores	21
Figura 13 – O triângulo de potências e a correção do fator de potência	22
Figura 14 – Medição de reativos indutivo e capacitivo (figura não presente na Resolução ANEEL 414-2010).....	29
Figura 15 – Correção do fp – Sistema automático convencional	31
Figura 16 – Corrente de energização (“inrush”) de um capacitor	32
Figura 17 – Contator com resistores de pré-inserção	32
Figura 18 – Redução da corrente de “inrush” de um capacitor com resistores de pré-inserção	33
Figura 19 – Contator queimado por uso inapropriado com capacitores sem resistor de descarga.....	34
Figura 20 - Quadro de cargas do restaurante universitário.....	34
Figura 21 – Variação das potências ao longo de 24 horas.....	35
Figura 22 – Variação das potências e do fator de potência trifásico ao longo de uma semana	35
Figura 23 – Variação das potências e do fator de potência trifásico ao longo de 24 horas	36
Figura 24 – Variação dos fatores de potência ao longo de 24 horas	36
Figura 25 – Variação das correntes ao longo de 24 horas	37
Figura 26 – Variação das tensões e correntes ao longo de 24 horas	37
Figura 27 – Correção fixa em transformadores operando em vazio.....	38
Figura 28 – Variação das potências e do fator de potência trifásico entre 20h00min e 06h00min.....	39
Figura 29 – Variação das potências e do fator de potência trifásico no sábado e domingo	39
Figura 30 – Variação das potências e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores no sábado e domingo.....	40
Figura 31 – Variação das potências e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores entre 20:00 horas e 06:00 horas.....	41
Figura 32 – Variação das tensões e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores entre 20:00 horas e 06:00 horas.....	41
Figura 33 – Variação das tensões e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores durante o fim de semana.....	42
Figura 34 – Variação das tensões e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores durante 24 horas.	42
Figura 35 – Variação das potências e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores entre as 20:00 horas e 06:00 horas.	43

Figura 36 Relação de consumo com e sem banco de capacitores ao longo da semana.....	46
Figura 37 – Regeneração do filme dielétrico	47
Figura 38 – Capacitor para correção do fator de potência de tampa de plástico	48
Figura 39 – Capacitor para correção do fator de potência de tampa metálica.....	49
Figura 40 – Capacitor monofásico (esquerda) e trifásico (direita).....	50
Figura 41 Curvas de retorno financeiro (payback) da instalação do banco de capacitores	51

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Fator de Potência de referência em diversos países.....	25
Tabela 2 Resumo de consumo e fator de potência semanal e mensal sem banco de capacitores	43
Tabela 3 Resumo de consumo e fator de potência semanal e mensal com banco de capacitores	44
Tabela 4 Relação da economia e aumento da eficiência gerada pelo Banco de capacitores.....	45
Tabela 5 Fatura mensal do custo do restaurante universitário sem impostos.....	46
Tabela 6 Orçamento de equipamentos para o banco	51

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	10
2. - CONCEITOS SOBRE POTÊNCIA ATIVA E APARENTE, FATOR DE POTÊNCIA E BANCO DE CAPACITORES.	12
2.1 - CIRCUITOS RLC SOBRE EXCITAÇÃO SENOIDAL	12
2.1.2 – POTÊNCIA DE CIRCUITOS RLC SOBRE EXCITAÇÃO SENOIDAL	14
2.2 PROBLEMAS OCACIONADOS PELO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	19
2.2.1 PRINCIPAIS CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA.	20
2.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS POSSIBILIDADES DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTENCIA	21
2.3.1 - BENEFÍCIOS ADICIONAIS ADVINDOS DA UTILIZAÇÃO DE CAPACITORES	23
3 - FATOR DE POTÊNCIA EM INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS - LEGISLAÇÃO EM VIGOR	24
3.1 LEGISLAÇÃO	24
3.1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES – ENERGIA ELÉTRICA – GRUPOS E MODALIDADES TARIFÁRIAS	25
3.1.2 SÍNTESE DA ATUAL LEGISLAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	26
4. CONFIGURAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SISTEMAS DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	29
4.1 CORREÇÕES POR BANCOS AUTOMÁTICOS CONVENCIONAIS.....	30
4.1.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL	30
5 – ESTUDOS DE CASO DO RESTURANTE UNIVERSITARIO.....	34
5.1 – CARACTERISTICAS DO SISTEMA.....	34
5.2 CORREÇÕES DO FATOR DE POTÊNCIA DO SISTEMA.....	38
5.3 IMPACTOS DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA	43
5.4 ESTRUTURAS FISICA DO BANCO DE CAPACITORES	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 - INTRODUÇÃO

Na engenharia em geral, existe a busca pela eficiência e eficácia durante os processos ou serviços dos diferentes ramos o qual se adequam. Especificamente na engenharia elétrica, quando se fala em sistemas elétricos em corrente alternada, esses fatores podem ser medidos através do máximo aproveitamento da potência elétrica do sistema.

Este máximo aproveitamento da potência elétrica de um sistema e expresso na engenharia elétrica pelo fator de potência, que e obtido pela proporção existente entre a potência ativa e reativa que circula em um circuito conforme a figura 1.

Figura 1 – Equilíbrio do fator de potência.



Fonte: COELBA (2013).

Segundo Vieira (1989), para o correto funcionamento das maquinas elétricas, tais como motores, transformadores, entre outros, são necessários energias ativas e reativas agindo em conjunto. A energia ativa e a que de fato executa o trabalho, as duas devem existir em conjunto. Porem a energia reativa deve ser a menor possível, pois, para utilização de altos níveis de reativos são necessários condutores com maior bitola e transformador de maior potência.

Sendo assim se faz necessário à correção deste fator de potência no circuito de corrente alternada. Isto se baseia na produção de potência reativa contraria aquela apresentada no sistema estudado, com o intuito de equilibrar o consumo da potência aparente, buscando o máximo aproveitamento.

Este trabalho tem como objetivo a criação de um projeto para a correção do fator de potência do restaurante universitário, o mesmo possui seu fator de potência, em virtude de seu transformador operar em períodos longos com baixa carga ou literalmente em vazio, em desconformidade com a legislação vigente, em virtude desta desconformidade o estabelecimento encontra-se, assim como outros da universidade, gerando um ônus na fatura de energia provocando um desperdício de recursos públicos e energia elétrica.

Este projeto possuirá como base os dados coletados por meio do analisador da Embrasul RE7000 mostrado na figura 2, no intervalo de 06 a 20 de dezembro de 2017, período no qual o estabelecimento encontrava-se totalmente operacional, por meio dos dados irá ser feita análises a cerca da eficiência energética do sistema e propor a melhor solução possível de acordo com a atual conjuntura da universidade.

No capítulo dois apresentam-se os conceitos básicos e parâmetros para construção e instalação dos bancos de capacitores, bem como suas normas e procedimentos. No capítulo três faz menção à legislação vigente, já o capítulo quatro descreve os parâmetros de medição, especificação, precauções e instalações dos bancos de capacitores, no capítulo cinco será apresentado o estudo do sistema do restaurante universitário partindo da análise dos dados coletados com o analisador trifásico.

Figura 2 – Analisador utilizado no trabalho.



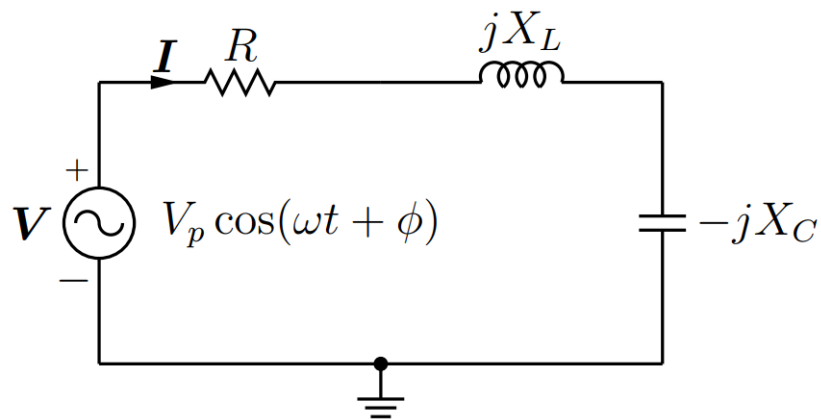
Fonte: Próprio autor.

2. - CONCEITOS SOBRE POTÊNCIA ATIVA E APARENTE, FATOR DE POTÊNCIA E BANCO DE CAPACITORES.

2.1 - CIRCUITOS RLC SOBRE EXCITAÇÃO SENOIDAL

Segundo Stephan (2015), a função senoidal, dentre outros motivos foi escolhida para a transmissão de potência pelo fato de nos permitir alterar o seu nível de tensão com mais facilidade por suas características intrínsecas.

Figura 3 – Circuito RLC.



Fonte: Próprio autor.

Pode-se observar a queda de tensão em cada elemento nos baseando na lei de Ohm, assim obtêm-se as seguintes equações:

$$V_R = R I \quad (1a)$$

$$V_L = j X_L I \quad (1b)$$

$$V_C = -j X_C I \quad (1c)$$

Onde:

- V_R é queda de tensão através da resistência medida em volts,
- V_L é queda de tensão no indutor medido em volts,
- V_C é queda de tensão no capacitor medido em volts,
- I e a corrente medida em amperes,

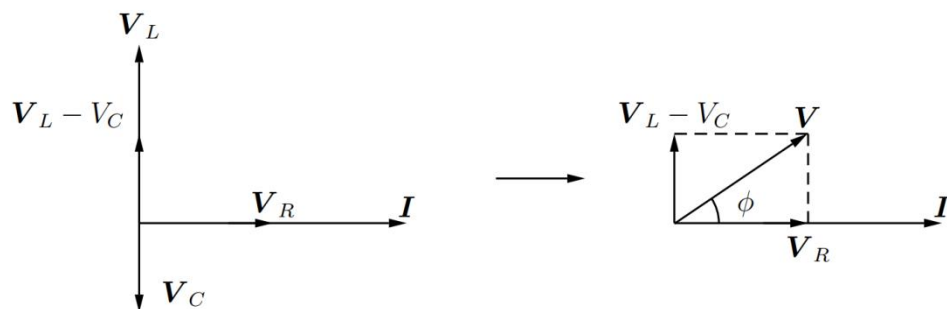
- R, X_L e X_C são respectivamente a resistência e as reatâncias medidas em ohms.

Segundo Mamede (2010) a corrente I esta em fase com a diferença de potencial V_R , e a qual será a mesma para o capacitor e indutor já que os mesmos estão em serie no circuito da figura 3, já a corrente esta atrasa em relação à tensão V_L e adiantada em relação a tensão V_C .

Logo se torna evidente que V_L e V_C encontram-se 180° fora de fase uma em relação à outra, neste caso a duas situações possíveis, a primeira é quando a reatância indutiva for maior que a reatância capacitiva ou o inverso.

Se a reatância indutiva for maior que a capacitiva, o circuito será predominantemente indutivo, pois V_L é maior que V_C , o que atrasara a corrente I em relação a V em ϕ graus ou radianos, ϕ é o ângulo da impedância total de Z , como podemos evidencia na figura 4.

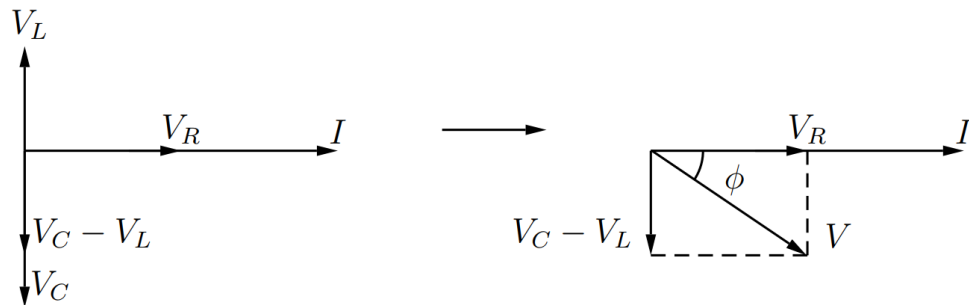
Figura 4 – Circuito RLC com reatância indutiva maior que a capacitiva.



Fonte: Próprio autor.

Já quando a reatância capacitiva é maior do que reatância indutiva, o circuito é capacitivo. Pois V_C é maior que V_L , o que adianta a corrente I em relação a V em ϕ graus ou radianos. A figura 5 exhibe os fasores de tensão nesta situação.

Figura 5 – Circuito RLC com reatância capacitiva maior que a indutiva.

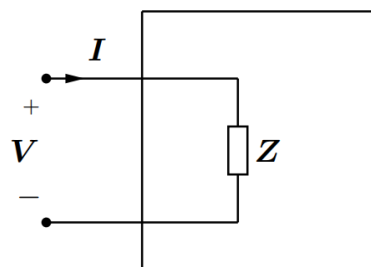


Fonte: Próprio autor.

2.1.2 – POTÊNCIA DE CIRCUITOS RLC SOBRE EXCITAÇÃO SENOIDAL

Segundo Codi (2004), como quase todas as unidades consumidoras consomem energia reativa indutiva, devido à predominância de cargas com características indutivas que necessitam de campo magnético para seu funcionamento tais como motores, transformadores, fornos de indução, entre outros. A tendência é que predomine circuitos em que a reatância indutiva será maior que a capacitiva, logo serão necessários dois tipos de potências a ativa e a reativa, façamos uma análise do circuito da figura 3 considerando o seu equivalente na figura 6.

Figura 6 – Circuito equivalente.



Fonte: Próprio autor.

Onde: Z representa a impedância equivalente e V e I são os seguintes sinais senoidais:

$$V = V_P \cos(\omega t + \phi_V) \quad (2a)$$

$$I = I_P \cos(\omega t + \phi_I) \quad (2b)$$

Definindo a corrente como referência, têm-se:

$$V = VP \cos(\omega t + \varphi_V - \varphi_I) = VP \cos(\omega t + \varphi) \quad (3a)$$

$$I = IP \cos(\omega t) \quad (3b)$$

A potência instantânea P é o produto da corrente I pela tensão V para um dado instante t :

$$P = VP IP \cos(\omega t + \varphi_V - \varphi_I) \cos(\omega t) \quad (4)$$

Logo, tomando como base as equações exploradas até o momento, têm-se as seguintes situações, a primeira é quando V e I ambos positivos ou negativos, todavia o seu produto que resulta em P só poderá ser positivo, logo se tem um consumo de potência. Agora no caso em que a corrente I seja positivo e a tensão V negativa, ou tensão positiva com corrente negativa, o seu produto só poderá ser negativo, ou seja, esta potência negativa não encontrasse disponível para a realização de trabalho. Usando identidades trigonométricas na equação 4 obtemos:

$$P = \left(\frac{V_p I_p}{2}\right) \cos(\varphi_v - \varphi_i) + \left(\frac{V_p I_p}{2}\right) \cos(\varphi_v - \varphi_i) \cos(2\omega t) - \left(\frac{V_p I_p}{2}\right) \sin(\varphi_v - \varphi_i) \sin(2\omega t) \quad (5)$$

A equação 5 pode ser escrita do seguinte modo:

$$P = P \cos(2\omega t) - Q \sin(2\omega t) \quad (6)$$

$$P = \left(\frac{V_p I_p}{2}\right) \cos(\varphi_v - \varphi_i) \quad (7a)$$

$$Q = \left(\frac{V_p I_p}{2}\right) \sin(\varphi_v - \varphi_i) \quad (7b)$$

Segundo Mamede (2010), P é definido como a potência ativa, aquela que realmente gera trabalho, enquanto que Q é a potência reativa gerada por uma reação do circuito de acordo com sua característica, e a mesma não gera trabalho e é usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, ambas sempre estará presente em circuitos RCL de alimentação senoidal, e embora esta potência reativa seja inevitável, ela

pode ser controlada por meios que serão mostrados mais a frente, este controle se faz necessário em virtude de que quanto mais reativo menos eficiente e nosso circuito, logo se as duas existem no mesmo circuito e aconselhável que a parcela correspondente a potência ativa deve ser sempre a maior possível.

A potência total de um circuito a ativa e a reativa, conhecida como potência aparente pode ser representada fasorialmente, considerando a figura seis:

$$\mathbf{V} = |\mathbf{V}| \angle \varphi_v = V_r + j V_i \quad (8a)$$

$$\mathbf{I} = |\mathbf{I}| \angle \varphi_i = I_r + j I_i \quad (8b)$$

$$\mathbf{Z} = |\mathbf{Z}| \angle \varphi = R + jX \quad (8c)$$

Onde: os índices **R** e **I** representam, respectivamente, a parte real e imaginária da tensão e corrente, dados em RMS. Ainda, $\varphi_{\mathbf{V}} - \varphi_{\mathbf{I}} = \varphi$.

Assim, a potência **S** pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mathbf{S} = V_{rms} I_{rms}^* = (V_r + jV_i)(I_r + jI_i) \quad (9a)$$

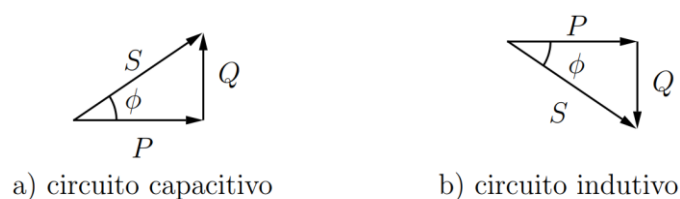
$$\mathbf{S} = V_r I_r + jV_r I_i + jV_i I_r - (V_i I_i) \quad (9b)$$

$$\mathbf{S} = (V_r I_r - V_i I_i) + j(V_r I_i + V_i I_r) \quad (9c)$$

$$S = P + jQ \quad (9d)$$

Portanto, somando os fasores de P e Q, iremos obter o fasor correspondente a potência aparente S. A representação dos fasores destas potências irá nos mostrar o triângulo de potências mostrado na figura sete e que nos permite ter uma ideia mais palpável a respeito destas potências.

Figura 7 – Circuito equivalente.



Fonte: Próprio autor.

Por meio do triângulo de potências podemos inferir matematicamente as seguintes formulas:

$$P = VI \cos(\varphi) \quad (10a)$$

$$Q = VI \sin(\varphi) \quad (10b)$$

$$|S| = VI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (10c)$$

As unidades de potência aparente, **S**, potência real, **P**, e potência reativa, **Q**, são, respectivamente, Volt - Ampères [VA], Watts [W], e Volt - Ampères Reativos [var]. Os valores ou módulos de tensão e corrente vistos nas representações fasoriais são dados em RMS que nada mais é do que o valor de picos das amplitudes divididos pela raiz quadrada de dois.

$$S = \frac{1}{2} VI^* \quad (11)$$

2.1.3 – FATOR DE POTÊNCIA

Segundo Weg (2016), o fator de potência é a razão entre a potência real e a potência aparente, que é igual ao $\cos(\varphi)$ em virtude do triângulo de potências, ele indica a eficiência no uso da energia, logo um alto fator de potência indica um circuito com eficiência alta.

$$FP = \frac{\text{potência real}}{\text{potência aparente}} = \frac{P}{S} = \frac{VI \cos(\varphi)}{VI} = \cos(\varphi) \quad (12)$$

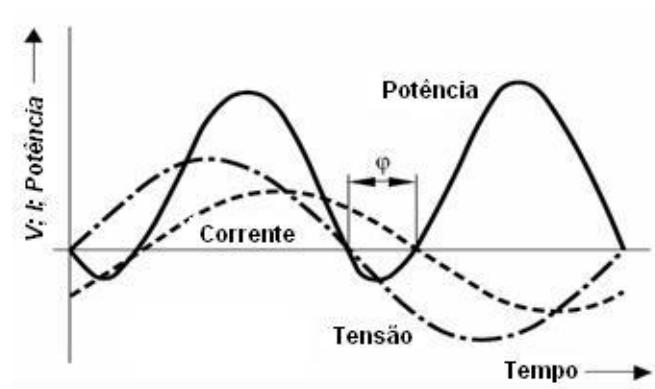
Segundo César (2009), o $\cos(\varphi)$ de um circuito é então o seu fator de potência. Em sua essência o fator de potência determina que parcela da potência aparente se constitua a potência ativa, podendo variar desde 1, quando o ângulo de fase φ é igual a 0° , até 0, quando φ for igual a 90° . Quando $\varphi = 0^\circ$, $P = V I \neq 0$, a tensão e a corrente do circuito estão em fase. Quando $\varphi = 90^\circ$, $P = V I \times 0 = 0$, nenhuma potência está sendo gasta ou consumida.

Por consequência, diz-se que um circuito que possuir sua corrente atrasada da tensão, ou seja, um circuito indutivo tem seu fator de potência atrasado ou indutivo, por outro lado um circuito no qual a corrente segue adiantado da tensão, ou seja, um circuito capacitivo tem o seu fator de potência adiantado ou capacitivo, no final das contas ele acaba sendo uma taxa

de aproveitamento ou eficiência do circuito, assim, é racional projetar um circuito que tenha o maior fator de potência possível, utilizando de uma forma mais eficiente a corrente fornecida e gerando a maior potência ativa dentro da aparente permitida.

Fisicamente falando essa defasagem pode ser explicada pelo fato de que os indutores atrasam a corrente em relação à tensão, devido à necessidade de energia para a criação do campo magnético circulante no núcleo; já os capacitores, que atrasam a tensão em relação a corrente, na necessidade da criação do campo elétrico variável, conforme a figura genérica 8.

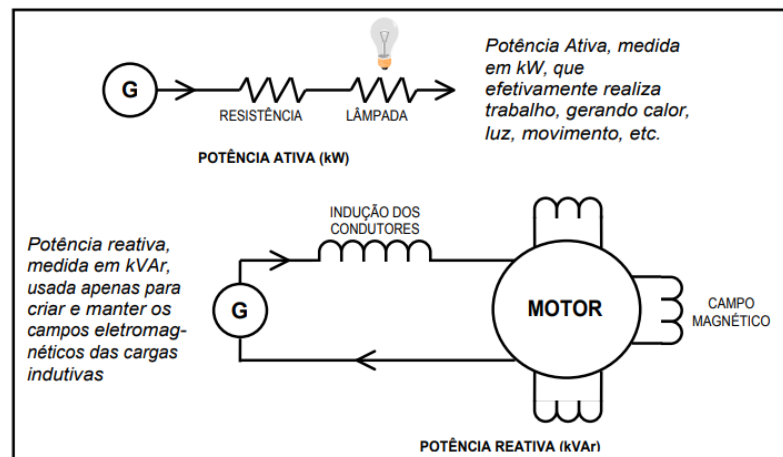
Figura 8 – Ângulo de defasagem entre tensão e corrente



Fonte: SIEMENS (2005).

Como dito anteriormente, o que predomina são as cargas indutivas, como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros, ou seja, a tendência é sempre de que o fator de potência atinja um patamar inferior a legislação vigente que é de 0,92.

Figura 9 - Energia ativa x reativa



Fonte: CODI (2004).

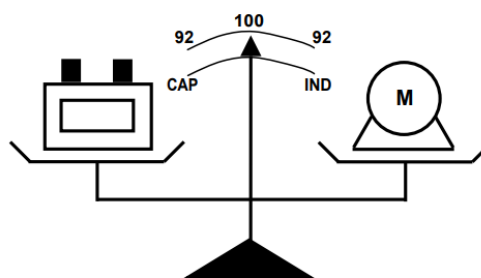
Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa.

Segundo Aneel (2010), O nível Máximo de energia reativa permitida é de 0,92, capacitivo ou indutivo, sendo que valores abaixo destes indicam excedente de reativo, sendo que o mesmo é passível de faturamento e multa. O fator de potência é qualitativamente um índice adimensional que indica a quantidade de potência ativa perante a potência aparente e absorvida por uma instalação ou equipamento elétrico.

Toda via também se têm cargas como, fornos resistivos e lâmpadas incandescentes que conseguem transformar toda a energia consumida em trabalho ou outras formas de energia, estas cargas terão um fator de potência de 100%.

Todo excesso de energia reativa é prejudicial ao sistema elétrico, seja reativo indutivo ou capacitivo, disso resulta que o controle da energia deve ser tal, que o fator de potência da unidade consumidora permaneça sempre dentro da faixa que se estende de 0,92 indutivos até 0,92 capacitivos. Nas instalações com correção do fator de potência por meio de capacitores, os mesmos devem ser desligados, conforme se desativam as cargas indutivas de forma a se manter esta relação de compensação equilibrada conforme a figura 10.

Figura 10– Equilíbrio do fator de potência.



Fonte: CODI (2004).

2.2 PROBLEMAS OCACIONADOS PELO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Segundo Codi (2004), conforme a figura 11 tem-se demonstrado em uma tabela o aumento exponencial das perdas em função do decréscimo do fator de potência, os problemas clássicos associados a um baixo fator de potência são:

Figura 11 – Variação das perdas de energia em condutores em função do fp



Fonte: CODI (2004).

- Favorecimento à ocorrência de sobrecargas na rede elétrica.
- Aumento das perdas de energia em condutores, em decorrência da circulação de maiores parcelas de correntes de natureza reativa.
- Redução dos níveis de tensão, principalmente em pontos mais distantes da origem da alimentação elétrica, devido às quedas de tensão originadas nos circuitos pela circulação de maiores níveis de corrente;
- Comprometimento de parcela da capacidade dos transformadores e alimentadores apenas para suprimento da energia reativa (subutilização do sistema elétrico);
- Incidência de ônus nas contas de energia.

2.2.1 PRINCIPAIS CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA.

Segundo César e Tsuruji (2015), as principais causas de um baixo fator de potência são:

- Motores e transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas.
- Motores e transformadores superdimensionados.
- Grande quantidade de motores de pequena potência.

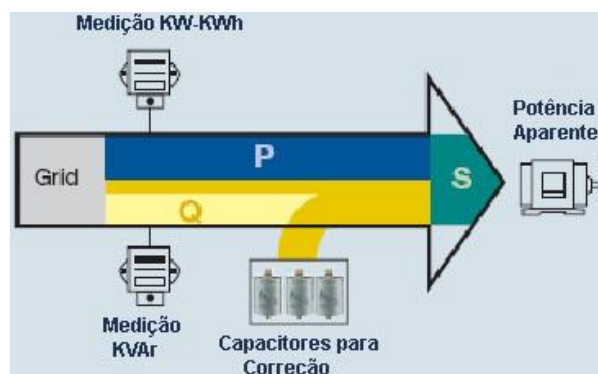
- Maquinas de solda, principalmente as que se baseiam em arco elétrico ou indução direta na peça.
- Lâmpadas de descargas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio sem reatores de alto fator de potência.
- Excesso de energia capacitiva, que pode ser provocados por bancos de capacitores fixos mal dimensionados.

2.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS POSSIBILIDADES DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTENCIA

Como se pode verificar na figura 12, o banco de capacitores irá fornecer a potência reativa consumida pela rede ao invés da distribuidora, desta maneira há três métodos passíveis de utilização para a correção do fator de potência:

- Aumento do consumo de energia ativa;
- Utilização de motores síncronos superexcitados; e
- Utilização de capacitores.

Figura 12 – Correção do fp por capacitores



Fonte: EPCOS (2007)

Basicamente, o banco de capacitor é o método que possui maior exploração para corrigir fator de potência, já que quase sempre se deseja fazer com que uma instalação com características indutivas volte a normalidade estabelecida pela legislação permutando a energia reativa contida nos capacitores com as cargas indutivas no sistema elétrico que antes era fornecida pela concessionária, ou seja, ainda será consumida a energia reativa mas ela será

fornecida na instalação ou próxima por um banco de capacitores automático ou variável, possuem um custo relativamente baixos, dimensões reduzidas e fácil instalação principalmente os de correção em baixa tensão e fixos.

Segundo César (2009), Em sistemas genéricos, para realizarmos a correção do fator de potência por capacitores, calcula-se a potência capacitiva necessária por meio das equações 13a, 13b e 13c, que são representadas graficamente pela figura 13, que mostra que o banco que irá ser calculado terá o objetivo de introduzir uma potência reativa contrária a que esta provocando a diminuição do fator de potência.

$$Q_{CAPACITOR} = Q - [P \cdot \operatorname{tg}(\varphi_2)] \quad (13a)$$

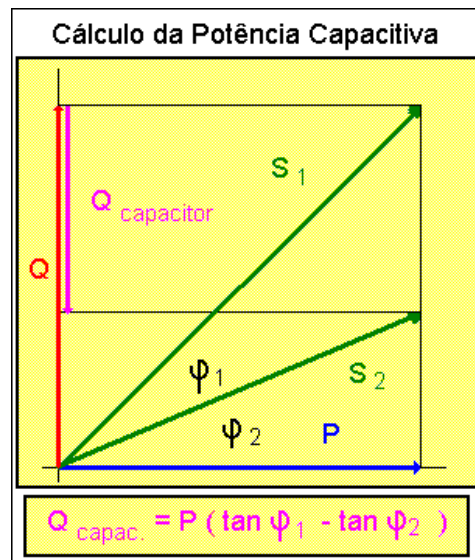
$$Q_{CAPACITOR} = [(P \cdot \operatorname{tg}(\varphi_1)) - (P \cdot \operatorname{tg}(\varphi_2))] \quad (13b)$$

$$P \cdot [\operatorname{tg}(\varphi_1) - \operatorname{tg}(\varphi_2)] = P \cdot [\operatorname{tg}(\operatorname{arccos}(FP1)) - \operatorname{tg}(\operatorname{arccos}(FP2))] \quad (13c)$$

Onde:

- $Q_{CAPACITOR}$ = potência necessária em capacitores (kVAr);
- P = potência ativa demandada pela carga (KW);
- Q = potência reativa indutiva demandada pela carga (kVAr);
- ϕ_1 = ângulo relativo ao fator de potência antes da correção;
- ϕ_2 = ângulo relativo ao fator de potência requerido após a correção;
- fp_1 = fator de potência antes da correção;
- fp_2 = fator de potência requerido após a correção.

Figura 13 – O triângulo de potências e a correção do fator de potência



Fonte: Próprio autor

Em trabalhos práticos sempre se deseja corrigir um sistema elétrico inteiro, seja de uma indústria, residencial ou fabrica, e o equacionamento apresentado acima geralmente utiliza-se em correção em um ou mais equipamentos isolados, ou seja, a correção será feita no próprio equipamento que possui um comportamento bastante previsível e constante e que na maioria das vezes e energizado juntamente com o equipamento, já para a correção de sistemas grandes, é interessantes utilizar-se de ferramentas que ajudem o profissional a calcular melhor esta correção, e na engenharia elétrica em geral o equipamento amplamente utilizado e o analisador trifásico, pois ele ira traçar um gráfico da variação de todas as grandezas elétricas do sistema e permitir que o profissional possa executar uma simulação, que em alguns casos já vem no próprio software do analisador para análise de dados, para corrigir o fator de potência e verificar seu impacto principalmente na tensão do sistema, já que bancos de capacitores em excesso podem elevar demasiadamente a tensão de um sistema.

2.3.1 - BENEFÍCIOS ADICIONAIS ADVINDOS DA UTILIZAÇÃO DE CAPACITORES

Segundo Mamede (2010); Weg (2016), além da adequação do fator de potência os bancos de capacitores, quando bem dimensionados, possuem outras características, tais como:

Temos a liberação de uma banda de potência do transformador devido a menor circulação de correntes de natureza reativas, principalmente quando esta compensação e feita internamente na instalação.

Consequentemente com a liberação da capacidade dos circuitos de distribuição geral e parcial, temos uma diminuição na corrente e nas perdas, principalmente as ocasionadas pelo efeito joule, nos podemos realizar o calculo de redução das perdas percentualmente para uma carga e uma dada potência capacitiva pela equação 14.

$$REDUÇÃODASPERDAS(\%) = \left(1 - \frac{FP^2_i}{FP^2_f}\right) \cdot 100 \quad (14)$$

Onde:

- f_{pi} = fator de potência inicial (antes da correção); e
- f_{pf} = fator de potência final (após a correção).

Teremos também a melhoria dos níveis de tensão no ponto de instalação dos bancos de capacitores, na pratica o calculo do percentual de elevação na tensão relativa à tensão na origem pode ser calculada pela equação 15.

$$\Delta V\% = \frac{PC \cdot XL \cdot L}{10 \cdot V^2} \quad (15)$$

Onde:

- $\Delta V\%$ = elevação percentual da tensão no ponto de instalação do banco de capacitores;
- P_c = potência capacitiva em operação (kVAr);
- XL = reatância indutiva unitária dos circuitos entre a origem e o banco (ohms/km);
- L = comprimento dos circuitos entre a origem e o banco (km); e
- V = tensão fase-fase (KV) na origem.

Segundo Machado (2016), Além destes benéficos já citados, temos:

Redução significativa do custo de energia elétrica, aumento da eficiência energética, melhoria da tensão, aumento da capacidade dos equipamentos de manobra, aumento da vida útil das instalações e equipamentos, redução da corrente reativa na rede elétrica, O bloco de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição.

Esses benefícios adicionais podem ser obtidos por meio de uma avaliação mais criteriosa das possibilidades de localização dos capacitores ao longo da instalação.

3 - FATOR DE POTÊNCIA EM INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS - LEGISLAÇÃO EM VIGOR

3.1 LEGISLAÇÃO

Como se pode verificar na tabela 1, a tendência entre os países desenvolvidos e que a legislação exija cada vez mais um fator de potência próximo de 1.

Tabela 1 – Fator de Potência de referência em diversos países

País	FP mínimo permitido
França	0,93
Portugal	0,93
Bélgica	0,95
Alemanha	0,96
Suíça	0,93
Argentina	0,95
Coréia	0,93
Espanha	0,92

Fonte: Amorim (2008)

3.1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES – ENERGIA ELÉTRICA – GRUPOS E MODALIDADES TARIFÁRIAS

De acordo com Aneel (2010), existe a modalidade tarifária convencional e a modalidade tarifária horária, a modalidade tarifária convencional e aplicada sem distinção de horário considerando-se para o grupo A na forma binômica de tarifa única para demanda de potência em R\$/KW e tarifa única para demanda de energia em R\$/MWh, para o grupo B, na forma monômica com tarifa aplicável ao consumo de energia em R\$/MWh. Já as Modalidades tarifárias horárias tem-se a modalidade tarifária horária azul aplicando-se com as seguintes considerações, para a demanda de potência em KW uma tarifa para o posto tarifário ponta em R\$/KW e outro para fora de ponta em R\$/KW. Já para o consumo de energia em MWh irá ter uma tarifa para o posto tarifário ponta em período úmido, e outra para fora de ponta em período úmido, uma tarifa para o posto tarifário ponta seco e outra para fora de ponta em período seco, todos em R\$/MWh.

Segundo Aneel (2010), a modalidade tarifária horária verde aplicada considerando-se uma tarifa única para a demanda de potência e R\$/kW e outra para o consumo de energia em MWh, sendo que o consumo de energia terá uma tarifa para o posto tarifário ponta em período úmido, outra para o fora de ponta úmido, outra para o período de ponta seco e outra para o período fora de ponta seco todas em R\$/MWh. Existe também a modalidade tarifária horária banca que é aplicada as unidades consumidoras do grupo B, excluindo o subgrupo B4 e baixa renda do subgrupo B1, o que mais caracteriza esta modalidade é o fato de possuir tarifas

diferentes de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e segmentada em três postos tarifários, uma para o consumo de energia para o posto tarifário ponta, intermediário e fora de ponta em R\$/MWh.

Segundo Aneel (2010), o enquadramento das unidades consumidoras nas modalidades tarifária dar-se-á da seguinte forma, no grupo A aqueles com fornecimento superior a 69kV pertencerão a tarifa horária azul, inferiores a 69 kV e com demanda contratada igual ou superior a 300 kW pertencerão a modalidade tarifária horária azul ou verde de acordo com a opção do consumidor, inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW na modalidade tarifária convencional binômica, ou horária azul ou verde de acordo com a opção do consumidor. O grupo B será enquadrado na tarifa convencional monômio, de forma compulsória e automática, ou na modalidade tarifária horária branca, de acordo com a opção do consumidor.

Segundo Aneel (2010), e comum acordo com o consumidor a distribuidora definirá postos tarifários ponta e fora de ponta em horários e dias da semana distintos, considerado que o posto tarifário ponta deve ter a duração de 3 horas consecutivas e ser aplicado em cinco dias da semana.

3.1.2 SÍNTESE DA ATUAL LEGISLAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

De acordo com Aneel (2010), o fator de potência de referência indutivo ou capacitivo possui limite mínimo permitido para as unidades consumidoras do grupo A o valor de 0,92, e o valor correspondente à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são contabilizada de acordo com as equações 16 e 17.

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (16)$$

$$D_{RE}(p) = \left[\underset{T=1}{MAX}^n \left(PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF(p) \right] \times VR_{DRE} \quad (17)$$

Onde:

- E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “fR”, no período de faturamento, em Reais (R\$);
- $EEAM_T$ = montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt - hora (MWh);
- f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;
- f_T = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento;
- VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” da bandeira verde aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt - hora (R\$/MWh);
- $D_{RE}(p)$ = valor, por posto tarifário “p”, correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “fR” no período de faturamento, em Reais (R\$);
- PAM_T = demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “T”, durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);
- $PAF(p)$ = demanda de potência ativa faturável, em cada posto tarifário “p” no período de faturamento, em quilowatt (kW);
- VR_{DRE} = valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul;
- MAX = função que identifica o valor máximo da equação, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto tarifário “p”;
- T = indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;
- p = indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia;
- $n1$ = número de intervalos de integralização “T” do período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta; e
- $n2$ = número de intervalos de integralização “T”, por posto tarifário “p”, no período de faturamento.

Segundo Aneel (2010), o período de 6 horas consecutivos a critério da distribuidora, entre 23:30 as 06:30 horas, apenas os fatores de potência inferiores a 0,92 capacitivos

verificados a cada 1 hora será apurado para o cálculo do E_{RE} e $D_{RE(p)}$, o período complementar somente os fatores inferiores a 0,92 indutivo verificados a cada hora serão contabilizados conforme a figura 14.

Segundo Aneel (2010), as unidades consumidoras que não possuam equipamentos que não permita o emprego das equações 16 e 17 terão seus valores de energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes calculadas conforme as equações 18 e 19.

$$E_{RE} = EEAM \times \left(\frac{f_R}{f_M} - 1 \right) \times VR_{ERE} \quad (18)$$

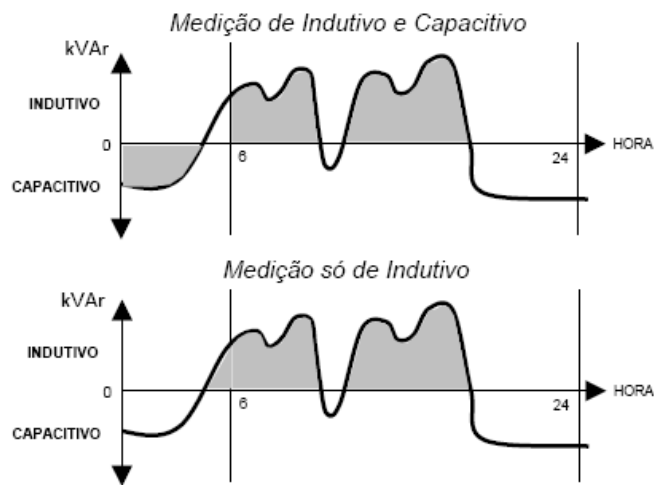
$$D_{RE} = \left(PAM \times \frac{f_R}{f_M} - PAF \right) \times VR_{DRE} \quad (19)$$

Onde:

- E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência, no período de faturamento, em Reais (R\$);
- $EEAM$ = montante de energia elétrica ativa medida durante o período de faturamento,
- em megawatt - hora (MWh);
- f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;
- f_M = fator de potência indutivo médio da unidade consumidora, calculado para o período de faturamento;
- VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia "TE" da bandeira verde aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt - hora (R\$/MWh);
- D_{RE} = valor correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência, no período de faturamento, em Reais (R\$);
- PAM = demanda de potência ativa medida durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

- PAF = demanda de potência ativa faturável no período de faturamento, em quilowatt (kW); e
- VR_{DRE} = valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul.

Figura 14 – Medição de reativos indutivo e capacitivo (figura não presente na Resolução ANEEL 414-2010)



Fonte: CODI (2004)

4. CONFIGURAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SISTEMAS DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

A respeito da correção de fator de potência por banco de capacitores, logo se pensa em bancos automáticos, nesta configuração os capacitores são instalados centralizados na instalação, ligados aos barramentos de distribuição geral ou no barramento de subdistribuição, comandados por controladores automáticos que monitoram as informações da carga, comutando a unidades capacitivas individualmente ou em subgrupos para que se tenha um fator de potência adequado por meio do equilíbrio dos reativos.

Já os bancos fixos são utilizados de forma mais descentralizada, quase que em sua maioria para corrigir problemas localizados em transformadores operando em vazio ou com baixa carga ou em motores específicos que necessitam de correção no local, pelo fato de não necessitarem de controle automático, são definitivamente mais barato e possui uma manutenção mais dócil, toda via o tipo de banco a ser utilizado deve ser de acordo com o que

se deseja atender, por exemplo, em um local de geografia ampla, utilizar vários bancos fixos possa sair mais caro que apenas um automático, entretanto o banco fixo ou automático na entrada do sistema não ira aliviar internamente o sistema, pois a energia reativa será fornecida no tronco do alimentador ocupando a mesma banda de potência internamente no sistema, já o descentralizado faz esta compensação em loco permitindo assim que o sistema tenha um alivio em função de esta energia reativa ser fornecida no local pelos capacitores e não pela rede.

Os bancos fixos possuem os mesmos métodos de ligação dos automáticos, a sua principal diferença e o sistema de controle e de manobra, que são ausentes nos bancos fixos podendo ainda assim ocorrer bancos que sejam mistos com uma parte totalmente fixa e outra variável.

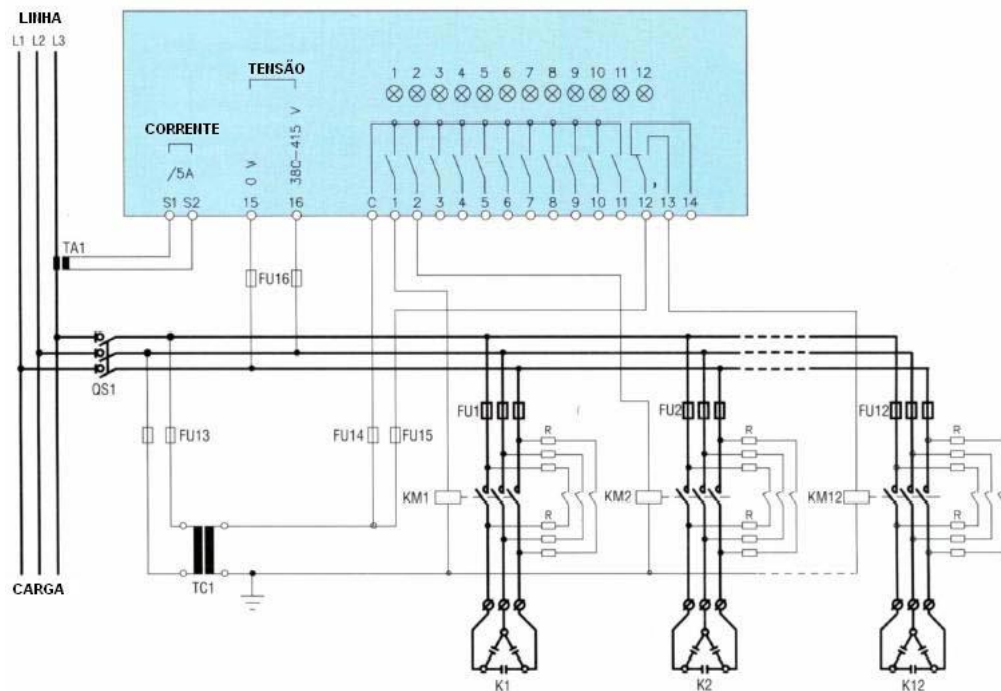
Os bancos fixos geralmente são ligados na baixa tensão por possuírem geralmente uma baixa potência comparada com o sistema.

4.1 CORREÇÕES POR BANCOS AUTOMÁTICOS CONVENCIONAIS

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

Os sistemas convencionais de correção do fator de potência são acionados por contatores eletromecânicos, é composto por transformadores de corrente que é por onde se faz as leituras de carga do sistema, controlador automático com saída a rele, contatores que serão acionados pelo controlador e unidades capacitivas trifásicas, além dos dispositivos de seccionamento e proteção elétrica.

Figura 15 – Correção do fp – Sistema automático convencional



Fonte: LOVATO (2004).

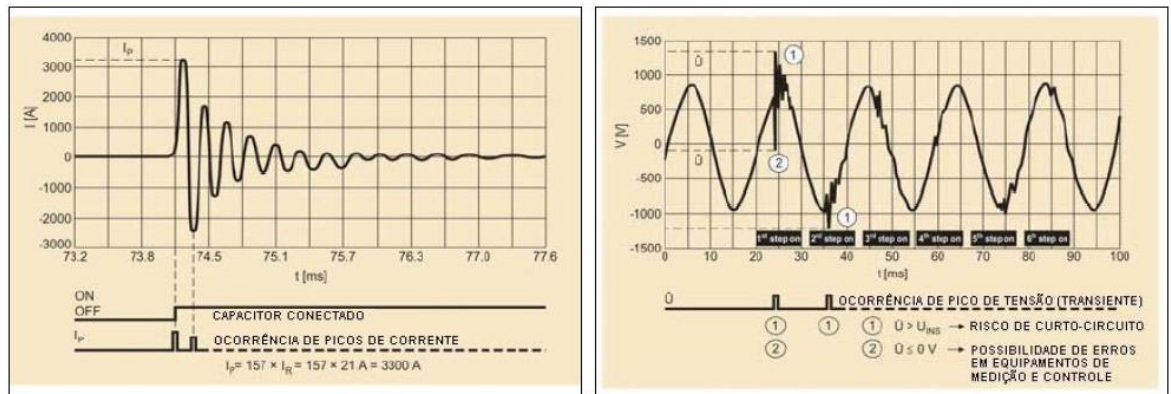
Por meio dos transformadores de corrente o sistema irá obter as informações necessárias para realizar o controle, o controlador processa estas informações por meio de um programa configurado pelo projetista, ou em alguns casos como nos controladores da Weg em que o programa já vem pronto, ele irá tomar as decisões de comutar os capacitores por meios dos relés e contadores que interligam os capacitores aos controladores para que se tenha a correta correção do fator de potência.

Por medida de segurança os controladores automáticos só devem energizar os capacitores quando os mesmos estiverem descarregados, descarga esta que se dá por meio de resistores inseridos nos contadores ou nos capacitores, com o intuito de prevenir a ocorrência de diferença de potencial elevada entre as tensões instantâneas da rede e nos capacitores, esta situação deve ser evitada para que não se tenha no capacitor uma tensão de até duas vezes a da rede, logo se não se tomar este cuidado no projeto poderá ocorrer queimas constantes dos equipamentos caso a reenergização do capacitor ocorra no instante em que a tensão de pico da rede esteja em oposição relativamente a tensão residual armazenada no capacitor.

No caso de reenergização em bancos automáticos, as denominadas “back-to-back”, o efeito pode ser similar a um curto circuito, de acordo com WEG, 2016 valores que variam entre 100 a 200 vezes o valor da corrente nominal, logo, sem um recurso adequado de

proteção e inevitável que tal transitório prejudique os componentes pro meio do estresse térmico e eletrodinâmico, além deste problema as rápidas variações da corrente por meio das indutâncias presente no sistema, são responsáveis pelo surgimento de surtos na tensão da rede de alimentação, a figura 16 mostra respectivamente a magnitude que a corrente de energização pode atingir em curtos intervalos de tempo e os surtos transitórios de tensão decorrente da elevada variação da corrente conhecida como corrente de inrush.

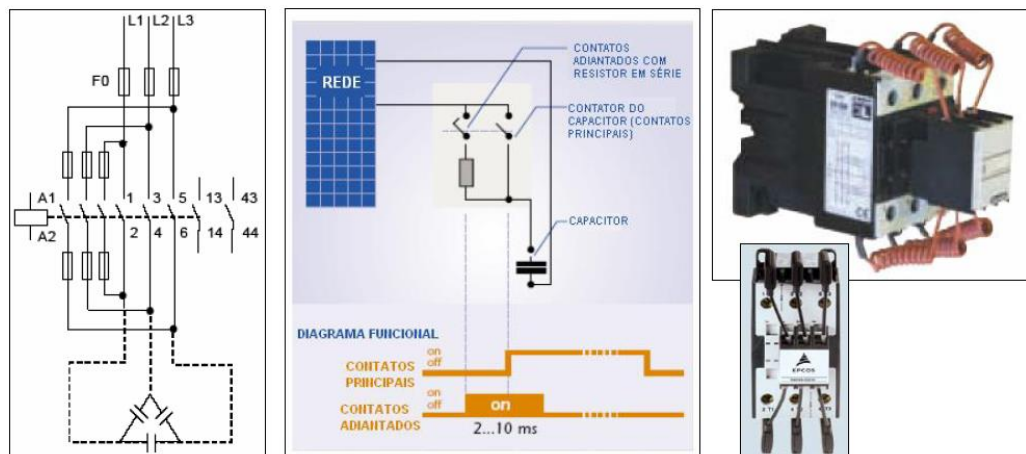
Figura 16 – Corrente de energização (“inrush”) de um capacitor



Fonte: EPCOS (2008).

Atualmente os contatores para ligação de banco de capacitores possuem resistores que realizam uma pré-inserção com o intuito de minimizar a corrente de inrush para níveis seguros, e quanto maior for a potência capacitiva necessitam de resistores menores e com uma maior capacidade de dissipação de potência, como podemos verificar na figura 17 como estes resistores são incorporados as chaves contadoras.

Figura 17 – Contator com resistores de pré-inserção

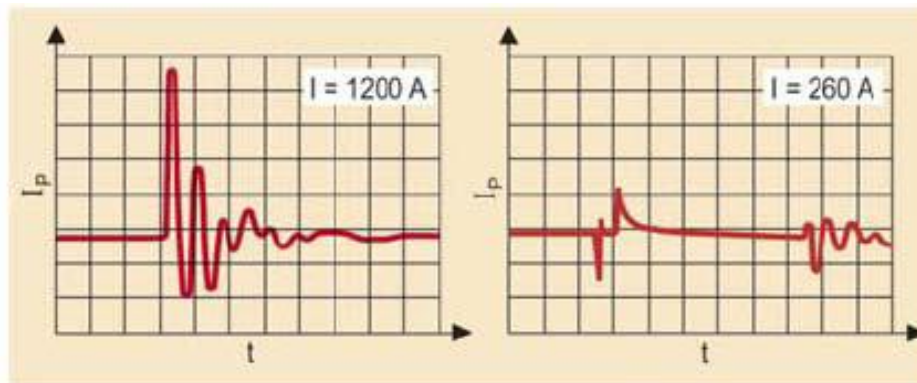


Fontes: Próprio autor

Como se observa na figura 17, o dispositivo é projetado de maneira que uma vez aplicada a tensão de comando necessárias para energizar as bobinas dos contatores, os contatos que manobram os resistores são adiantados conectam-se ligeiramente antes do fechamento dos contatos principais, permanecendo neste estado por uns 10 ms, após este fechamento os contatores auxiliares retornam a posição inicial.

Segundo Silva (2009), esse processo é necessário para que se tenha uma redução das correntes de pico em torno de um terço a um quinto da corrente de inrush que ocorreria se não fossem empregados resistores, conforme a figura 18.

Figura 18 – Redução da corrente de “inrush” de um capacitor com resistores de pré-inserção

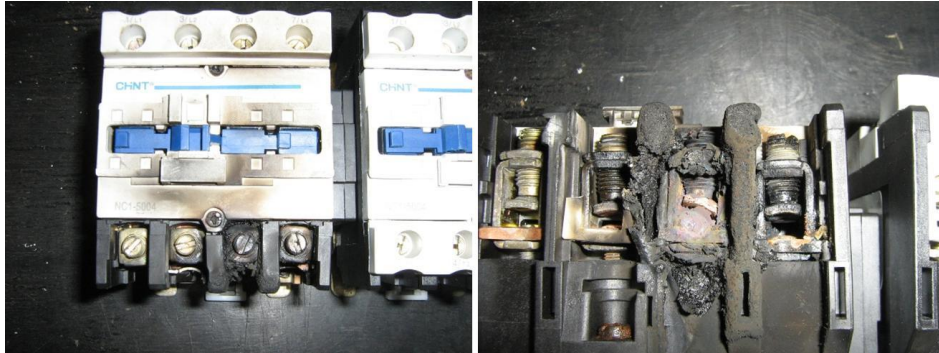


Fonte: EPCOS (2008)

Segundo Silva (2009), no que se refere ao tempo de retardo necessário para que os capacitores sejam religados, logo depois de terem sido desligados e não transcorreu tempo mínimo para sua descarga, os sistemas automáticos convencionais são seguros e eficaz para correção de fatores de potências de cargas com dinâmicas da ordem de dezenas de segundos ou tempo superior.

Caso seja utilizado contatores convencionais para conectar bacos de capacitores automáticos que necessitem de uma religamento em um tempo que não houve a descarga do mesmo, o que ocorre e sempre a queima do dispositivo de conexão como mostra na figura 19.

Figura 19 – Contator queimado por uso inapropriado com capacitores sem resistor de descarga.



Fonte: Próprio autor

5 – ESTUDOS DE CASO DO RESTURANTE UNIVERSITARIO

5.1 – CARACTERISTICAS DO SISTEMA

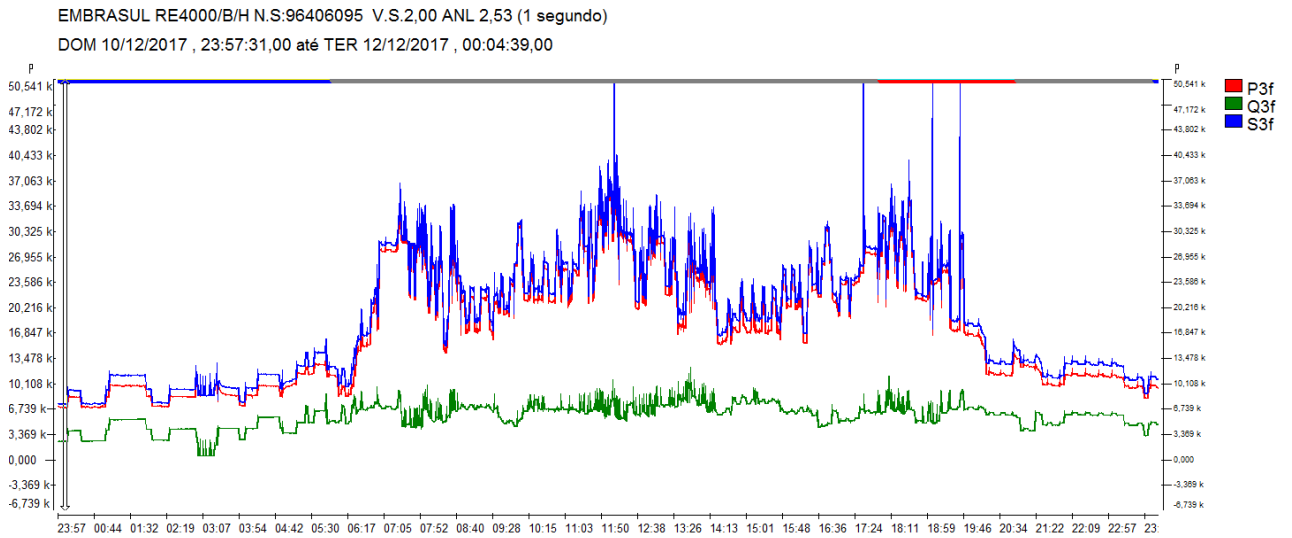
O sistema do restaurante universitário é alimentado em 13.8 KV por meio de um transformador de 112,5 KVA, classe 15 KV. A potência média consumida é de 40 KVA, aferido pelo analisador, mas com um sistema projetado para suportar 99,2486 KVA conforme a figura 20. O restaurante funciona durante o período de 06:00 horas às 21:00 horas, sendo que o horário de maior demanda é justamente entre 07:00 horas às 08:00 horas, 11:00 horas às 12:00 horas e 17:30 horas às 19:00 horas, conforme mostrado na figura 21.

Figura 20 - Quadro de cargas do restaurante universitário

Circuito	Quadro de Cargas (Iluminação e Tomadas)													Potência (W)
	Fluorescente Tubular			Lumin. Mista	Ventil. n Pared	Ventil. n Teto	Tomadas (VA)						Potência (W)	
	1x20 (W)	1x40 (W)	2x40 (W)				100 (VA)	300 (VA)	600 (VA)	736 1CV	BTUs 10.000 (W)	BTUs 18.000 (W)		
QD-01	4	58	-	23	4	6	12	17	5	-	-	-	-	19.855,0
QD-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	2	1	12	67.249,6
QD-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	12.144,0
-QGBT-	4	58	-	23	4	6	12	17	5	24	2	1	12	99.248,6

Fonte: Próprio autor

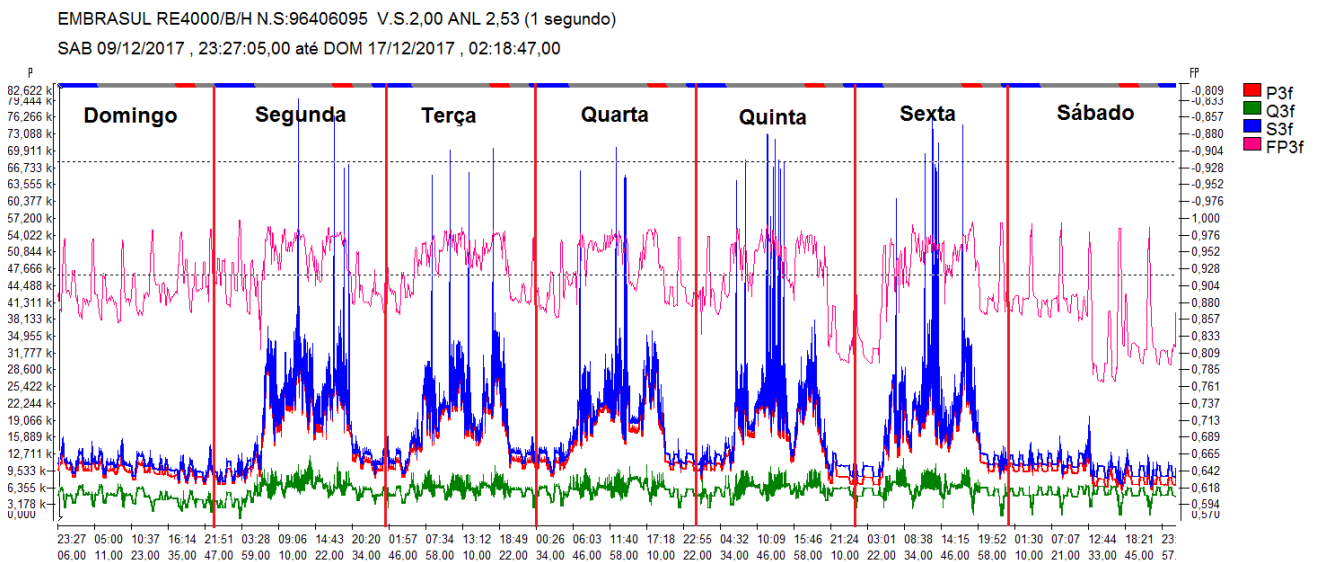
Figura 21 – Variação das potências ao longo de 24 horas



Fonte: Próprio autor

Como se pode observar na figura 21, o sistema em questão possui um consumo bastante regular e previsível, na figura 22 podemos verificar a variação das potências ao longo de uma semana juntamente com o fator de potência trifásico.

Figura 22 – Variação das potências e do fator de potência trifásico ao longo de uma semana



Fonte: Próprio autor

A partir da figura 22, pode-se inferir que há pouca variação da potência reativa juntamente com uma variação acentuada do fator de potência entre as 20:00 horas e 06:00

horas e nos fins de semana, que fica mais bem exemplificado na figura 23. Sendo que maior parte desta potência reativa se dá pela magnetização do núcleo do transformador que alimenta o sistema, e que principalmente na madrugada nos horários das 20:00 horas as 06:00 horas temos um fator de potência predominantemente baixo em função do baixo consumo de potência ativa. Tal consumo é praticamente a iluminação e as máquinas de refrigeração de alimentos do sistema, o que faz com que a potência instantânea fique em torno de 12 KW, enquanto a troca de potência reativa fica em torno de 4,5 Kvar, demonstrando que nosso transformador está operando em quase vazio durante um longo período de tempo. Na figura 23 e figura 24, pode-se visualizar melhor a influência do transformador operando em vazio no fator de potência.

Figura 23 – Variação das potências e do fator de potência trifásico ao longo de 24 horas

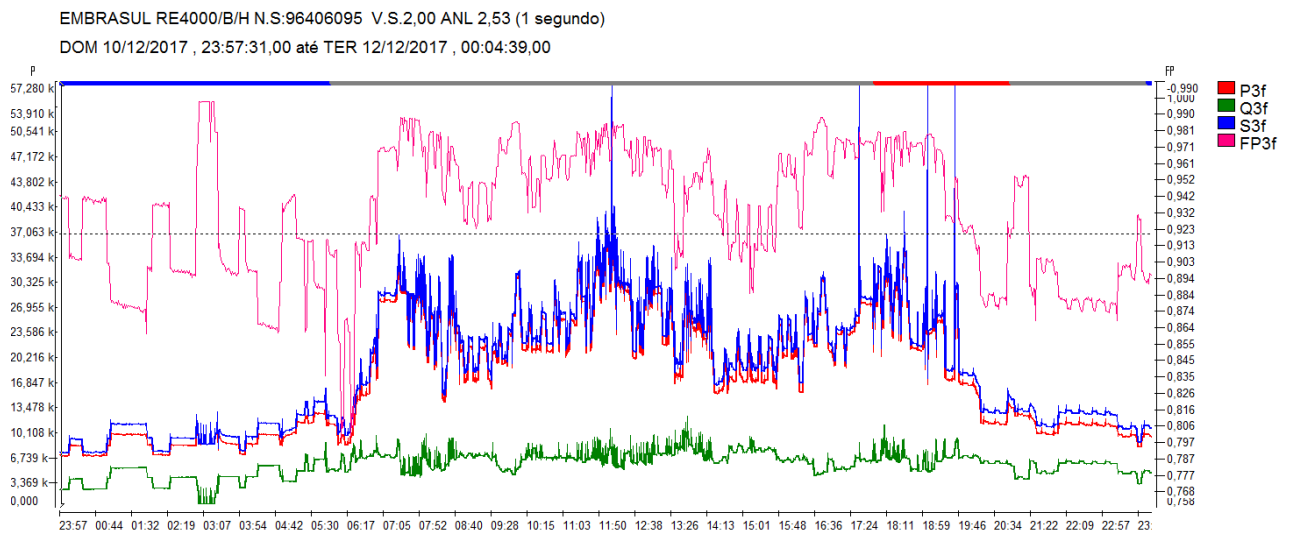
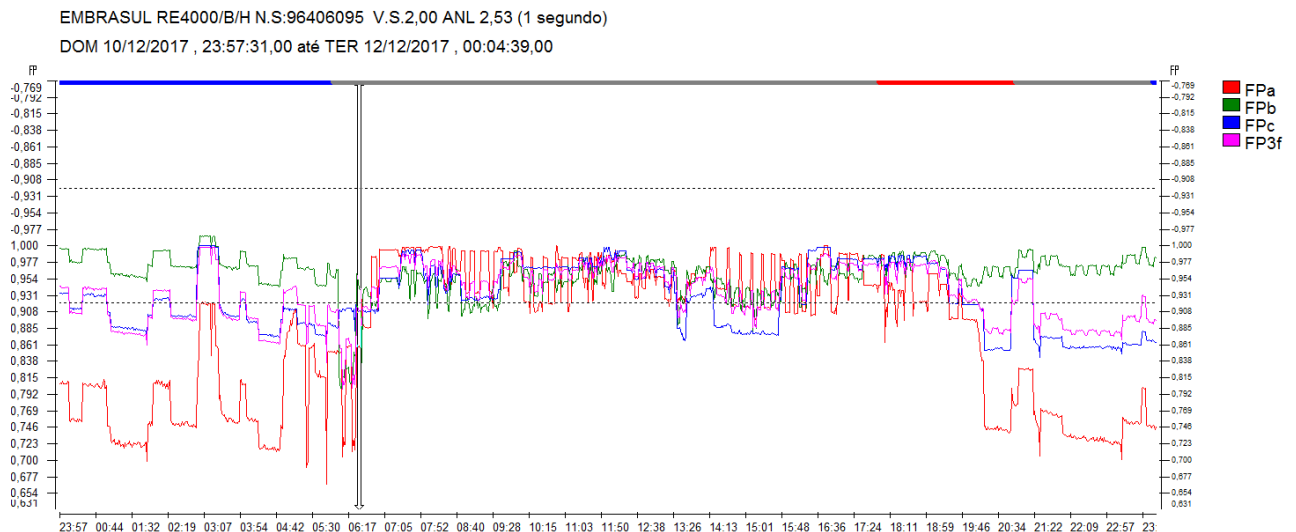
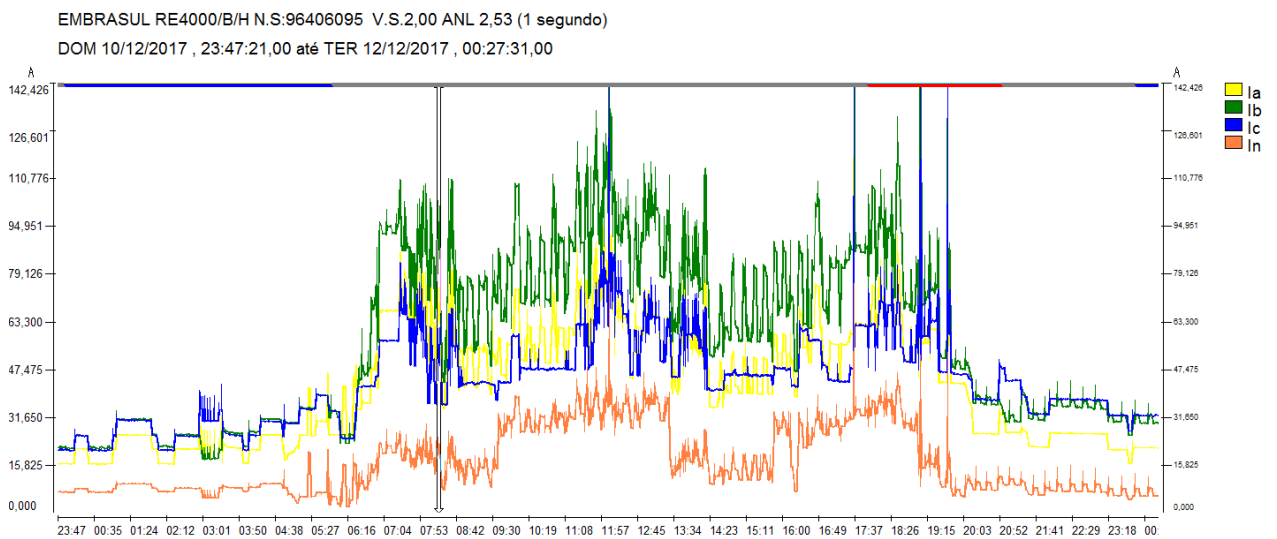


Figura 24 – Variação dos fatores de potência ao longo de 24 horas



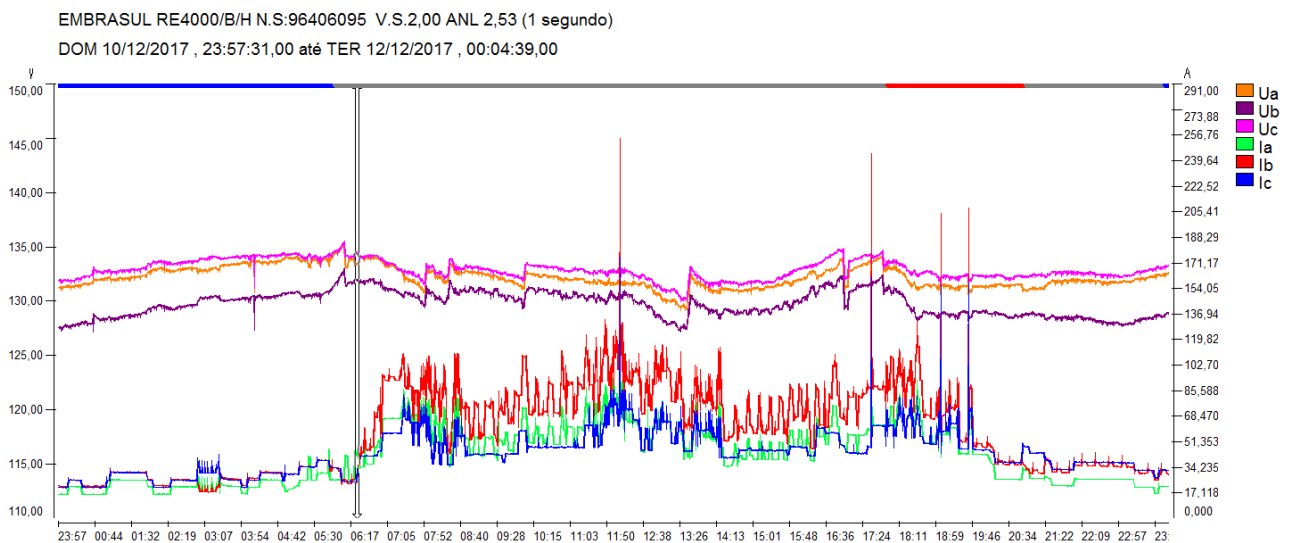
Como mostra a figura 24, o fator de potência mais afetado é o da fase A, logo esta e a fase mais ociosa conforme podemos confirmar na figura 25 e na figura 26, temos um desequilíbrio de cargas ocasionado principalmente pela predominância de equipamentos bifásicos ligados em sua maioria nas fases B e C, principalmente os que ficam em operação na faixa das 20:00 horas às 06:00 horas, fazendo surgir uma corrente de neutro que chega na hora de maior consumo ao patamar de 40 amperes em função de tal desequilíbrio.

Figura 25 – Variação das correntes ao longo de 24 horas



Fonte: Próprio autor

Figura 26 – Variação das tensões e correntes ao longo de 24 horas



Fonte: Próprio autor

5.2 CORREÇÕES DO FATOR DE POTÊNCIA DO SISTEMA

Como é possível verificar o que causa o fator de potência baixo é justamente a operação do transformador quase em vazio por um período longo, logo de acordo com o que foi exposto nos capítulos anteriores tem-se três soluções possíveis, a primeira e aumentar o consumo de energia ativa durante o período ocioso do transformador, o que levaria a um aumento no consumo de energia e na fatura mensal, ou substituir por um transformador na faixa de potência adequada para o sistema de 75 KVA que segundo a figura 27, tabela do fabricante do transformador, irá ter um impacto menor por necessitar somente de 2.5 KVAR para magnetização do núcleo, a outra solução seria instalar um banco de capacitores fixo para compensar este reativo e aliviar o sistema, como podemos verificar na figura 28, o maior problema encontra-se entre as 20:00 horas e 06:00 horas e na figura 29 que em todo final de semana e principalmente nas férias já que o restaurante não funciona neste período.

Figura 27 – Correção fixa em transformadores operando em vazio

Classe 15kV

TRANSFORMADOR KVA	CORRENTE DE EXCITAÇÃO I ₀ %	kvAr	
		CALCULADO	NOMINAL
15	4,8	0,68	0,75
30	4,1	1,17	1,0
45	3,7	1,58	1,5
75	3,1	2,21	2,0
112,5	2,8	2,99	3,0
150	2,6	3,71	3,5
225	2,3	4,95	5,0
300	2,2	6,27	6,0
500	1,5	7,13	7,5
750	1,3	9,26	10,0
1000	1,2	11,4	10,0
1500	1,0	14,25	12,5

Classe 25kV

TRANSFORMADOR KVA	CORRENTE DE EXCITAÇÃO I ₀ %	kvAr	
		CALCULADO	NOMINAL
15	5,7	0,81	0,75
30	4,8	1,37	1,25
45	4,3	1,84	1,75
75	3,6	2,57	2,5
112,5	3,2	3,42	3,5
150	3,0	4,28	4,0
225	2,7	5,77	5,0
300	2,5	7,13	7,5
500	1,5	7,13	7,5
750	1,4	9,98	10,0
1000	1,3	12,35	12,5
1500	1,0	14,25	15,0

Fonte: Manual de correção do fator de potência WEG

Figura 28 – Variação das potências e do fator de potência trifásico entre 20h00min e 06h00min

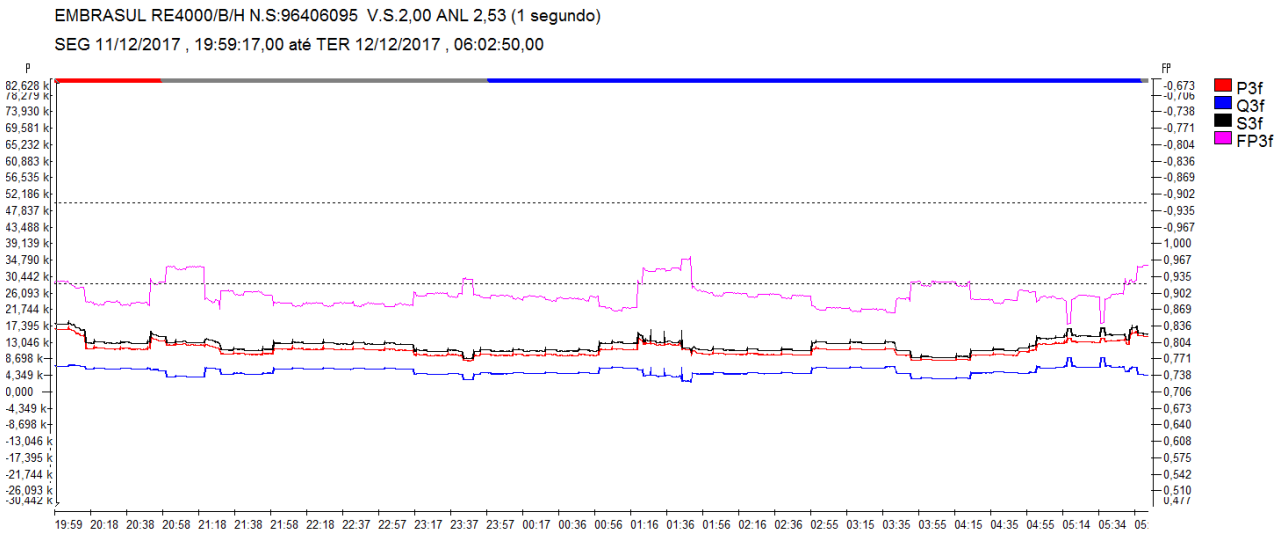
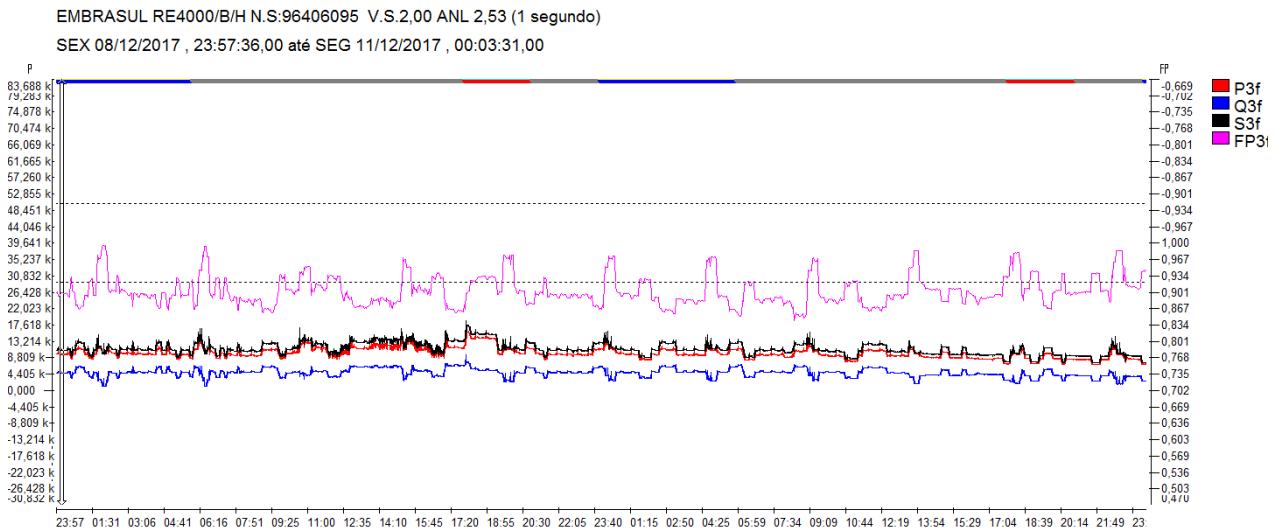


Figura 29 – Variação das potências e do fator de potência trifásico no sábado e domingo



Logo como a troca do transformador é algo financeiramente inviável em virtude de que o restaurante universitário segundo a administração da UNIFAP irá sofrer expansão, o mais viável é instalar bancos de capacitores “fixos” para compensar este reativo e elevar o fator de potência a um nível aceito pela norma enquanto o restaurante estiver com estas características de operação, já que quando o restaurante sofrer tal expansão logicamente tem-se um aumento na quantidade de energia ativa consumida que pode retirar o transformador desta faixa de operação em vazio.

O software ANL7000 permite simular banco de capacitores para a correção do baixo fator de potência. Com a utilização deste software é possível verificar que um banco de capacitores trifásico fixo de 3 Kvar, valor este que está em consonância com o que o

transformador consome somente para magnetizar o seu núcleo ferromagnético, pois segundo tabela fornecida pelo fabricante do transformador, que consta na carcaça do mesmo e esta disponível na internet, que para sua operação em vazio ele ira consumir 3 Kvar de potência reativa. Logo tal banco ira solucionar o problema do baixo fator de potência causado pelo transformador operando quase em vazio da maneira mais econômica e segura o possível.

Nas figuras 30, 31, 32, 33, 34, e figura 35 pode-se verificar que o mesmo mantém o fator de potência na faixa desejável segundo norma vigente citada anteriormente, e, além disso, não altera as tensões para faixas perigosas nem nos horários normais de funcionamento do sistema. Na figura 27 que trata sobre a correção de fator de potência em transformadores em vazio do fabricante pode-se verificar tal coerência com o valor sugerido pelo software do analisador.

Figura 30 – Variação das potências e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores no sábado e domingo

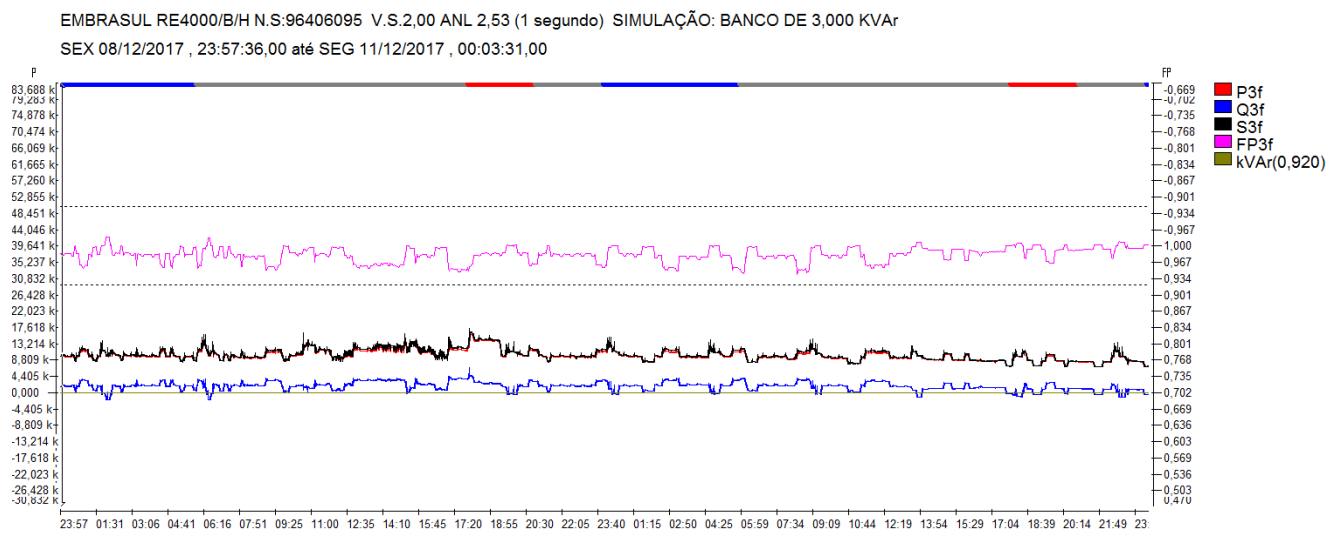


Figura 31 – Variação das potências e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores entre 20:00 horas e 06:00 horas.

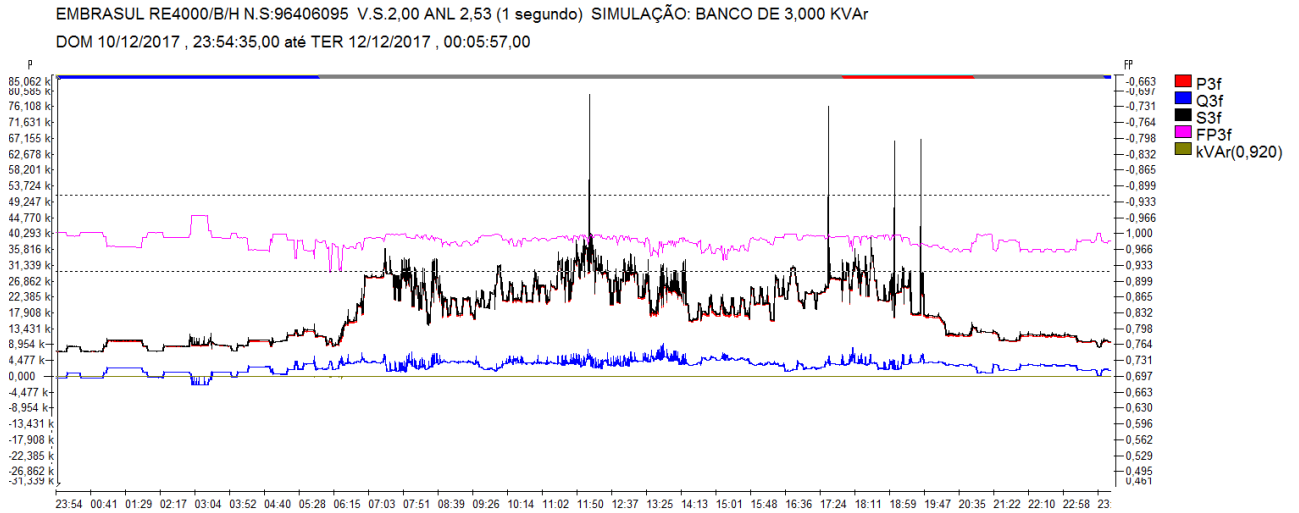


Figura 32 – Variação das tensões e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores entre 20:00 horas e 06:00 horas.

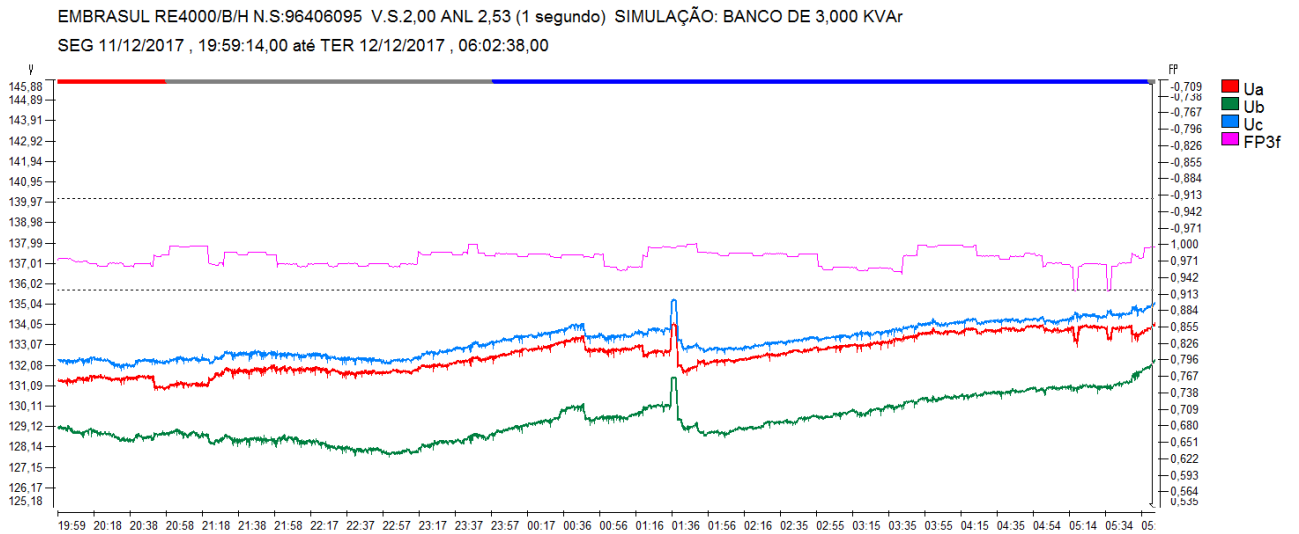
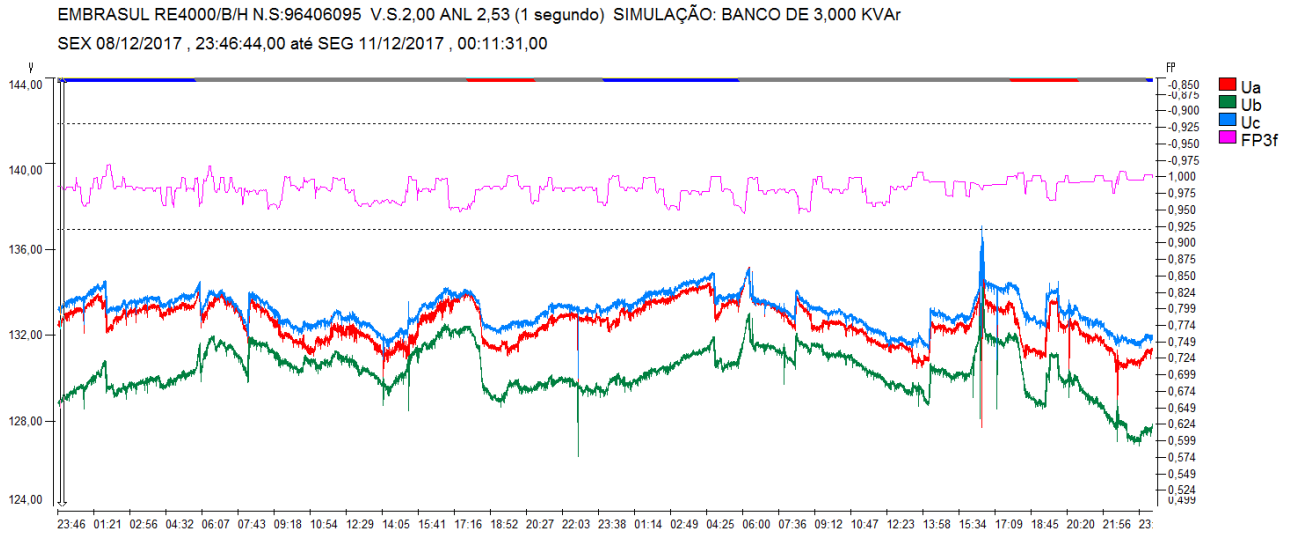
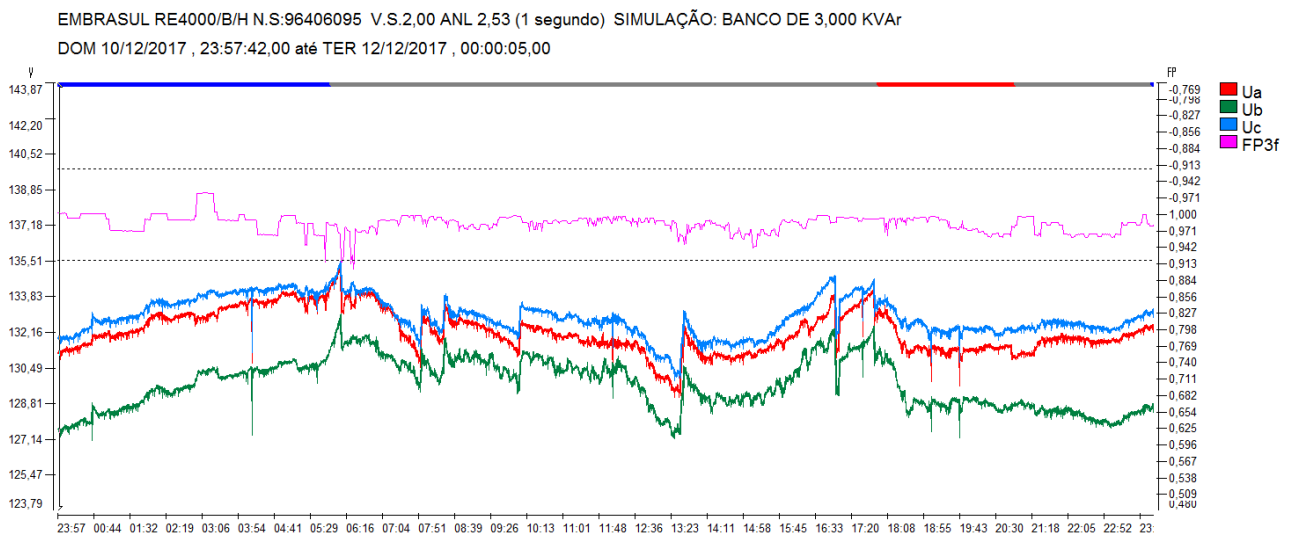


Figura 33 – Variação das tensões e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores durante o fim de semana.



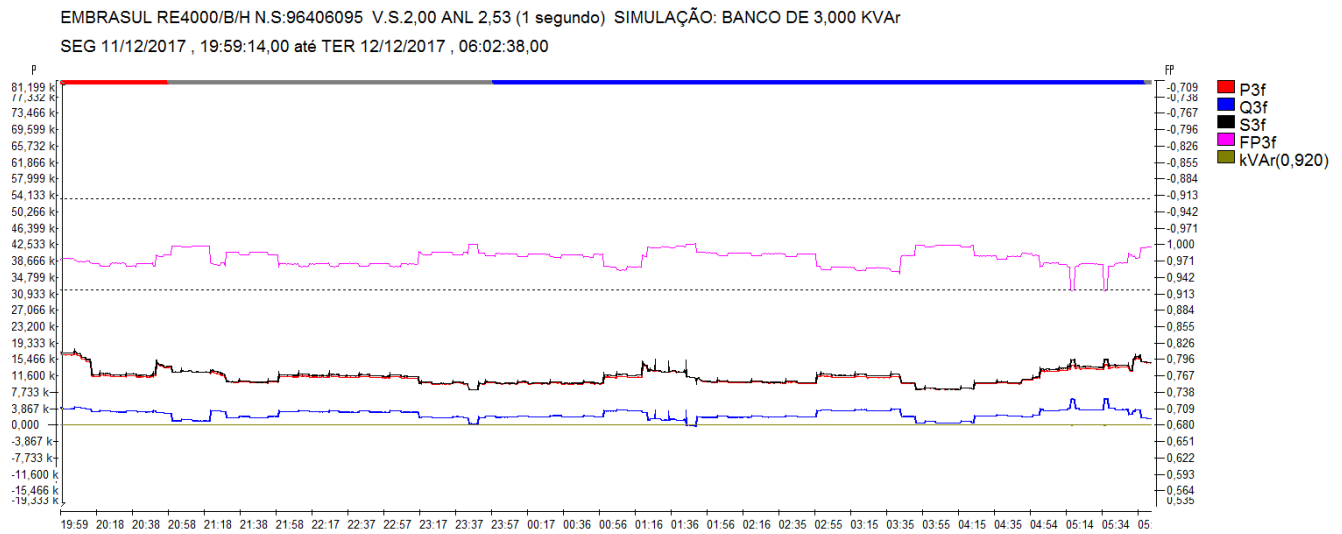
Fonte: Próprio autor

Figura 34 – Variação das tensões e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores durante 24 horas.



Fonte: Próprio autor

Figura 35 – Variação das potências e do fator de potência trifásico com o banco de capacitores entre as 20:00 horas e 06:00 horas.



5.3 IMPACTOS DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA

Conforme a tabela 2 pode-se verificar o quanto de energia o sistema solicita semanal e mensalmente, o consumo mensal foi estimado de acordo com o consumo diário e semanal, pois o analisador ficou por duas semanas coletando dados.

Tabela 2 Resumo de consumo e fator de potência semanal e mensal sem banco de capacitores

RELATÓRIO SEMANAL (Integração = 1 segundo)					
Faixas de horário estabelecidas no software					
Intervalo - Fora de ponta:	06:00 horas as 18:00 horas 21:00 horas as 24:00 horas				
Intervalo - Ponta:	18:00 horas as 21:00 horas				
Intervalo - Reservado:	00:00 horas as 06:00 horas				
Semana: DOM 10/12/2017 a SAB 16/12/2017			Para 30 dias		
Horário	Consumo [kWh]	Reativa [kVAr]	FP	Consumo [kWh]	Reativa [kVAr]
Ponta	297,441	92,586	0,955 ind	1274,747	396,797
Fora de ponta	1737	627,708	0,940 ind	7444,286	2690,177
Reservado	420,361	210,286	0,894 ind	1801,547	901,226
Total	2455	930,581	0,935 ind	10521,429	3988,204

Fonte: Próprio autor

Já na tabela 3 temos o resultado pós-banco de capacitores fixo de 3 KVAR, na tabela 4 temos a economia no consumo de reativo, os valores mensais foram estimados de acordo com os semanais nas respectivas tabelas.

Tabela 3 Resumo de consumo e fator de potência semanal e mensal com banco de capacitores

RELATÓRIO SEMANAL (Integração = 1 segundo)					
Faixas de horário estabelecidas no software					
Intervalo - Fora de ponta:	06:00 horas as 18:00 horas 21:00 horas as 24:00 horas				
Intervalo - Ponta:	18:00 horas as 21:00 horas				
Intervalo - Reservado:	00:00 horas as 06:00 horas				
Semana: DOM 10/12/2017 a SAB 16/12/2017				Para 30 dias	
Horário	Consumo [kWh]	Reativa [kVAr]	FP	Consumo [kWh]	Reativa [kVAr]
Ponta	297,441	47,586	0,987 ind	1274,747	203,940
Fora de ponta	1737	294,708	0,986 ind	7444,286	1263,034
Reservado	420,361	84,286	0,980 ind	1801,547	361,226
Total	2455	426,581	0,985 ind	10521,429	1828,204

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 Relação da economia e aumento da eficiência gerada pelo Banco de capacitores

RELATÓRIO SEMANAL (Integração = 1 segundo)								
Semana: DOM 10/12/2017 a SAB 16/12/2017								
Horário	Sem banco de capacitores		Com banco de capacitores		ECONOMIA DE REATIVO GERADA PELO BANCO			%
	[Kvarh]	FP	[Kvarh]	FP	SEMANA Kvarh	MÊS Kvarh	ANO Kvarh	
Ponta	92,586	0,955 ind	47,586	0,987 ind	45,000	192,857	2314,286	49%
Fora de ponta	627,708	0,940 in	294,708	0,986 ind	333,000	1427,143	17125,714	53%
Reservado	210,286	0,894 ind	84,286	0,980 ind	126,000	540,000	6480,000	60%
Total	930,581	0,935 ind	426,581	0,985 ind	504,000	2160,000	25920,000	54%

Fonte: Próprio autor

Logo se pode verificar que embora seja um banco relativamente pequeno ele ira causar um impacto considerável na eficiência do sistema elétrico do restaurante, chegando a um total de 54% de economia no consumo de reativo, sendo que o maior impacto é no horário reservado fazendo atinge o patamar de 60% de economia e fazendo que o fator de potência aferido saia de 0,89 para 0,98 no horário reservado, e no total saia de 0,935 para 0,985 fazendo com que a economia anual chegue a 25920 Kvarh, valor este que foi estimado considerando os meses que o restaurante fica ocioso em virtude da ausência de aulas, já que nossas medições foram feitas no período no qual havia aula.

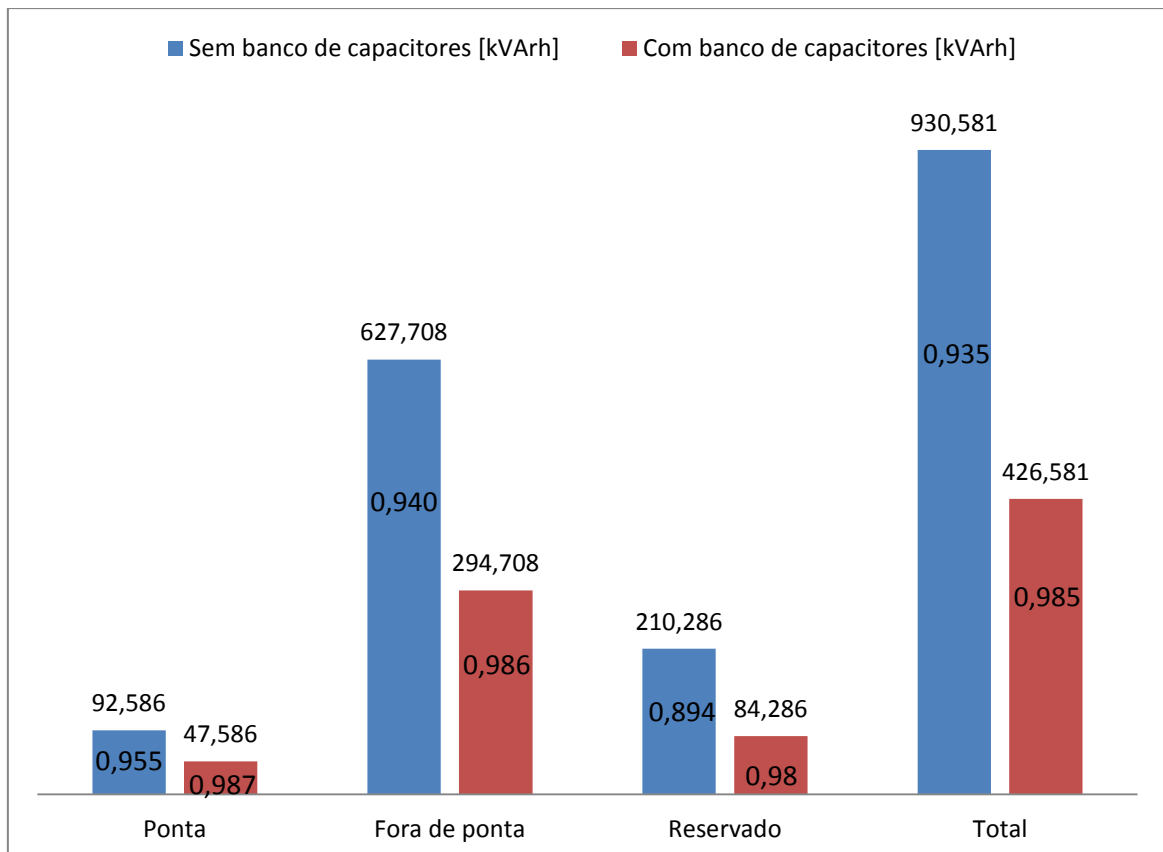
Na tabela 5 pode-se verificar o custo estimado da fatura mensal do restaurante universitário, o mesmo foi calculado segundo informações retiradas dos próprios contratos da UNIFAP, tanto o contrato de compra e venda de energia quanto o de uso do sistema de distribuição, nos mesmos informa que a universidade pertence ao grupo A4 2,3 a 25KV estrutura horo-sazonal azul, o encargo referente ao excedente de reativo foi calculado segundo Aneel (2010). Nesta tabela pode-se observar que o encargo pelo reativo excedente não e tão alto em função de se tratar de uma correção de transformador em vazio de uma potência não tão alta, mas embora no restaurante o valor pelo reativo excedente não seja tão alto, devemos considerar que a UNIFAP possui muitos transformadores que operam nas mesmas condições de carga em função do regime de trabalho da própria universidade, fazendo com que a fatura mensal da universidade seja onerada todo mês pelo baixo fator de potência e suas consequências.

Tabela 5 Fatura mensal do custo do restaurante universitário sem impostos

CONSUMO			
Período	KWH	Tarifa	Mês
Ponta	1490,38	R\$0,36	R\$536,54
Fora de ponta	9030,05	R\$0,26	R\$2.347,81
Reativo excedente	111,29	R\$0,19	R\$21,51
Período	KW	Tarifa	Mês
Demanda de ponta	14,54	R\$47,00	R\$683,61
Demanda fora de ponta	14,80	R\$18,00	R\$266,38
TUSD			
Período	MW	Tarifa	Mês
Ponta	1,49	R\$121,90	R\$181,68
Fora de ponta	9,03	R\$121,90	R\$1.100,76
TOTAL			R\$ 5.138,29

Fonte: Próprio autor

Figura 36 Relação de consumo com e sem banco de capacitores ao longo da semana



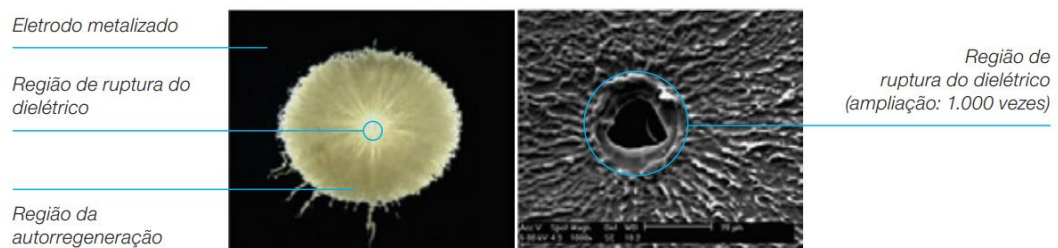
Fonte: Próprio autor

5.4 ESTRUTURAS FISICA DO BANCO DE CAPACITORES

Segundo Cesar (2009), os capacitores para correção do fator de potência devem ser fabricados em conformidade com as normas NBR IEC 60831-1/2. Estes capacitores devem ser desenvolvidos com filme de polipropileno metalizado auto regenerativo para uma maior vida útil com dispositivo interruptor de segurança contra sobre pressão interna.

O filme de polipropileno apresenta a característica de autorregeneração, onde as propriedades elétricas são rapidamente restabelecidas após uma perfuração local do dielétrico. Conforme pode ser observado na figura 37, no momento da ruptura do dielétrico, a camada de metal ao redor da perfuração é vaporizada e o curto-circuito é isolado. A ruptura do dielétrico pode ocorrer através de sobre carga elétrica, térmica ou final da vida útil. Imediatamente após a ruptura do dielétrico o capacitor está em funcionamento normal. A redução da capacitância causada por uma auto regeneração é muito baixa e só pode ser verificada por um instrumento de medição de precisão (capacitores para correção do fator de potência, 2016).

Figura 37 – Regeneração do filme dielétrico



Fonte: Weg (2016)

Na estrutura que será levada em consideração neste trabalho serão utilizados capacitores da empresa Weg, pois seus capacitores para correção do fator de potência possuem dispositivo de segurança contra sobrepressão interna. Este dispositivo está conectado dentro da unidade capacitiva, em série com o elemento capacitivo e tem a função de interromper a corrente elétrica no capacitor em caso de acréscimo anormal da pressão interna. A atuação deste dispositivo ocorre no final da vida útil do produto ou em caso de falha.

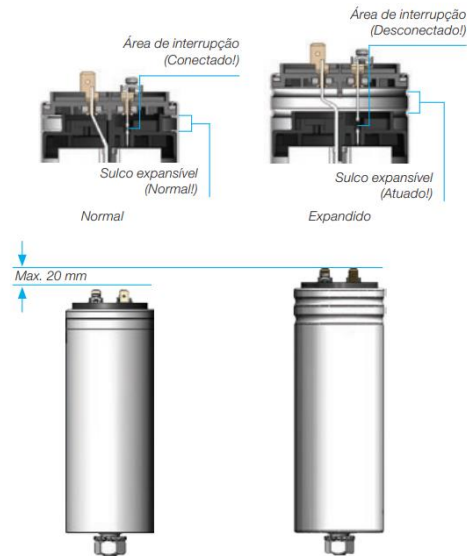
Existem duas formas distintas para atuação do dispositivo de segurança, de acordo com o material da tampa.

Dispositivo de Segurança em Tampa Plástica:

A pressão interna, provocada pela regeneração do filme, irá exercer uma força sobre as paredes do capacitor, esta força atuará sobre os sulcos expansíveis fazendo com que ocorra a

interrupção do fusível mecânico e conseqüentemente da alimentação de energia para o elemento capacitivo, conforme a figura 38 (capacitores para correção do fator de potência, 2016).

Figura 38 – Capacitor para correção do fator de potência de tampa de plástico

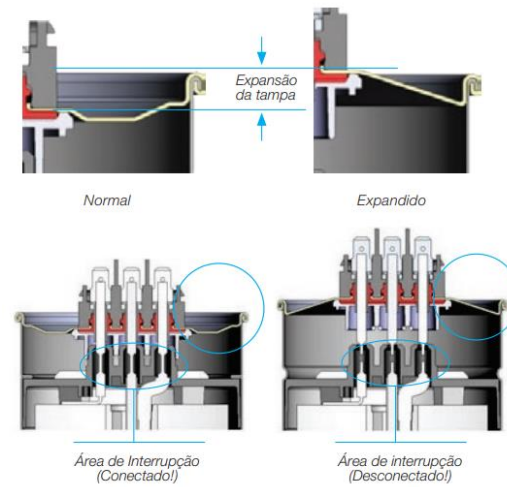


Fonte: Weg (2016)

Dispositivo de Segurança em Tampa Metálica:

Segundo Weg (2015), a pressão interna, provocada pela regeneração do filme, irá exercer uma força sobre as paredes do capacitor. Esta força atuará sobre a tampa metálica e sobre o sulco expansível. Desta maneira a tampa expande, fazendo com que ocorra a interrupção do fusível mecânico e conseqüentemente da alimentação de energia para o elemento capacitivo, conforme a figura 39.

Figura 39 – Capacitor para correção do fator de potência de tampa metálica



Fonte: Weg (2016)

Definido os tipos de capacitores ideais para o banco, também é necessário um disjuntor ideal para realizar a ligação do banco com a rede, logo o disjuntor usado será preferencialmente o tipo din obrigatoriamente trifásico de 16 amperes levando em conta a NBR 5410 de 2004 com curva de proteção tipo B ou C que proteja o banco de capacitores que serão ligados em delta se for utilizados células capacitivas monofásicas para montar um banco trifásico ao invés de se usar uma célula trifásica que já vem com as ligações prontas, bastando somente se conectar as três fases.

Visto tudo isso o sistema de correção de fator de potência proposto será constituído por um capacitor trifásico de 3 KVAR para 60hz da linha UCWT 220 volts com tampa plástica / M3x2,4 Fenda/Philips serie D com referencia UC WT3V25 L16 e código 10046004 com resistor de descarga interna e corrente nominal de 7,9A que deve ser utilizado com disjuntor ou fusível de 16A de 60mm diâmetro x 211 mm altura pesando 0,69Kg, e conectores e cabos de 10 mm², deve-se levar em conta que o sistema atuara na baixa tensão, logo ficara no quadro geral de distribuição do restaurante que possui espaço interno para instalação segundo a NBR5410/2004, e como o capacitor citado acima já possui internamente os resistores de descarga não necessita de um contator de reinserção específico.

Figura 40 – Capacitor monofásico (esquerda) e trifásico (direita)



Fonte: Weg (2016)

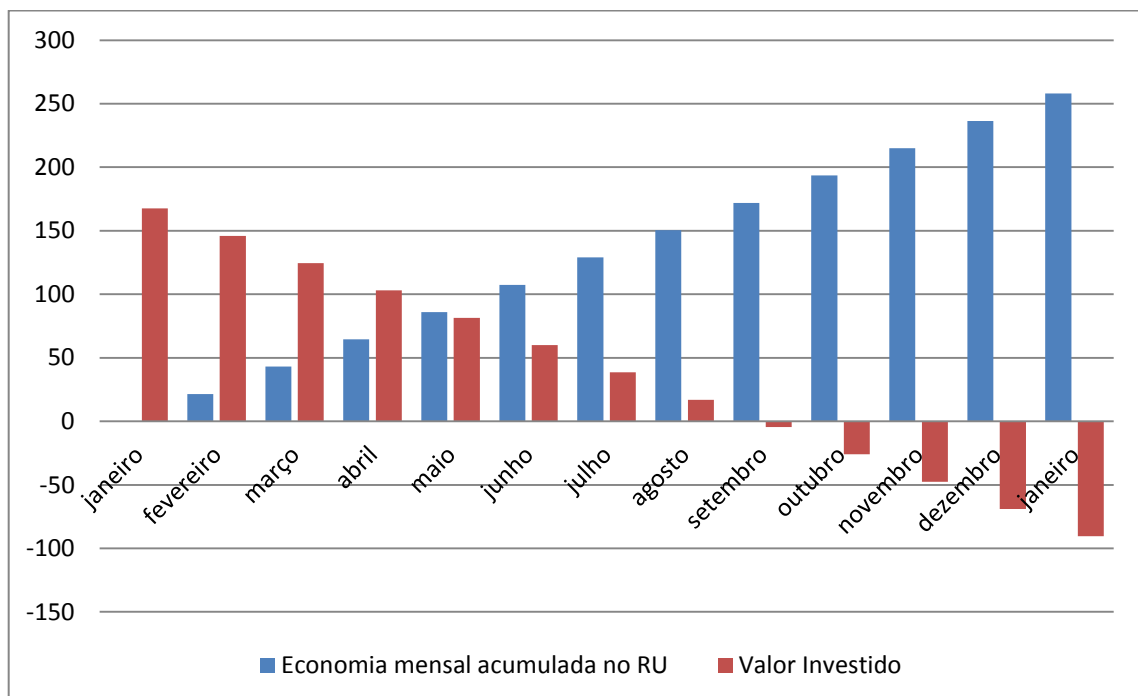
Agora conhecendo o impacto financeiro do projeto no sistema elétrico do restaurante universitário, foi realizada uma cotação a respeito do sistema de correção de reativo, devemos levar em conta que a universidade possui técnicos que possuem plena habilidade de instalar o banco, logo não será considerada mão-de-obra na execução do serviço, somente o material exposto na tabela 6, podemos verificar a cotação realizada e na figura 41 pode-se verificar em quanto tempo o sistema se paga e quando já começa a ter uma economia acumulada maior que o valor necessário para a compra do mesmo considerando que sempre que se executa uma cotação se compra o financeiramente mais acessível.

Tabela 6 Orçamento de equipamentos para o banco

Descrição	Valor	Total	Empresa	Orçamento
Weg Unidade Capacitiva Trifásica 3,0kVAr 220 v Ucwt3v25.116 CODIGO WEG: 10046004	R\$122,05	R\$167,05	JBV DISTRIBUIDORA	2018072801245
Mini disjuntor Tripolar 16A Din MDW Curva C WEG curvas características de disparo B e C	R\$45,00			
Weg Unidade Capacitiva Trifásica 3,0kVAr 220 v Ucwt3v25.116 CODIGO WEG: 10046004	R\$180,00	R\$236,00	ARG SUPRIMENTOS	2018456778
Mini disjuntor Tripolar 16A Din MDW Curva C WEG curvas características de disparo B e C	R\$56,00			
Weg Unidade Capacitiva Trifásica 3,0kVAr 220 v Ucwt3v25.116 CODIGO WEG: 10046004	R\$190,00	R\$239,80	GRUPO VIEW- TECH	110543
Mini disjuntor Tripolar 16A Din MDW Curva C WEG curvas características de disparo B e C	R\$49,80			

Fonte: Próprio autor

Figura 41 Curvas de retorno financeiro (payback) da instalação do banco de capacitores



Fonte: Próprio autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram expostos os principais conceitos sobre transmissão de energia em circuitos de corrente alternada bem como a atual legislação que regula esta transferência de energia, estes circuitos possuem um fator de potência que é uma proporção de quanto é usado de potência deste circuito para gerar real trabalho, e que dependendo das características do circuito, se for indutivo ou capacitivo, o mesmo vai influenciar neste fator de potência e conseqüentemente na eficiência do circuito. Logo após uma abordagem na legislação vigente, ela prevê um valor mínimo 0,92, tanto capacitivo quanto indutivo e define em qual horário deve ser um mínimo capacitivo ou indutivo.

Para evitar esta oneração por ineficiência no circuito no consumo de potência, foram mostrados os métodos empregados atualmente na engenharia para corrigir este fator, explicando a fundo o sistema por correção por meio de banco de capacitores, abordando suas principais vantagens e desvantagens, precauções nas instalações e métodos de dimensionamento dos mesmos e modelos de bancos de capacitores, fixo e automático ou semiautomático.

No estudo de caso foram utilizados dados obtidos ao longo de duas semanas ininterruptas pelo analisador trifásico na subestação do restaurante universitário, e que se pode constatar que o restaurante possui um baixo fator de potência, tanto monofásico como trifásico, nos períodos no qual o transformador opera em regime de carga baixa, ou seja, em vazio, e que estes períodos logicamente eram entre as 20:00 horas e 06:00 horas dos dias da semana e durante todo o fim de semana, que chegou a um valor de 0,89 no referido horário, sendo que o contrato celebrado entre a universidade e a companhia elétrica do Amapá prevê que o fator de potência mínimo capacitivo seja mantido entre 23:30 horas a 06:30 horas e no período complementar que seja mantido um mínimo indutivo.

Após a simulação do banco de capacitor por meio do software do analisador, verificou-se que o sistema necessitava de um banco de capacitor fixo de 3 Kvar para correção do fator de potência, valor este que é igual a quantidade de energia reativa que o transformador do restaurante universitário, 150KVA classe 15 KV, utiliza para operar em vazio, ou seja, quantidade de energia reativa suficiente para que se possa obter uma magnetização do núcleo ferromagnético do transformador.

Foi simulado também o impacto que este banco de capacitor fixo nas tensões ao longo do dia e foi demonstrado que as mesmas continuavam enquadradas na faixa prevista pela NBR 5410, após a simulação do banco de capacitores constatou-se que o fator de potência no pior caso passou de 0,89 indutivo para 0,98 indutivo e na média passou de 0,93 indutivo para 0,98 indutivo, com uma economia que no período em que o transformador opera em vazio de 60% e com uma economia média de 54%. O banco de capacitores também consegue obter um retorno financeiro em 8 meses. O que mostra a viabilidade do mesmo, já que o banco possui uma vida útil segundo Weg (2016), de no mínimo 5 anos e no máximo 20 anos.

A universidade possui em média uma multa mensal de R\$ 4.000,00 no período da análise destes dados em virtude de fator de potência abaixo de 0,92 indutivos, e com poucas exceções, os transformadores da universidade operaram quase todos em vazio por um longo período de tempo, são transformadores que se encontram na faixa de 75 a 150 KVA, o que torna interessante uma análise futura da viabilidade da correção do fator de potência do campus por meio de pequenos bancos fixos em cada transformador, o que liberaria uma faixa de potência considerável do sistema interno da instituição.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Edson. **Efeitos da correção do FP na BT sob o ponto de vista da eficiência energética.** In: Eficiência energética com a correção do fator de potência. São Paulo: ABINEE, 2008. 18 p. Disponível em <http://www.tec.abinee.org.br/2008/arquivos/20a2_1.pdf> acessado em 20 de março de 2018.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução ANEEL nº 414. Brasília: ANEEL, 2010.

César, Marco I. S., **Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida.** UFMG 2009.

César, S. R. e Tsuruji, K. – **Banco de capacitores para correção do fator de potência em indústrias,** UNIVAP 2015.

COTRIM, Ademaro A. M. B.; KINDERMANN, Geraldo (revisão e adaptação técnica). **Compensação da energia reativa. In: Instalações Elétricas.** 4ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2003. cap. 14. pp. 597-610.

COTRIM, Ademaro A. M. B.; MORENO, Hilton (revisão e atualização técnica); GRIMONI, José Aquiles Baesso (revisão e atualização técnica). **Compensação da energia reativa;** STAROSTA, José (autoria). In: Instalações Elétricas. 5ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2008. cap. 14, pp. 419-434.

COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CODI) – **Manual de orientação aos consumidores energia reativa excedente.** 2004. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/grandes-clientes/normas-e->>. Acesso em: 24 de set de 2018.

EMPRESAS TLA. Manual TLA: **Capacitores de Potência.** Gaspar-SC: TLA (200-?). 50 p. Disponível em <http://www.tla.com.br/download-tla-capacitores.php> - link: Manual Capacitores de Potência.

EPCOS EPCOS AG. General Catalogue – Product Profile 2007: **Power Factor Correction. Germany:** EPCOS, 2007. 80 p.

EFFICIENTIA S.A.. Stola do Brasil Ltda – **Estudo / Projeto para Correção do Fator de Potência. Belo Horizonte-MG:** EFFICIENTIA, 2007. 44 p

ELECTROMECHANICA **Components and Systems. Power Factor Correction.** Cape Town, South Africa: ELECTROMECHANICA, 2002. 15 p. Disponível em <http://www.csee.wvu.edu/~kanchanv/power%20factor%20correction.pdf>.

IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY. IEEE Std 18-2002: **Shunt Power Capacitors**. New York: IEEE, 2002. 24 p.

LOVATO ELECTRIC DO BRASIL LTDA. DCRK – **Controlador Automático do Fator de Potência: Manual de instalação**. Rio de Janeiro:LOVATO, 2004.18 p.

SIEMENS S.A.. **Comando de capacitores trifásicos. In: Dispositivos de Comando e Proteção em Baixa Tensão**. 2ª edição. São Paulo: SIEMENS, 2005. cap. 7. pp. 7/4 -7/10 .

MACHADO, Diego - **Importância da correção do fator de potência nas instalações elétricas industriais** – 2016. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi_55qG153fAhUDkZAKHYXjCgsQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ipog.edu.br%2Fdownload-arquivo-site.sp%3Farquivo%3Ddiego-machado-aniceto-16133917.pdf&usg=AOvVaw0Kw_Nsezp5UVB62dLtSKj5>. Acesso em 02 de agosto de 2018.

MAMEDE, J. – **Sistemas elétricos industriais** – 5ª edição, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda., 1997;

MAMEDE, J. – **Sistemas elétricos industriais** – 8ª edição, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda., 2010;

VIEIRA, Augusto César G. **Manual de Correção do Fator de Potência**. Rio de Janeiro: CNI, 1989.

WEG AUTOMACAO S.A. – **Manual para correção do fator de potência**, 2016 - Disponível em < www.weg.net>. Acesso em 05 de setembro de 2018..

WEG AUTOMACAO S.A. – **capacitores para correção do fator de potência**, 2016, Disponível em <www.weg.net> 5 de setembro de 2018.

WEG AUTOMACAO S.A. – **contatores para manobra de capacitores linha cwmc**, 2016, Disponível em <www.weg.net> 5 de setembro de 2018.