

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
UDESC CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**GILIAN DAL POSSO**

**ESTUDO PARA MELHORIA DO FATOR DE POTÊNCIA PARA AS  
SUBESTAÇÕES DE BAIXA TENSÃO DO CAMPUS UDESC - JOINVILLE**

**JOINVILLE, SC**

**2016**

**GILIAN DAL POSSO**

**ESTUDO PARA MELHORIA DO FATOR DE POTÊNCIA PARA AS  
SUBESTAÇÕES DE BAIXA TENSÃO DO CAMPUS UDESC - JOINVILLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica na Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista. Orientadora: MEng. Marcos Fergütz.

**JOINVILE, SC**

**2016**

**GILIAN DAL POSSO**

**ESTUDO PARA MELHORIA DO FATOR DE POTÊNCIA PARA AS  
SUBESTAÇÕES DE BAIXA TENSÃO DO CAMPUS UDESC - JOINVILLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica  
como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

**Banca Examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_

MEng. Marcos Fergütz  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: \_\_\_\_\_

Dr. Fabiano Ferreira de Andrade  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: \_\_\_\_\_

Dr. Fernando Buzzulini Prionte  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**JOINVILLE, 27 DE JUNHO DE 2016**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram de uma forma ou de outra em minha graduação nestes quatro anos e meio.

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus, por nos conceder a vida, o amor e compaixão.

Agradeço ao Prof. MEng. Marcos Fergütz, pela orientação, dedicação e por todos os ensinamentos recebidos.

Ao Prof. Dr. Fabiano Ferreira Andrade e demais integrantes do Laboratório de Planejamento Energético (LAPER), pelo empréstimo dos analisadores de energia, e colaboração.

Aos meus pais, Décio e Lurdes, a minha irmã Jeane, e demais familiares por todo incentivo, compreensão e amor.

A minha namorada, pela paciência e suporte na utilização da planilha eletrônica.

## RESUMO

POSSO, Gilian Dal. **Projeto de sistema de correção de fator de potência para o Centro de Ciência Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2016.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre fator de potência, técnicas de correção, curvas de carga e projeto de correção de FP utilizando o método das potências medidas. Com o auxílio de analisadores de energia de tecnologia digital, fez-se possível levantar os parâmetros elétricos da instalação do CCT. Com os resultados obtidos das medições, em planilha eletrônica, foram elaborados gráficos, com os quais, analisou-se, em termos de fator de potência, cada uma das cinco Subestações atualmente ativas no campus. Projetou-se para cada uma delas unidades reativas acionadas por controlador de 6 estágios. Ainda, se apresenta o dimensionamento da proteção, fiação e acionamentos das unidades capacitivas. O objetivo do estudo foi uma solução aplicável, visando eliminar multas por excesso de reativo, que atualmente são recorrentes na conta de energia do campus CCT, como mostrado nas faturas no mês de janeiro, fevereiro, março e abril anexadas no presente trabalho.

**Palavras-chave:** Correção de fator de potência, banco de capacitores, cargas lineares.

## **ABSTRACT**

POSSO, Gilian Dal. **Power factor system design for Technological Science Center at the University of the State of Santa Catarina.** Course Conclusion Work (Bachelor of Science in Electrical Engineering). Santa Catarina State University. Joinville, 2016.

This paper presents a study about power factor correction techniques, load curves and PF correction project using the method of action powers. With the aid of digital technology energy analyzers, made it possible to obtain the electrical parameters of the installation of the CCT. With the results of measurements in spreadsheet, graphics was developed which, analyzed in terms of power factor, each of the five substations currently active on campus. It was designed for each of them, the PF Controller, reactive units fired at each stage of the controller, as well as, design protection, wiring and drives. In order to obtain an applicable solution to eliminate fines for excess reactive, today caught by the institution.

**Keywords:** Power factor correction, capacitor banks, linear loads.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Circuito com característica indutiva.....	18
Figura 2: Circuito com característica capacitiva .....	19
Figura 3: Triângulo de potência para cargas capacitivas .....	19
Figura 4: Triângulo de potência para cargas indutivas.....	19
Figura 5: Tensão em fase com a corrente (potência totalmente ativa).....	21
Figura 6: Triângulo de correção de FP .....	25
Figura 7: Ligação em triângulo paralela .....	28
Figura 8: Ligação em estrela paralela .....	28
Figura 9: Painel frontal PFW01 .....	30
Figura 10: Painel traseiro PFW01 .....	31
Figura 11: Ligação dos bornes de saída às bobinas dos contadores.....	31
Figura 12: Fator de potência médio durante todo o período .....	34
Figura 13: Fator de potência médio ao longo do dia 21/02/16 .....	35
Figura 14: Fator de potência médio ao longo do dia 28/02/16 .....	35
Figura 15: Fator de potência médio ao longo do dia 25/02/16 .....	36
Figura 16: Demanda de potência aparente e reativa média consumida em intervalos de 15min no dia 21/02/2016.....	37
Figura 17: Demanda de potência aparente e reativa média consumida em intervalos de 15min no dia 25/02/2016.....	37
Figura 18: Demanda de potência aparente e reativa média consumida em intervalos de 15min no dia 28/02/2016.....	38

Figura 19: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização .....	39
Figura 20: Reativo necessário para correção ao longo do dia 21/02/2016.....	41
Figura 21: Reativo necessário para correção ao longo do dia 25/02/2016.....	42
Figura 22: Fator de potência médio durante todo o período .....	44
Figura 23: Fator de potência médio ao longo do dia 27/02/16 .....	46
Figura 24: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização .....	48
Figura 25: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização do dia 27/02/2016.....	48
Figura 26: Fator de potência médio durante todo o período .....	49
Figura 27: Fator de potência médio ao longo do dia 18/03/16 .....	50
Figura 28: Fator de potência médio ao longo do dia 31/03/16 .....	50
Figura 29: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização .....	51
Figura 30: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 17/03/2016 .....	52
Figura 31: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 19/03/2016 .....	52
Figura 32: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 20/03/2016 .....	53
Figura 33: Fator de potência médio durante todo o período .....	54
Figura 34: Potência aparente e reativa média por período de integralização ao longo dos dias em análise .....	55

Figura 35: Fator de potência médio ao longo do dia 06/03/16 .....	57
Figura 36: Potência reativa ao longo do dia 06/03/16 .....	57
Figura 37: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização .....	58
Figura 38: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 06/03/2016 .....	60
Figura 39: Fator de potência médio durante todo o período .....	61
Figura 40: Potência aparente e reativa média por período de integralização ao longo dos dias em análise .....	62
Figura 41: Fator de potência médio ao longo do dia 26/03/16 .....	63
Figura 42: Fator de potência médio ao longo do dia 01/04/16 .....	63
Figura 43: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização .....	64
Figura 44: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 26/03/2016 .....	65
Figura 45: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência a cada intervalo de integralização durante o dia 01/04/2016 .....	65
Figura 46: Esquema de ligação do banco de capacitores a rede.....	67
Figura 47: Valores de corrente para fusível tipo D .....	72
Figura 49: Conectores de entrada de tensão e corrente .....	80
Figura 50: Esquemático de ligação .....	81
Figura 51: Tela de inicialização do <i>Analyzer</i> .....	81
Figura 52: Esquemas de ligação permitidos pelo aparelho.....	82
Figura 53: Acesso à função logger.....	83
Figura 54: Tela medidor de força e energia .....	85

Figura 55: Tela medidor .....	87
Figura 56: Tela de tendência.....	88
Figura 57: Tela forma de onda de perfil .....	88
Figura 58: Tela perfil/fasor .....	89
Figura 59: Acesso à função monitor.....	90
Figura 60: Tela gráfico de barras .....	91
Figura 61: Gráfico de barras para as 25 primeiras harmônicas.....	92
Figura 62: Tabela de eventos.....	92
Figura 63 Indicador de bateria.....	93
Figura 64: Tela de principal.....	94
Figura 65: Janela de POP-UP .....	95
Figura 66: Guia Planilha.....	96
Figura 67: Guia tensão e corrente.....	96
Figura 68: Guia estatística .....	97
Figura 69: Guia potência .....	97
Figura 70: Janela de exportação de dados .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PPRODIST	Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
CTT	Centro de Ciências Tecnológicas
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
Fp	Fator de Potência
IES	Instituição de Ensino
S	Potência Aparente
P	Potência ativa
Q	Potência Reativa
CAFP	Controlador Automático de Fator de Potência
QGF	Quadro Geral de Força
FP	Fator de potência
FPr	Fator de potência de referência
Fpm	Fator de potência médio por posto horário

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faturamento por excedente reativo.....	17
Tabela 2: Fatores de correção de temperatura para ambientes diferentes de 30°C para linhas não subterrâneas.....	68
Tabela 3: Capacidade de condução de corrente em amperes para os métodos A1, A2, B1, B2, C e D.....	69
Tabela 4: Seção mínima dos condutores .....	71
Tabela 5: Contadoras tripolares para manobra de capacitores a temperatura ambiente de 70°C .....	73
Tabela 6: Resumo da fiação e proteção das unidades capacitivas.....	73
Tabela 7 - continuação .....	74
Tabela 8: Custo por unidade capacitiva e controlador .....	75
Tabela 9: Custo para cada subestação.....	75

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 DIVISÃO DO TEXTO .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 FATOR DE POTÊNCIA.....	18
2.2 CAPACITOR .....	22
2.3 POTÊNCIA NOMINAL .....	22
2.4 FREQUÊNCIA NOMINAL .....	22
2.5 TENSÃO NOMINAL .....	22
2.6 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	23
2.7 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA PARA CARGAS LINEARES .....	24
2.8 BANCO DE CAPACITORES FIXOS .....	24
2.9 BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICOS.....	25
2.10 LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES.....	26
2.11 CAPACITORES JUNTO A GRANDES CARGAS INDUTIVAS .....	26
2.12 INSTALAÇÃO DE CAPACITORES NO LADO DE ALTA TENSÃO .....	27
2.13 CAPACITORES NO SECUNDÁRIO DOS TRANSFORMADORES.....	27
2.14 LIGAÇÃO DOS CAPACITORES EM BANCOS .....	27
2.15 LEGISLAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	28
2.16 PARCELA DE ULTRAPASSAGEM DE ENERGIA REATIVA EXCEDENTE – $FER_{ULTRAPASSAGEM}$ .....	29
2.17 CONTROLADOR AUTOMÁTICO DE FATOR DE POTÊNCIA .....	30
2.17.1 DESCRIÇÃO FÍSICA .....	30
<b>3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FP DE POTÊNCIA NO CCT</b> .....	<b>33</b>
3.1 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 1.....	34
3.2 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 2.....	44

3.3	ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 3.....	49
3.4	ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 4.....	54
3.5	ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 5.....	61
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DA FIAÇÃO, PROTEÇÃO E ACIONAMENTO .....</b>	<b>67</b>
4.1	DIMENSIONAMENTO DA FIAÇÃO .....	67
4.1.1	CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE.....	68
4.1.2	CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO.....	70
4.1.3	CRITÉRIO DA BITOLA MÍNIMA .....	71
4.2	DIMENSIONAMENTO DOS FUSÍVEIS .....	71
4.3	DIMENSIONAMENTO DAS CONTADORAS .....	72
4.4	RESUMO PARA TODAS AS SUBESTAÇÕES.....	73
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
5.1	CONTRIBUIÇÕES .....	78
5.2	TRABALHOS FUTUROS .....	78
	<b>APÊNDICE A - ANALISADORES DE ENERGIA.....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO A – CONTAS DE ENERGIA DO CAMPUS UDESC – JLLE .....</b>	<b>100</b>

## INTRODUÇÃO

A energia elétrica nos dias atuais é indispensável na vida humana, portanto, há necessidade de utilização racional da mesma. Controlar o fator de potência significa menos energia e dinheiro desperdiçados. A ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, através do PRODIST – Procedimento de Distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional (2015), estabelece limites de referência do fator de potência, sob pena de multa caso as unidades consumidoras não atendam estes limites. Por isso, a correção do fator de potência constitui uma preocupação constante dos profissionais responsáveis pela manutenção, operação e gerenciamento de instalações industriais, comerciais e até residenciais.

No Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), unidade pertencente à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), localizada em Joinville, existem inúmeras cargas como iluminação fluorescente, aparelhos de ar condicionado e computadores, que apresentam características indutivas e, portanto, apresentam fator de potência ( $F_p$ ) diferente da unidade. Assim, para reduzir o efeito destas cargas e buscar um fator de potência dentro dos limites especificados pelos órgãos competentes, faz-se necessário um estudo visando determinar a instalação de cargas capacitivas que apresentem capacidade de compensar os efeitos indutivos, com adequado  $F_p$ , de forma a atender a legislação vigente e, conseqüentemente, reduzir as perdas e aumentar a eficiência do sistema elétrico do centro.

A energia reativa indutiva é consumida por aparelhos normalmente dotados de bobinas, tais como motores de indução, reatores, transformadores, dentre outros. Ou que operam com formação de arco elétrico, como os fornos a arco. Esta energia não produz trabalho útil, é apenas responsável pela formação do campo magnético nas bobinas presentes nos equipamentos/aparelhos.

De acordo com Niskier (2008, p.172),

Ter um sistema indutivo acarreta em sobrecarga em cabos e transformadores, aumento das quedas de tensão, aumento dos desgastes dos dispositivos de proteção e de manobra e, aumento perdas por efeito Joule no sistema de transmissão e distribuição.

Por isso, se faz necessário, no campus, a instalação de fontes geradoras de energia capacitiva para suprir esta energia indutiva, ajudando a aliviar o sistema de distribuição, e, por fim, evitando pagar multa à distribuidora de energia por consumir reativo em excesso.

O método utilizado no presente trabalho, consiste na instalação de banco de capacitores em paralelo com a rede elétrica, devido ao seu menor custo de implantação e por serem equipamentos estáticos de baixo custo de manutenção e é o mais difundido (Mamede, 2010).

## **HIPÓTESES**

Espera-se que com este Trabalho de Conclusão de Curso, seja possível projetar um sistema de correção de fator de potência no Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Na prática há uma grande dificuldade em se saber, com razoável confiança os detalhes técnicos do comportamento operativo da instalação. No caso do CCT, existem seis subestações distribuídas pelo campus, sendo que uma está desativada e, cada uma com perfil de consumo diferente, sendo difícil prever quando as cargas (aparelhos de ar condicionado, motores, fornos elétricos, dentre outros) serão ligadas, visto que, por exemplo, o fator clima pode significar todos os aparelhos de ar condicionado ligados em dias quentes e, desligados em dias amenos. Isto implica diretamente no fator de potência da instalação.

Apesar de não ser simplório, é necessário levantar o ciclo de operação diário, semanal e, se possível, mensal da instalação para fins de análise e elaboração de proposta para ajuste do fator de potência.

Para a realização deste estudo será utilizado o método das potências medidas. Onde, com auxílio de aparelhos de tecnologia digital disponíveis na UDESC será possível levantar os parâmetros elétricos da instalação do CCT. Os resultados obtidos da medição serão exibidos em planilha e, através desta, poderão ser elaborados os gráficos dos parâmetros medidos para efeito de análise.

Como consequência do trabalho vislumbra-se discutir a respeito da melhoria do fator de potência dentro do Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC,

mostrando a necessidade, ou não, de se melhorar as instalações das edificações no campus para que haja a redução do consumo de energia elétrica e a consequente diminuição do valor de consumo de energia, principalmente por faturamento de excedente reativo (FER), paga hoje pela Instituição de Ensino (IES), e que atinge valores consideráveis como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Faturamento por excedente reativo

	Janeiro de 2016	Fevereiro de 2016	Março de 2016	Abril de 2016
<b>Energia Reat. EXC P (Reais)</b>	104,65	62,49	8,11	6,94
<b>Energia Reat. EXC FP (Reais)</b>	516,00	382,81	443,09	449,11
<b>TOTAL (Reais)</b>	620,65	445,30	451,20	456,05

Fonte: Próprio autor.

Os valores da Tabela 1 representam a soma do valor cobrado, reais por excedente reativo, nos horários de ponta e fora de ponta, para os quatro primeiros meses de 2016, sendo que, os mesmos são mostrados no anexo A deste trabalho.

## 1.1 DIVISÃO DO TEXTO

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos, sendo que no primeiro buscou-se introduzir, qual a motivação para a elaboração do projeto, as normas vigentes, bem como o que se espera com o trabalho.

Logo na sequência, no Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica, tratando assuntos como, triângulo de potências, correção de fator de potência, banco de capacitores, técnicas de análise e correção de FP. Além de, descrever o analisador de energia FLUKE 435 Series II, detalhando o esquema de ligação bem como as principais funções que o mesmo oferece para a aplicação.

Já no Capítulo 3, desenvolveu-se a análise do comportamento do FP no Centro de Ciências Tecnológicas, onde para cada Subestação indica-se o valor de reativo necessário para levar o FP de potência à referência, bem como a divisão dos capacitores em cada estágio do controlador de fator de potência.

Por fim, no Capítulo 4, é elaborado o dimensionamento dos componentes da instalação, sendo eles, fiação, proteção e acionamentos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FATOR DE POTÊNCIA

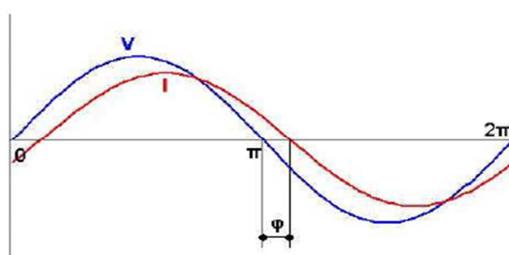
Quando existe em um circuito qualquer equipamento que possua enrolamentos (transformadores de potência, motores de indução, reatores, dentre outros) e, portanto, necessite de energia magnetizante como intermediária na utilização de energia ativa, é verificado que a potência total fornecida não é igual a potência lida em um wattímetro. Isso ocorre por que estes equipamentos necessitam de energia reativa para manter o campo magnético, porém, a mesma não realiza trabalho efetivo.

Nesta situação haverá um deslocamento da fase da corrente em relação a tensão e a leitura do wattímetro indicaria valor inferior ao produto volt X ampères = S (potência aparente). Se no circuito houvesse apenas resistores, os dois valores coincidiriam, pois, neste caso volts X ampère = watts = P (potência ativa).

Spomberg (2009) afirma que fazendo a representação das variações de corrente e da tensão, verifica-se que, quando existe autoindução (característica indutiva) pela passagem da corrente através de um enrolamento, a onda de tensão atinge o valor positivo máximo antes que a onda de corrente, conforme visto na Figura 2.

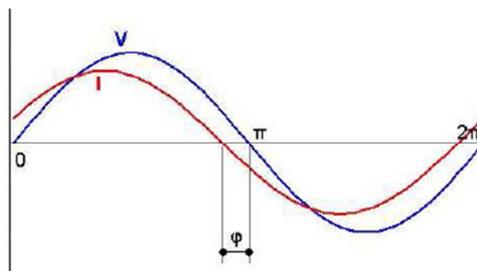
Figura 1 estão representadas por fasores, as grandezas I e U, o atraso da corrente I em relação a tensão U é o ângulo  $\varphi$  de defasagem. Quando a onda de corrente está adiantada em relação à onda de tensão o circuito é dito capacitivo, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 1: Circuito com característica indutiva



Fonte: Spomberg, conversor CC/CC aplicado a correção de fator de potência, 2009.

Figura 2: Circuito com característica capacitiva



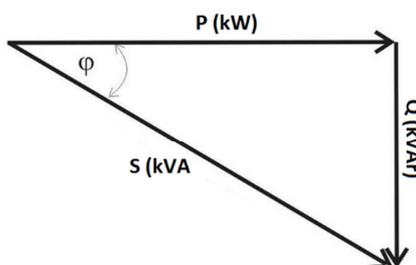
Fonte: Spomberg, conversor CC/CC aplicado a correção de fator de potência, 2009.

A potência total ou aparente “S[kVA]” é composta pela soma vetorial da potência ativa “P[kW]” e reativa “Q[kVAr]”, sendo aquela entregue pela fonte de energia num intervalo de tempo a uma carga ou a um consumidor. Analisando em termos de potência ativa, reativa, e aparente, pode-se, à partir de uma descrição geométrica destas componentes, verificar que P e Q estão em quadratura (defasagem  $90^\circ$ ) e que o ângulo  $\varphi$  de defasagem indica o deslocamento angular de P e S. Na

Figura 3 se observa que para um ângulo  $\varphi < 0$ , tem-se a representação para um sistema capacitivo, já na Figura 4

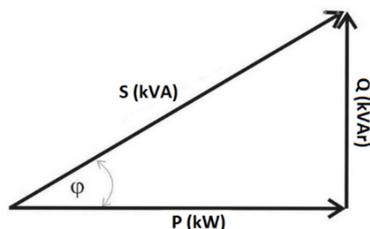
Figura 4, o triângulo mostra um ângulo  $\varphi > 0$  e , portanto, a representação para um sistema indutivo.

Figura 3: Triângulo de potência para cargas capacitivas



Fonte: Próprio autor.

Figura 4: Triângulo de potência para cargas indutivas



Fonte: Próprio autor.

Qualquer equipamento que transforme energia elétrica em outra forma de energia útil (térmica, luminosa, cinética) é um consumidor de energia ativa, ou seja, energia ativa é a que realmente produz trabalho (Creder, 2015).

Creder ainda define o fator de potência como o cosseno do ângulo  $\varphi$ , isto é, o valor dado por:

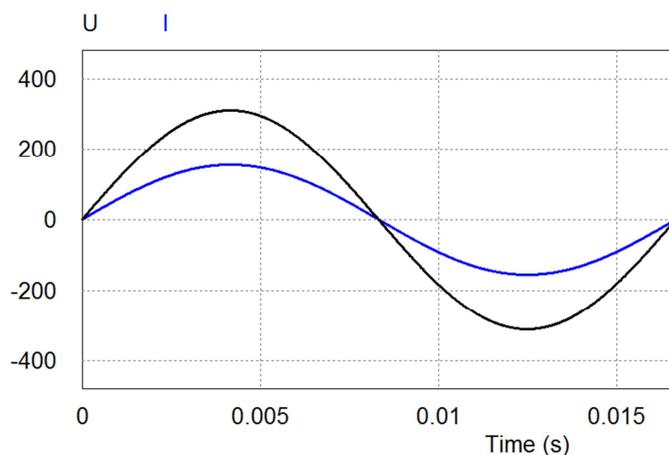
$$\cos \varphi = \frac{\text{potência ativa}}{\text{potência aparente}} \text{ ou } \frac{kW}{kVA} \quad (1)$$

Multiplicando-se a potência aparente pelo  $\cos \varphi$ , obtém-se a potência ativa, isto é:

$$P[kW] = S[kVA] \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Quando há apenas resistências num circuito (aquecedores elétricos, lâmpadas incandescentes, dentre outros) é dito que a corrente está “em fase” com a tensão, como mostrado na Figura 5. Então,  $\varphi=0$ ,  $\cos \varphi = 1$  e a potência é totalmente ativa. Neste caso, toda a potência gerada é transportada pelos sistemas de transmissão e de distribuição da concessionária de energia elétrica e absorvida pelas cargas mencionadas, tirando-se as perdas de transporte.

Figura 5: Tensão em fase com a corrente (potência totalmente ativa)



Fonte: Próprio autor.

No CCT a carga indutiva, devido principalmente a motores, reatores, equipamentos de ar condicionado, pode representar parcela considerável da carga total e, portanto, um baixo  $F_p$ . Assim, a intensidade de corrente aumenta, e como consequência, ocorre queda de tensão na rede (menor tensão fornecida aos equipamentos).

Isto implicará em menor luminosidade das lâmpadas incandescentes, maior corrente de partida nos motores de indução, menor corrente nos equipamentos de aquecimento e, conseqüentemente, maior temperatura de operação, além da diminuição do rendimento das máquinas elétricas.

Silva (2009) menciona que elevar o fator de potência acima de 0,92 faz com que desapareça a sobre taxa cobrada na conta de energia elétrica por reativo, melhore o aproveitamento da energia elétrica para a geração de trabalho útil, diminua as variações de tensão (oscilações), ainda, melhore o aproveitamento dos equipamentos com menos consumo, aumente a vida útil dos equipamentos, os condutores tornem-se menos aquecidos diminuindo as perdas na instalação, além da liberar a capacidade do sistema elétrico nacional e promover o uso racional da energia.

## 2.2 CAPACITOR

Capacitores são dispositivos elétricos, com inúmeras aplicações, sendo uma delas, introduzir capacitância em um circuito elétrico, compensando ou neutralizando o efeito de indução das cargas elétricas. São especificados pela sua potência reativa nominal e podem ser para alta ou baixa tensão.

## 2.3 POTÊNCIA NOMINAL

Segundo Mamede (2011, p.149), “A potência nominal de um capacitor, em kVAr, é aquela absorvida do sistema quando este está submetido a uma tensão e frequência nominais e a uma temperatura ambiente não superior a 20°C (ABNT).” A potência nominal do capacitor pode ser facilmente calculada em função de sua capacitância através da equação:

$$Q = \frac{2\pi f x Vn^2 x C}{1\ 000} \quad (3)$$

Onde:

F é a frequência nominal em Hz;

Vn é a tensão nominal, em KV;

C é a capacitância em µF.

## 2.4 FREQUÊNCIA NOMINAL

Os capacitores devem operar normalmente na frequência de 60 Hz. Para outras frequências é necessário especificar o valor corretamente, já que a sua potência nominal é diretamente proporcional a este parâmetro.

## 2.5 TENSÃO NOMINAL

Os capacitores são fabricados para a tensão nominal de linha, Mamede (2010, p.149) diz que,

No caso de capacitores de baixa tensão, cuja maior utilização é feita em sistemas industriais de pequeno e médio portes, são fabricados para 220, 380, 440, e 480V. Já os capacitores de tensão primária são normalmente fabricados para a tensão de 2.300, 3.810, 4.160, 4.800, 6.600, 7.620, 7.967, 13.200 e 13.800 V.

## 2.6 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Para correção do FP quando se tem presença de harmônicas na instalação, Mamede (2010, p.164) diz que,

O ajuste do Fp deve ser realizado considerando as características de carga da instalação. Se a carga for constituída de 80% ou mais de cargas lineares, pode-se corrigir o fator de potência considerando apenas os valores destas cargas. No entanto, se na carga da instalação estiverem presentes cargas não lineares com valor superior a 20% do total da carga conectada, deve-se considerar os efeitos dos componentes harmônicos na correção do fator de potência.

Creder (2015) diz que os componentes harmônicos surgem na instalação levados por três diferentes tipos de cargas não lineares: Cargas operadas por arcos voltaicos (fornos a arco, máquinas de solda, dentre outros), cargas operadas com núcleo magnético saturado (transformadores operando com sobretensão e reatores de núcleo saturado) e, ainda cargas operadas por fontes chaveadas (retificadores, inversores, dentre outros.). Estas distorções harmônicas são fenômenos associados com a deformação da forma de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

Creder afirma ainda que, a combinação de cargas de características não-linear, geradora de harmônicos, e a crescente aplicação de capacitores nos sistemas elétricos das concessionárias de energia, para a regulação de tensão e o alívio da capacidade de transmissão e transformação, bem como a aplicação de capacitores para correção de fator de potência em consumidores atendidos em alta tensão, tornam o sistema suscetível à ocorrência de ressonâncias, na faixa de centenas de hertz, e à conseqüente sobrecarga em componentes da rede. Acredita-se que, a UDESC possua em suas instalações pelo menos 80% de suas cargas com características lineares, portanto, neste projeto, não será levado em conta as distorções harmônicas, mas para real comprovação desta característica, se faz necessário a medição da taxa de distorção harmônica. O que não foi possível pela indisponibilidade de analisadores de energia, em número suficientes para possibilitar as leituras em tempo hábil para desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso. .

## 2.7 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA PARA CARGAS LINEARES

A correção do fator de potência pode ser feita de inúmeras maneiras, tendo como objetivos a conservação da energia e a relação custo/benefício, a seguir serão apresentados os dois métodos mais usuais.

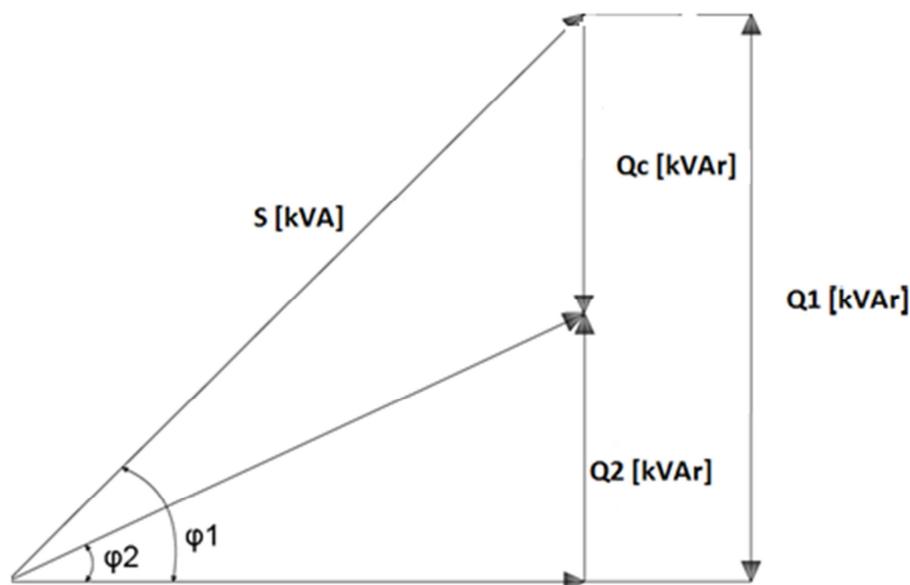
## 2.8 BANCO DE CAPACITORES FIXOS

Uma forma econômica e mais utilizada para a correção de fator de potência é a instalação de capacitores de derivação (banco de capacitores fixos ou automáticos), em paralelo com a carga.

De acordo com WEG (2016), os capacitores fixos são utilizados quando a carga praticamente não muda ao longo de uma curva de carga diária. Também são empregados como uma potência capacitiva de base correspondente à demanda mínima da instalação.

A potência capacitiva necessária para corrigir o FP pode ser determinada a partir do método analítico e é mostrada por Niskier (2008). O autor faz uso da resolução do triângulo das potências, tal qual mostrado na Figura 6. A determinação da potência dos capacitores para elevar o fator de potência pode ser feita com base na equação  $Q_c = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$  onde,  $Q_c$  é a potência do capacitor,  $P$  é a potência ativa,  $\varphi_1$  é o ângulo do fator de potência original e  $\varphi_2$  é o ângulo do fator de potência desejado.

Figura 6: Triângulo de correção de FP



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 6,  $Q_1$  significa a potência reativa fluindo na rede antes da instalação dos capacitores, e  $Q_2$  após a instalação do capacitor  $Q_c$ .

## 2.9 BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICOS

Os bancos de capacitores automáticos são utilizados para situações onde a curva de carga tem variações consideráveis durante o dia, junto a instalação deve ser precedida de medidas operacionais para que levem à diminuição da energia capacitiva no caso de desligamentos de grandes cargas indutivas evitando, assim, que o  $F_p$  se torne capacitivo e inferior a 0,92.

Creder (2015, p.285) mostra que,

O controlador automático do fator de potência (CAFP) é constituído por um sensor eletrônico que verifica a defasagem entre a tensão e a corrente a cada passagem da tensão pela referência zero. Esta defasagem é comparada com a faixa operacional de variação do fator de potência para o qual o CAFP está ajustado, sendo enviados os sinais para ligar ou desligar as contadoras que acionam os estágios do banco de capacitores. O CAFP pode realizar a monitoração trifásica do fator de potência para o caso da instalação com desequilíbrios de carga entre as fases, ou monitoração monofásica para sistemas equilibrados.

Os bancos automáticos de capacitores são fornecidos em painéis onde se alojam os capacitores, as contadoras que colocam ou retiram de operação os

capacitores, o equipamento principal de manobra e proteção, a unidade de controle, os fusíveis, os barramentos e os cabos de ligação e de controle.

Mamede (2011) cita algumas recomendações a serem seguidas para a utilização de bancos de capacitores automáticos. Em primeiro lugar a potência máxima capacitiva recomendada a ser chaveada, por estágio do controlador, deve ser de 15 kVAr para bancos trifásicos de 220V e 25 kVAr para bancos de 380/440 V.

A limitação da potência capacitiva chaveada tem como objetivo reduzir as correntes de surto que ocorrem durante a energização de cada célula capacitiva cujo valores podem superar a 100 vezes a corrente nominal do capacitor, acarretando alguns fatos indesejáveis, tais como a queima de fusíveis, danos nos contatos dos contatores, entre outros. A utilização das potências mencionadas por estágio de potência de manobra implica a utilização de contatores convencionais dispensando-se o uso de indutores antissurto construídos com os próprios condutores que alimentam os capacitores. No caso de manobra de módulos capacitivos com potências superiores, devem ser utilizados indutores antissurto em série com os contatores convencionais ou também podem ser utilizados contatores convencionais instalando-se em paralelo resistores de pré-carga. (Mamede, 2011, P.167).

## 2.10 LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES

Em princípio, os capacitores podem ser instalados no lado de alta tensão dos transformadores, nos barramentos secundários dos transformadores, nos secundários onde exista um grande agrupamento de cargas indutivas, ou ainda, junto às grandes cargas indutivas (tipo individual). Sob o ponto de vista puramente técnico, os bancos de capacitores, sempre que possível, devem ser instalados junto às cargas consumidoras de energia reativa, para que os benefícios devido a sua instalação se reflitam para a rede elétrica.

## 2.11 CAPACITORES JUNTO A GRANDES CARGAS INDUTIVAS

É prática usual conectar capacitores diretamente nos terminais das cargas, isto é particularmente interessante, devido ao fato destes tornarem a curva do fator de potência praticamente plana, o que garante um  $F_p$  constante e próximo dos 100% para qualquer carregamento.

Porém, muitas vezes, não é viável a instalação de um capacitor juntamente a cada equipamento elétrico, por que o custo seria elevado e poderia não haver capacitores comerciais nos valores das cargas, consideradas isoladamente.

## 2.12 INSTALAÇÃO DE CAPACITORES NO LADO DE ALTA TENSÃO

Corrige o fator de potência visto pela concessionária, porém, permanecem, internamente à instalação todos os agravantes do fator de potência, além do custo ser elevado devido ao custo dos equipamentos de manobra e proteção.

## 2.13 CAPACITORES NO SECUNDÁRIO DOS TRANSFORMADORES

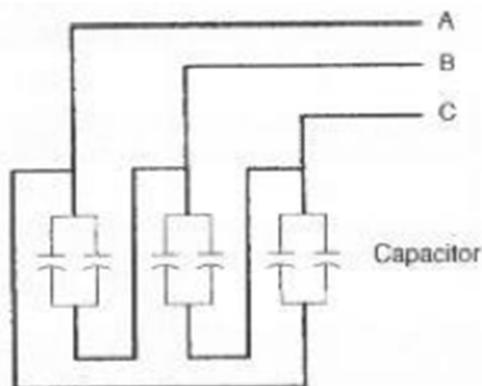
Neste tipo de ligação, os capacitores são instalados no barramento secundário, através de dispositivos de manobra e proteção, que permitem desligá-los quando a instalação estiver operando com baixa carga. Permite uma correção significativa, utiliza-se este tipo de correção em instalações elétricas com elevado número de cargas (como é o caso do CCT), por resultar, em geral, em menores custos finais. Tem a vantagem de liberar potência dos transformadores de força e de poder se instalar no interior da subestação, local normalmente utilizado para o próprio quadro geral de força (QGF).

## 2.14 LIGAÇÃO DOS CAPACITORES EM BANCOS

Niskier (2008) mostra que os capacitores podem ser ligados nas configurações triângulo ou estrela, representadas na Figura 7 e Figura 8, respectivamente. O tipo de arranjo em estrela somente deve ser empregado em sistema cujo neutro seja efetivamente aterrado, o que normalmente ocorre nas instalações industriais. Desta forma, este sistema oferece uma baixa impedância para a terra às correntes harmônicas, reduzindo os níveis de sobretensão devido aos harmônicos referidos.

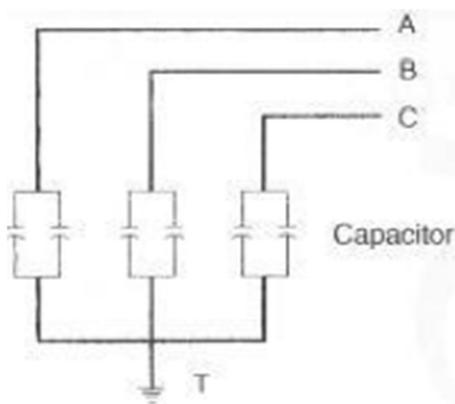
Em instalações de baixa tensão, normalmente os bancos de capacitores são ligados em triângulo, utilizando-se para isto unidades trifásicas.

Figura 7: Ligação em triângulo paralela



Fonte: Mamede, instalações elétricas industriais,2011.

Figura 8: Ligação em estrela paralela



Fonte: Mamede, instalações elétricas industriais,2011.

## 2.15 LEGISLAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Para que haja melhor aproveitamento da energia elétrica, e pelos inconvenientes que o baixo fator de potência causa, o mesmo é regulamentado. O  $F_p$  para unidades consumidoras atendidas com tensão inferior a 230 kV (caso da UDESC atendida em 13,8kV) deve ser encontrado de forma que permaneça dentro do limite de 0,92 indutivo e 0,92 capacitivo, o fator de referência ( $F_r$ ) é então definido como 0,92. Esta regulamentação é estabelecida nas condições gerais de fornecimento de energia elétrica pela ANEEL, estando atualmente em vigor a resolução nº 414, de 9 de setembro de 2010 através do módulo 8 – PRODIST. Nela é estabelecido que o cálculo para fator de potência é efetuado com base nos

valores de consumo de energia ativa consumida (kWh) e energia reativa consumida (kVAh).

Segundo o portal CREA digital (2016), a concessionária registra a demanda ativa e reativa média em intervalos de integralização de 15 minutos, e com base nestes valores calcula a fator de potência médio da instalação a cada intervalo de hora ao longo do mês. A resolução normativa da ANEEL Nº 569 de (2013), diz que o fator de potência da unidade consumidora, para fins de cobrança deve ser verificado pela distribuidora por meio de medição permanente, de forma obrigatória para o grupo A (caso em que a UDESC se enquadra), as unidades consumidoras do grupo B não podem ser tarifadas.

A ANEEL (2013) estabelece um período de 6 horas consecutivas entre 23:30h e 6:30h onde é cobrado por excedente reativo capacitivo cabendo a concessionária estabelecer quais serão as seis horas, nas 18h complementares do dia é cobrado excedente indutivo. No caso da CELESC é estabelecido como posto capacitivo o período das 23:30 até as 5:30.

#### 2.16 PARCELA DE ULTRAPASSAGEM DE ENERGIA REATIVA EXCEDENTE –

$FER_{ULTRAPASSAGEM}$

O consumo de energia reativa excedente é faturado pela concessionária, e é calculado a cada posto horário pela expressão a seguir:

$$FER = \left[ \sum_{t=1}^n \left\{ CAp \cdot \left( \frac{0,92}{fp} - 1 \right) \right\} \right] \cdot TCA \quad (4)$$

Onde:

FER: Faturamento de energia reativa excedente por posto tarifário;

CAp: Consumo de energia reativo medido em cada posto horário;

FP: Fator de potência medido no posto horário;

TCA: Tarifa de energia ativa.

Lembra-se que o trabalho aqui apresentado foca em evitar este faturamento.

## 2.17 CONTROLADOR AUTOMÁTICO DE FATOR DE POTÊNCIA

O controlador automático do fator de potência compacto, que além de eliminar ou diminuir multas e perdas em seu sistema por baixo fator de potência permita a supervisão de instalações elétricas, para o presente trabalho estipula-se o controlador PFW01 da WEG.

O PFW01 realiza medições de tensão fase-fase ou fase-neutro e corrente proveniente da rede elétrica, com os quais calcula e indica em valor eficaz (RMS) as grandezas elétricas de tensão; corrente; frequência; potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, THD (distorção harmônica total) e no modelo trifásico harmônicas ímpares de tensão até 11<sup>o</sup> ordem. (WEG, 2016, p.4)

Através da leitura de tensão e corrente, o PFW01 controla o fator de potência da rede elétrica conforme a programação feita pelo usuário, adicionando ou retirando bancos de capacitores.

### 2.17.1 DESCRIÇÃO FÍSICA

Toda a operação de monitoração é feita através do painel frontal mostrado na Figura 9.

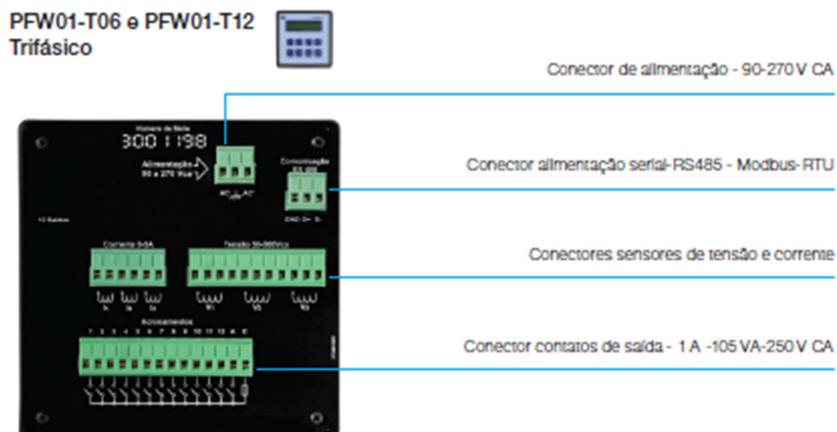
Figura 9: Painel frontal PFW01



Fonte: WEG, Controlador automático de fator de potência, 2016.

As conexões são feitas no painel traseiro, que é mostrado na Figura 10.

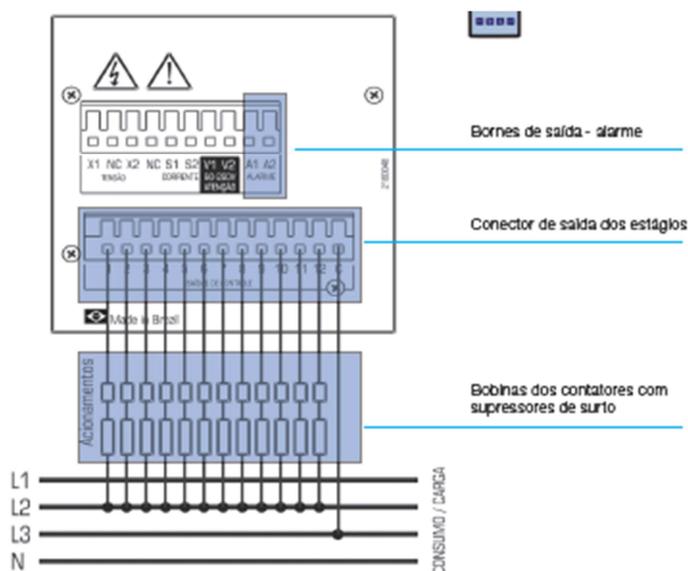
Figura 10: Painel traseiro PFW01



Fonte: WEG, Controlador automático de fator de potência, 2016.

Comercialmente existem controladores de 6 e 12 estágios. Para este trabalho tem-se a necessidade de apenas seis estágios. “Cada saída de acionamento possui capacidade para acionar contadores com até 1A - 105VA/250Vac de potência e corrente de partida menor ou igual a 10A”. (WEG,2016, p.11). As bobinas dos contadores são ligadas aos conectores de saída em esquema semelhante ao mostrado na Figura 11.

Figura 11: Ligação dos bornes de saída às bobinas dos contadores.



Fonte: WEG, Controlador automático de fator de potência, 2016.

Quanto à programação, dentre as diversas funções que o controlador oferece, serão destacadas aqui as mais relevantes para o controle de FP. É possível programar uma faixa de controle, (utilizado para informa ao equipamento, a faixa de fator de potência que deverá ser mantida através do ligamento e desligamento automático dos bancos de capacitores), o tempo de entrada do banco de capacitores, este é o tempo em que o fator de potência lido pelo controlador deve ficar abaixo da referência antes do acionamento do estágio de saída. De maneira semelhante pode-se programar o tempo de saída do banco de capacitores. É permitido também programar a função kVAr. Com ela configura-se o valor do capacitor, ou banco de capacitores, em kVAr, para cada saída do controlador. (WEG,2016).

### **3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FP DE POTÊNCIA NO CCT**

Para maior confiabilidade, Mamede (2011) sugere um período de medição de pelo menos uma semana em cada subestação, além de condições climáticas que favoreçam o pior caso para o sistema elétrico do campus. Porém, a situação meteorológica em Joinville, no último semestre de 2015, com baixas temperaturas e muita chuva, não colaborou para que fosse possível levantar curvas de carga próximas da realidade extrema, casos onde potência consumida é máxima e o fator de potência tende a ser baixo.

Assim, as medições foram feitas no primeiro semestre de 2016, onde o clima se fez favorável com temperaturas próximas a 40°C. Desta forma um número considerável de aparelhos de ar condicionado (uma das principais cargas do centro) foi ligado. As leituras foram registradas através de dois aparelhos emprestados do Laboratório de Planejamento Energético – LAPER, os modelos foram o FLUKE 435 Series II e o EMBRASUL RE6000. No apêndice a é mostrado de maneira detalhada, as funções do analisador FLUKE, bem como proceder para o tratamento de dados diretamente do software que acompanha o analisador. As funções são muito parecidas para o equipamento EMBRASUL e por isso não se detalhou o mesmo.

As leituras foram feitas com registros de 1 em 1 minutos. Como o excedente reativo é faturado em períodos de uma hora, se fez necessário levantar as curvas de fator de potência em intervalo de integralização de 60 minutos, os gráficos de potência ativa, reativa e aparente apresentam registros com período de integralização de 15 minutos, pois é desta maneira que a concessionária registra os dados. (Vicente, 2012).

Os gráficos poderiam ter sido gerados diretamente do Power Log 430 II e do ANL6000. Porém, para padronizar os modelos de gráficos preferiu-se então exportar os dados em formato .txt e, assim, utilizá-los em planilha eletrônica.

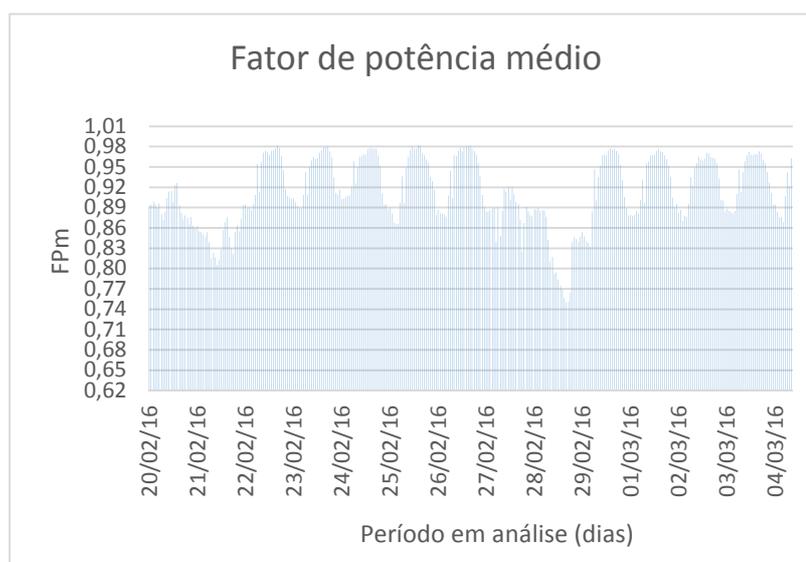
Os valores de reativos necessários para corrigir o fator de potência foram calculados com fator de referência 0,95 e não 0,92 como a ANEEL exige, isto para dar folga ao sistema e assim tornar a correção mais robusta pois, o tempo de

análise para cada subestação foi pequeno e isto pode trazer futuros problemas como, por exemplo. Em algum período de integralização pode-se necessitar maior compensação reativa do que o previsto para o posto horário e então levar o FP abaixo dos 0,92 exigidos pela ANEEL.

### 3.1 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 1

Este transformador de 150kVA alimenta o bloco A, B e D do CCT, sendo que, utilizou-se o analisador FLUKE durante um período de 14 dias consecutivos. As medições iniciaram dia 20/02/2016 e encerraram dia 04/03/2016. Na Figura 12 é mostrada a curva de fator de potência médio com intervalo de integralização de 1h.

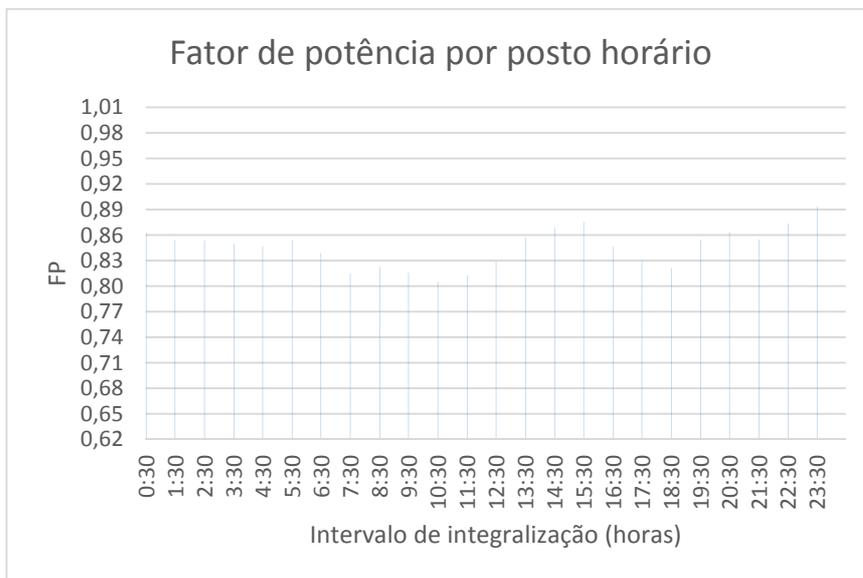
Figura 12: Fator de potência médio durante todo o período



Fonte: Próprio autor

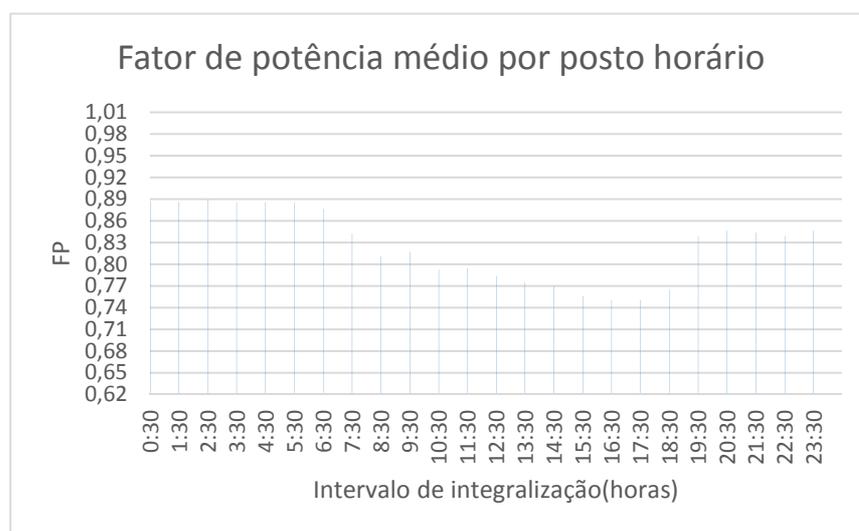
Por este gráfico, pode-se observar como o fator de potência se comporta ao longo dos dias. Nota-se que nos dias 21 e 28 o fator de potência teve os menores valores do período. Vamos analisar, então, os gráficos da Figura 13 e Figura 14 que contêm os valores de fator de potência horário ao longo destes dois dias.

Figura 13: Fator de potência médio ao longo do dia 21/02/16



Fonte: Próprio autor

Figura 14: Fator de potência médio ao longo do dia 28/02/16



Fonte: Próprio autor

Consultando o calendário, observa-se que ambos os dias são domingos, onde a demanda consumida é baixa e esperava-se um bom fator de potência, por não se ter grandes cargas indutivas acionadas. Todavia, isto não se comprova, pois em nenhum período de integralização obteve-se valores acima de 0,92. A subestação em questão alimenta o bloco A, da administração, e o bloco B e D, os quais são compostos por salas de aula e laboratórios. Portanto, nos finais de

semana, quando não há aula, a principal carga acionada é de iluminação, a qual é composta por lâmpadas fluorescentes, o que pode explicar o baixo fator de potência.

Porém, os valores abaixo do FPr não ocorrem apenas nos finais de semana como pode-se observar no gráfico da Figura 12. De segunda à sexta-feira, dias normais de trabalho da instituição, observa-se que a curva de fator de potência comporta-se de maneira semelhante. A seguir será analisada a curva do dia 25/02 (Sexta feira-feira), apresentada na Figura 15.

Figura 15: Fator de potência médio ao longo do dia 25/02/16

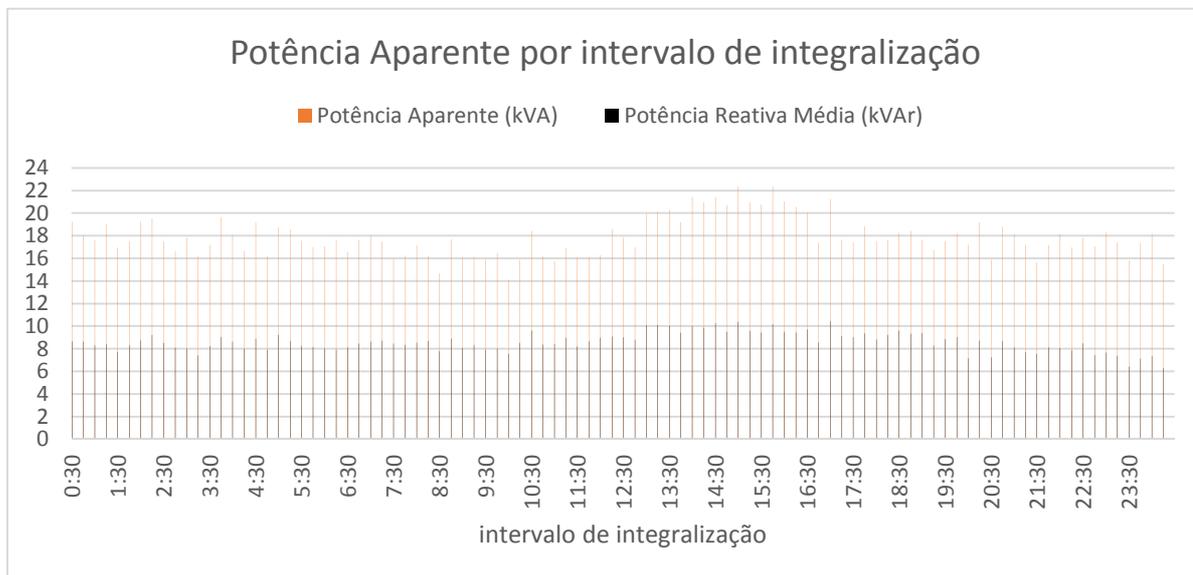


Fonte: Próprio autor

Olhando para o gráfico da Figura 15 percebe-se que entre 00:30h e 5:30h o fator de potência encontra-se abaixo da referência 0,92, estabelecida pela ANEEL. Contudo, este é o intervalo de posto capacitivo estabelecido pela CELESC e, portanto, não é aplicada multa por excesso reativo indutivo. Mas, percebe-se que no intervalo das 5:30 até o posto das 9:30 e o posto das 22:30h até o das 23:30h encontram-se valores de fator de potência abaixo do permitido e, assim, passível de multa, pois encontra-se no posto indutivo.

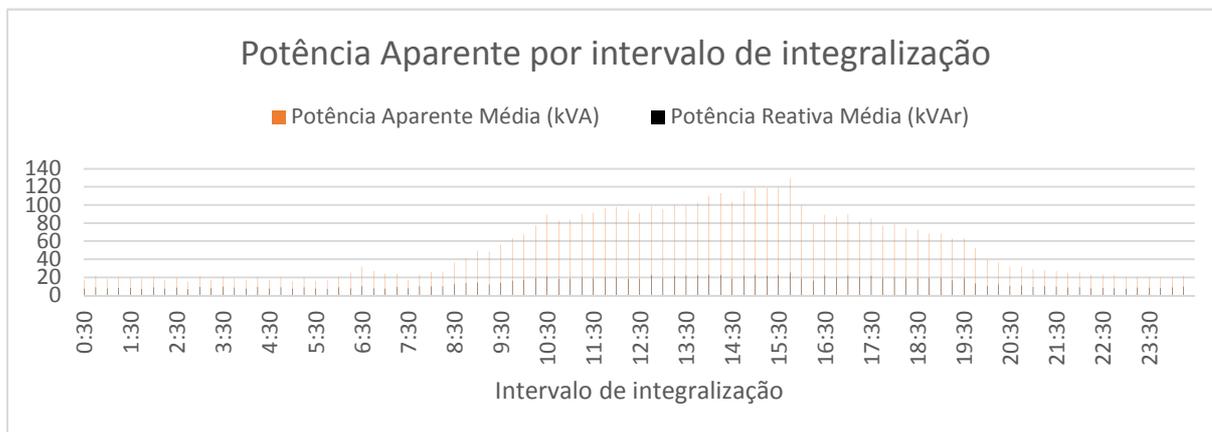
Passa-se agora, para análise das formas de onda de demanda, de potência aparente média, consumida em intervalos de integralização de 15 minutos, nos dias 21, 25 e 28 do mês de fevereiro, bem como a energia reativa consumida nestes mesmos dias.

Figura 16: Demanda de potência aparente e reativa média consumida em intervalos de 15min no dia 21/02/2016



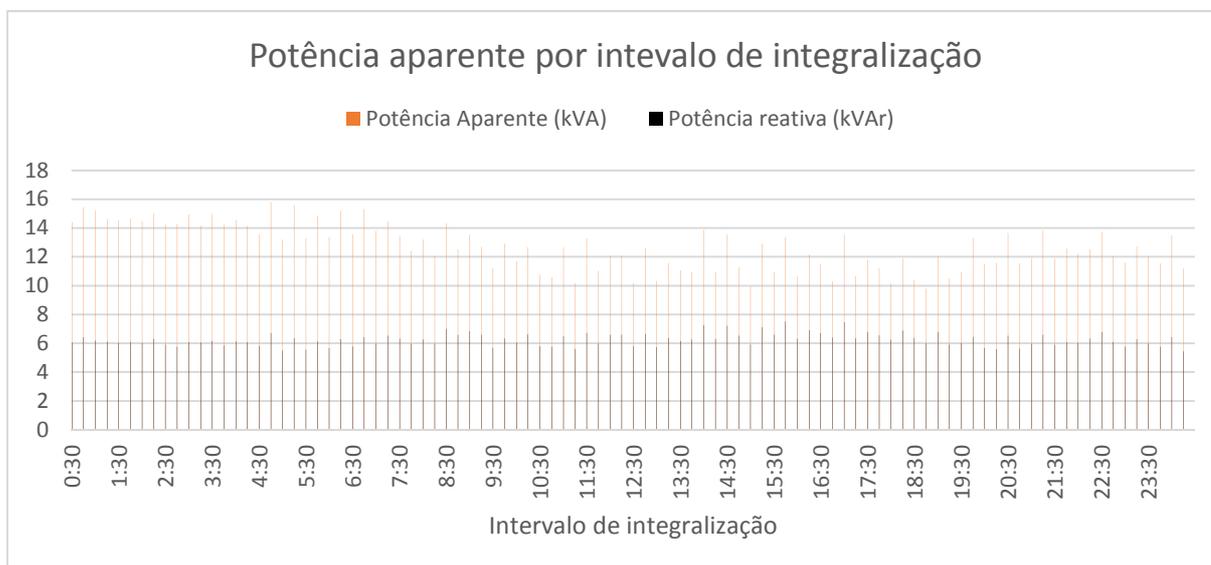
Fonte: Próprio autor

Figura 17: Demanda de potência aparente e reativa média consumida em intervalos de 15min no dia 25/02/2016



Fonte: Próprio autor

Figura 18: Demanda de potência aparente e reativa média consumida em intervalos de 15min no dia 28/02/2016



Fonte: Próprio autor

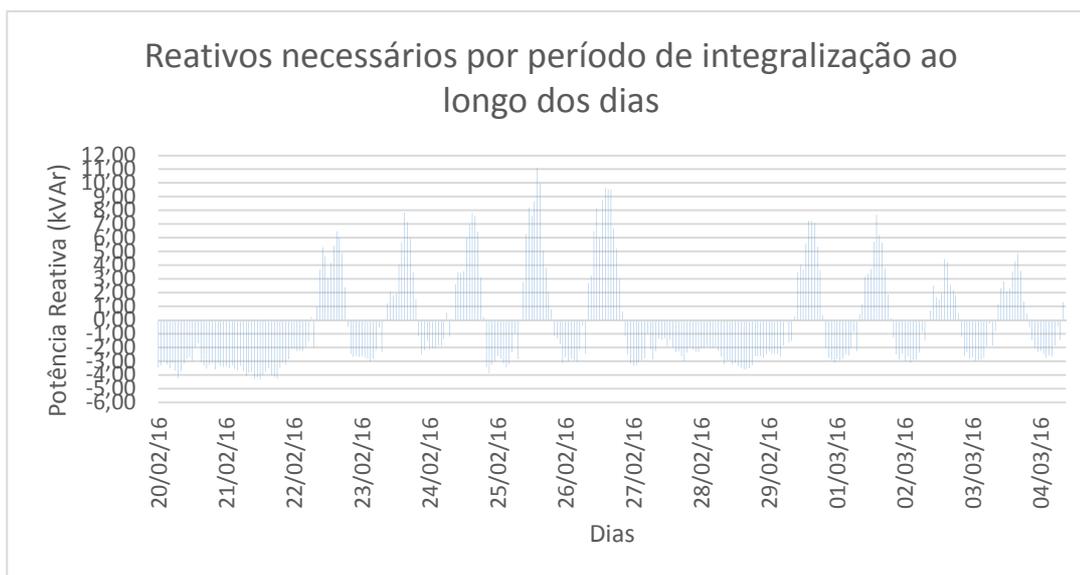
Analisando os gráficos da Figura 16 à Figura 18, nota-se que em intervalos de menor demanda (gráfico da Figura 17) do dia 25/02, ou, nos dias 21 e 28/02 (gráfico da Figura 16 e Figura 18, respectivamente), cujas demandas são baixas por serem domingos, é justamente, onde se tem o fator de potência com valores abaixo de 0,92, conforme Figura 13, Figura 14 e Figura 15.

É evidente que, quanto menos reativo na rede, melhor para instalação. Porém, quando se observa o gráfico da Figura 17, demanda de potência aparente e reativa do dia 25/02, fica claro que nos intervalos de maior consumo de reativo, das 10:30h até 19:30h, é exatamente o mesmo período onde o FP se mantém acima de 0,92ind. (gráfico da Figura 15). Portanto, não é apenas porque se tem mais reativo consumido que o FP deve ficar abaixo de 0,92. Ainda, se pode verificar que os baixos fatores de potência se dão, exatamente nos períodos de menor consumo de reativos, ou seja, no final da noite e durante a madrugada. Para os dias 21 e 28/02, pode-se observar que há consumo menor de reativos, sendo que na ordem de 5 a 10kVAr, ou seja, quando apenas as cargas de iluminação é que prevalecem.

Observe que na proporção em que a demanda de potência aparente aumenta a potência ativa acompanha, e o FP melhora. Isto sugere que cargas com boa eficiência foram ligadas levando a razão P/S para valor mais próximo da unidade (melhor fator de potência). Portanto, não se pode fazer a correção baseado no intervalo de integralização que contém o maior valor de reativo, mas, também, não se pode fazer a correção olhando apenas para o intervalo que contém o pior fator de potência, pois isto possibilita a existência de algum caso em que fator de potência esteja levemente superior ao pior FP, mas com demanda consumida muito maior, implicando na necessidade de adicionar muito mais potência reativa para se conseguir a correção, uma vez que a potência é dada pela fórmula  $Q_c = P(tg\phi_1 - tg\phi_2)$ , ou seja, dependente diretamente da potência ativa média consumida no intervalo em questão.

No gráfico da Figura 19 está mostrada a quantidade de reativo a ser injetado no sistema a fim de corrigir o fator de potência para 0,95. Os valores foram calculados com fator de referência 0,95 e não 0,92 como a ANEEL exige, isto para dar margem de segurança e permitir a possível instalação de novos aparelhos. Lembrando-se que, mesmo com margem de segurança, é indispensável uma nova análise de FP antes da instalação, de qualquer nova carga.

Figura 19: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização



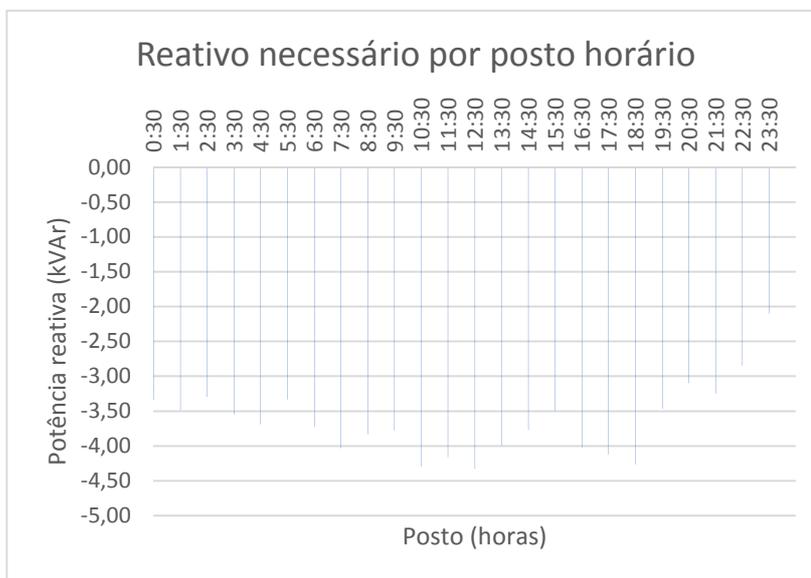
Fonte: Próprio autor

É preciso estar claro que os valores mostrados na Figura 19, que estão acima do eixo das abcissas mensuram os valores dos reativos indutivos necessários para levar o fator de potência até a referência 0,95 indutivo. Como na Figura 12 não foi detectado que o FP tenha se alterado para capacitivo e qualquer valor acima da referência é bom para o sistema, então será focado na análise dos valores que se encontram abaixo do eixo zero, pois, seus valores representam à potência reativa capacitiva necessária para corrigir o sistema para 0,95 indutivo. Os cálculos foram simplificados, considerando potência constante o que na prática não é realidade, porém para efeito de fator de potência não traz prejuízos consideráveis uma vez que as potências utilizadas em cada posto horário, representam uma média da potência no intervalo.

Nas Figura 20 e

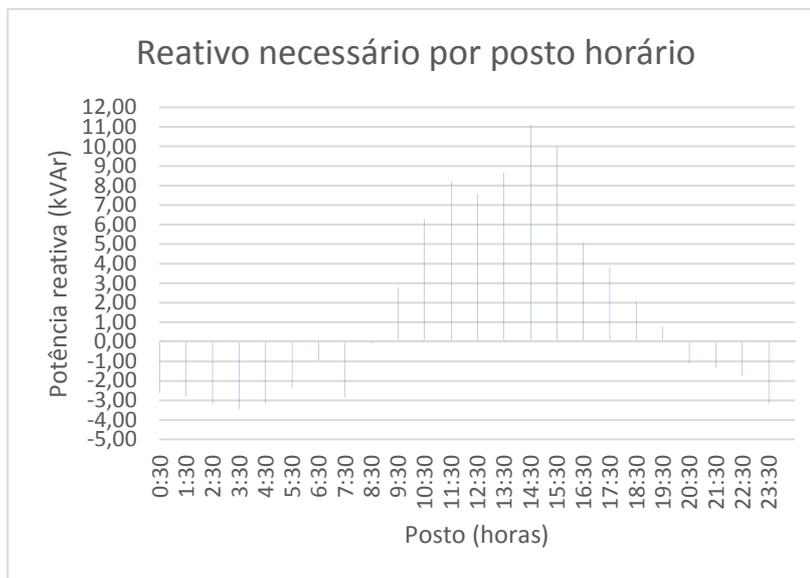
Figura 21, serão mostradas as potências necessárias para correção nos dias 21/02 e 25/02, respectivamente.

Figura 20: Reativo necessário para correção ao longo do dia 21/02/2016



Fonte: Próprio autor

Figura 21: Reativo necessário para correção ao longo do dia 25/02/2016



Fonte: Próprio autor

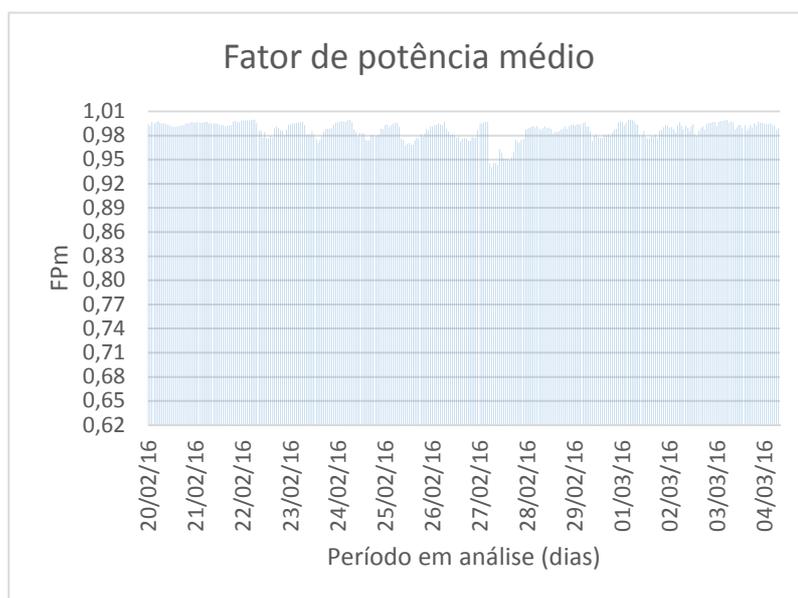
Com as figuras acima pode-se dimensionar a carga capacitiva, o acionamento do banco de capacitores se dará através de um controlador automático de fator de potência PFW01, descrito na revisão bibliográfica. O controlador pode ser de 6 ou 12 estágios, onde cada estágio aciona um módulo capacitivo. Levando em consideração o posto das 6:30h da

Figura 21 (menor valor de reativo necessário), estipulou-se a instalação de uma unidade capacitiva de 1kVAr no primeiro estágio. Olhando para a mesma figura, estipulou-se também no segundo estágio uma unidade de 2kVAr. Para atender à necessidade das 20:30h até as 22:30h (2kVAr), para os estágios 3 e 4 estipulou-se unidades de 0,5kVAr, e para o quinto estágio, 0,75kVAr. Assim somando todos os canais, pode-se atender o pior caso que é o posto das 10:30h (4,25kVAr) da Figura 20. Os três últimos estágios, por acionarem unidades capacitivas de menor valor, também serão acionados automaticamente para corrigir valores intermediários, como por exemplo 1,75kVAr, combinando o estágio 1 com o 5.

### 3.2 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 2

Este transformador de 150kVA alimenta os blocos K e F. Para as medições utilizou-se o analisador FLUKE durante um período de 14 dias consecutivos. As medições iniciaram dia 20/02/2016 e encerraram dia 04/03/2016. Na Figura 22 é mostrada a curva de fator de potência médio com intervalo de integralização de 1h.

Figura 22: Fator de potência médio durante todo o período

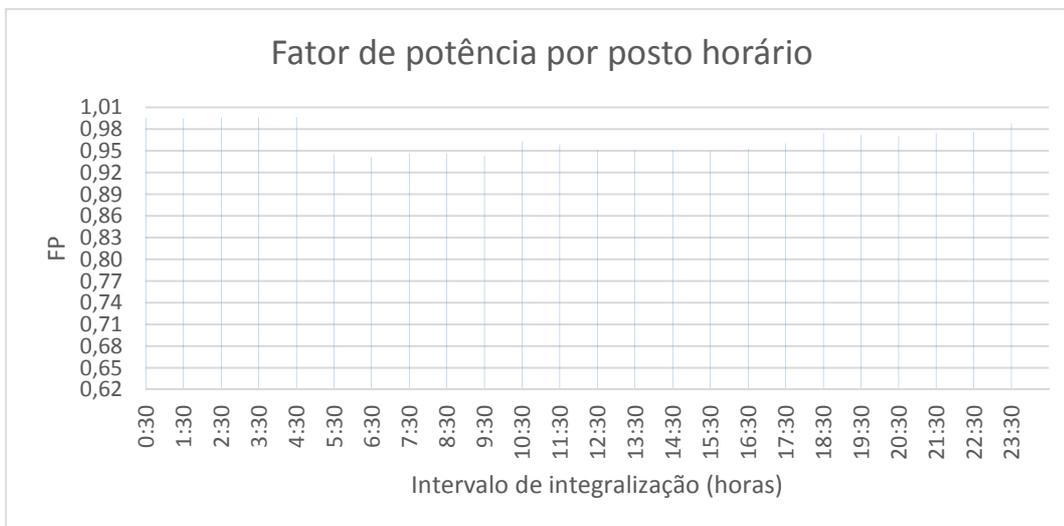


Fonte: Próprio autor

Por esta figura pode-se observar como o fator de potência se comporta ao longo dos dias. Percebe-se que o fator de potência tem um bom comportamento durante todo o período, mantendo-se a cima do valor mínimo de 0,92 estabelecido pela ANEEL. Porém, no dia 27 tem-se valores menores de 0,95, que é o fator de referência estabelecido para este trabalho. Vai-se analisar, então, o gráfico da

Figura 23 que contém os valores de fator de potência horário ao longo deste dia.

Figura 23: Fator de potência médio ao longo do dia 27/02/16



Fonte: Próprio autor

Consultando o calendário observa-se que o dia 27/02 foi um sábado. O comportamento do fator de potência para este dia foi atípico quando comparado com os demais dias de medição e, também, quando comparado com o comportamento do dia 20/02 (também sábado), que não apresentou valores abaixo do FPr, como foi mostrado na Figura 22.

. Mesmo percebendo-se que os valores do dia 27/02 são fora dos padrões dos demais dias, eles não podem ser descartados pois, poderia se identificar o ocorrido novamente, caso fosse analisado um intervalo de dias maior. Seguindo a mesma metodologia da subestação 1, no gráfico da

Figura 24 será mostrado a quantidade de reativo a ser injetado no sistema a fim de corrigir o fator de potência para 0,95 indutivo.

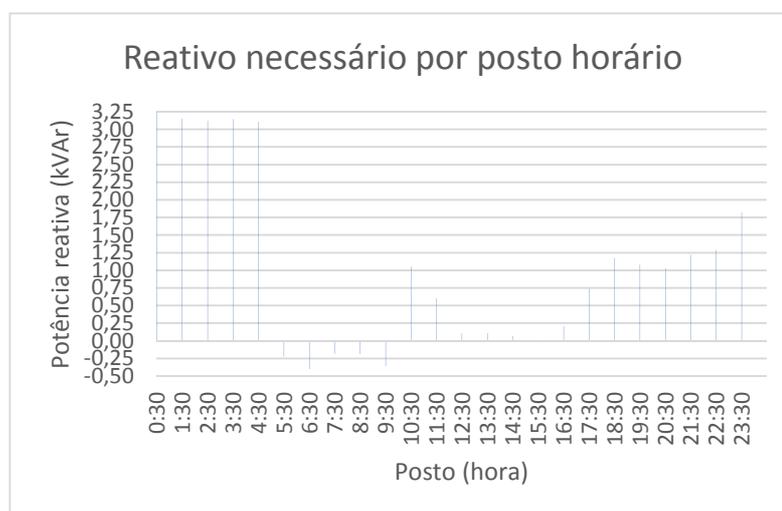
Figura 24: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização



Fonte: Próprio autor

Como já se esperava o único dia que exige a inserção de potência capacitiva é o dia 27, para visualizar melhor os valores a serem inseridos será mostrado na Figura 25 o capacitivo necessário para cada posto do dia.

Figura 25: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização do dia 27/02/2016



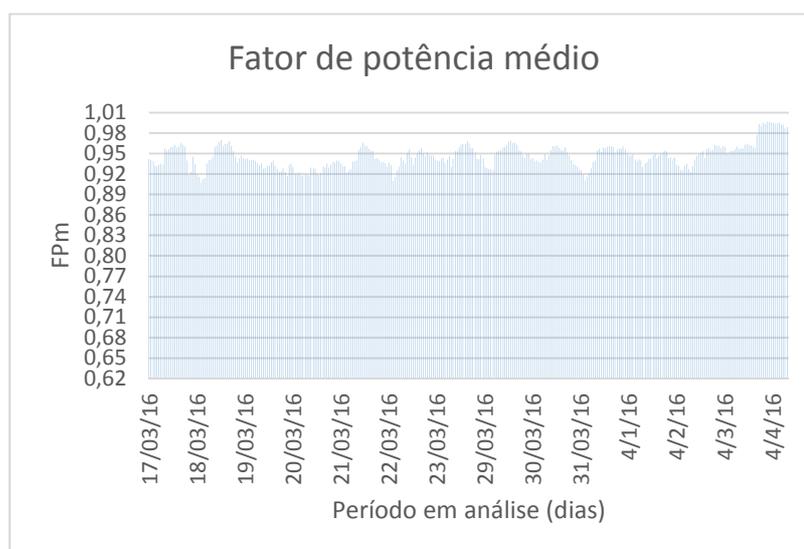
Fonte: Próprio autor

O acionamento do banco de capacitores se dará através de um controlador automático de fator de potência PFW01 de 6 estágios onde cada estágio aciona um módulo capacitivo. Levando em consideração a Figura 25, observa-se a necessidade da utilização de apenas 1 canal com uma unidade capacitiva de 0,5kVAr (menor valor comercial), para compensação das 5:30h às 9:30h.

### 3.3 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 3

Este transformador de 300kVA alimenta o bloco da mecânica. Para as medições utilizou-se o analisador FLUKE nos intervalos do dia 17/03/16 a 23/03/16 e dos dias 29/03/16 a 04/04/16. Na Figura 26 é mostrada a curva de fator de potência médio com intervalo de integralização de 1h.

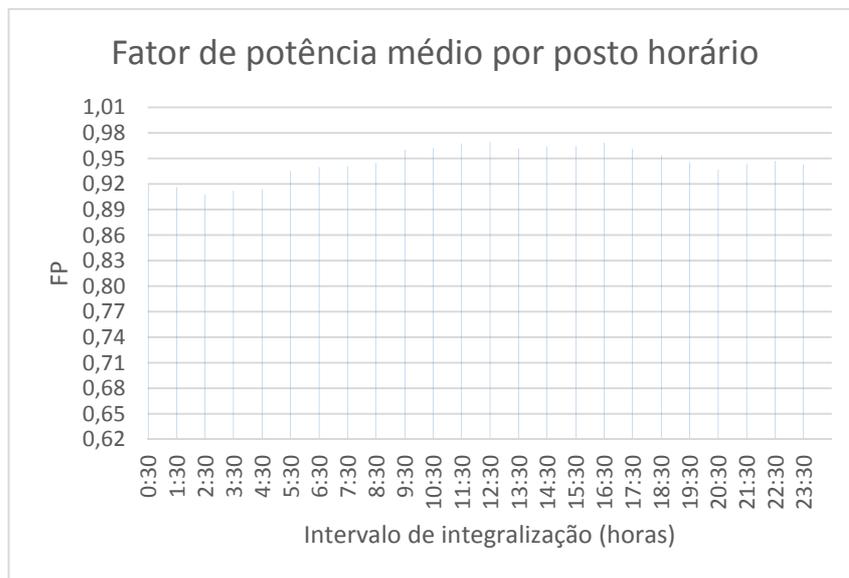
Figura 26: Fator de potência médio durante todo o período



Fonte: Próprio autor

Por este gráfico pode-se observar que o fator de potência se comporta de maneira semelhante ao longo dos dias. Nota-se que nos dias 18/03 e 31/03, sexta-feira e quinta-feira, respectivamente, o fator de potência teve os menores valores do período. Vamos analisar, então, os gráficos da Figura 27 e Figura 28, que contêm os valores de fator de potência horário ao longo destes dois dias.

Figura 27: Fator de potência médio ao longo do dia 18/03/16



Fonte: Próprio autor

Figura 28: Fator de potência médio ao longo do dia 31/03/16

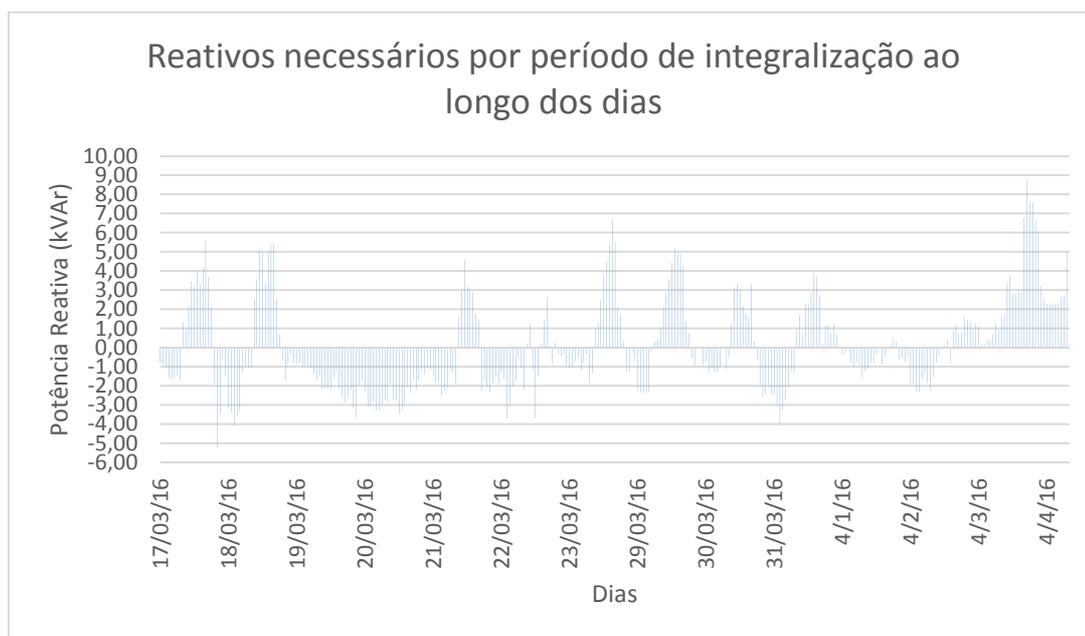


Fonte: Próprio autor

Constata-se que o fator de potência se encontra abaixo do valor 0,92 estabelecido pela ANEEL apenas durante a madrugada, mas que em vários momentos encontra-se abaixo do FPr estipulado para este trabalho.

Seguindo a mesma metodologia já mostrada para a subestação 1 e 2 no gráfico da Figura 29 será mostrado a quantidade de reativo a ser injetado no sistema afim de corrigir o FP para 0,95.

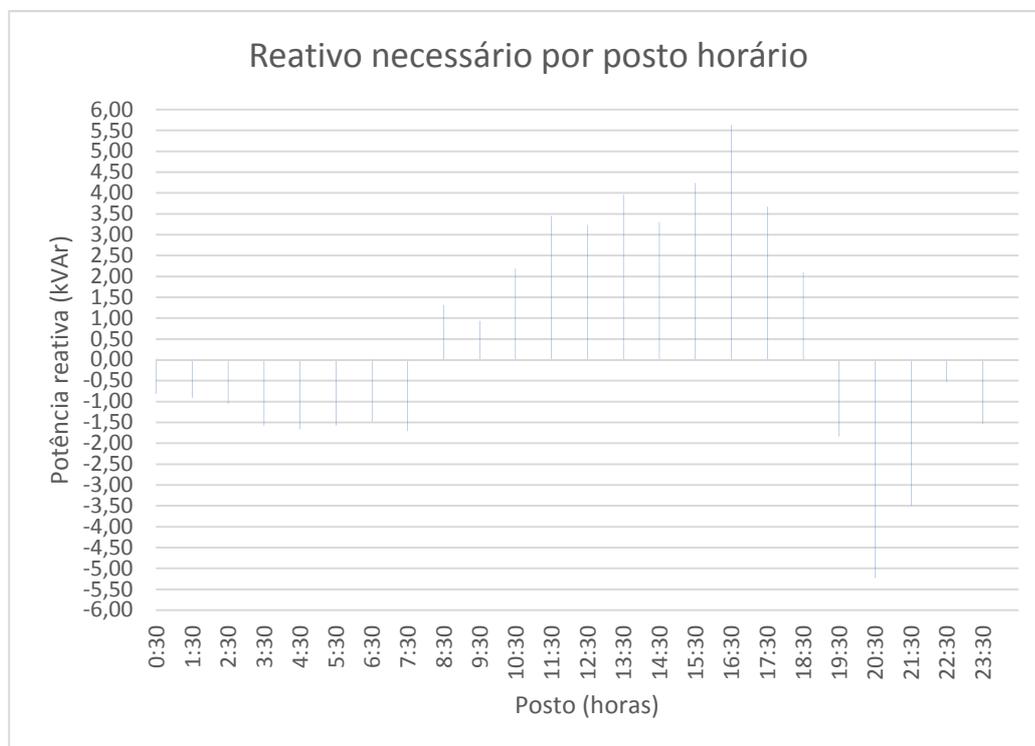
Figura 29: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização



Fonte: Próprio autor

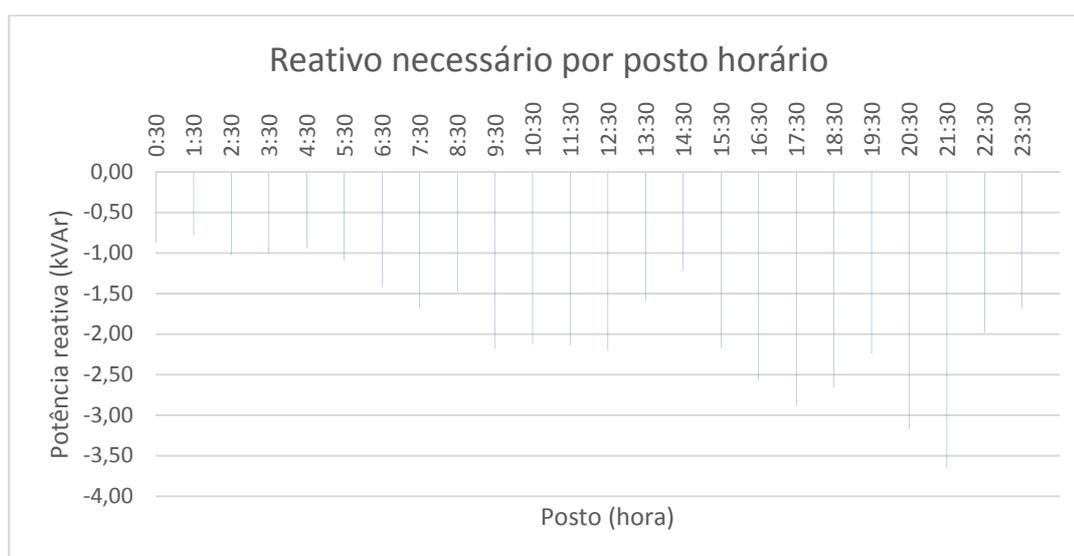
Na Figura 29, abaixo do eixo das abcissas observa-se no dia 17/03/16 um pico de reativo capacitivo a ser inserido, com valor superior a 5kVAr. Pode-se perceber, também, que no dia 19/03 e 20/03 todos os intervalos de integralização necessitaram de reativo capacitivo para levar o fator de potência à referência 0,95, isto se deve ao fato do FP ter ficado abaixo de 0,95 para todos os postos nestes dois dias e pode ser observado na Figura 29. Em seguida, serão mostrados os valores de reativo necessário para a correção nos dias 17, 19 e 20 do mês de março, através da Figura 30, Figura 31, Figura 32, respectivamente.

Figura 30: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 17/03/2016



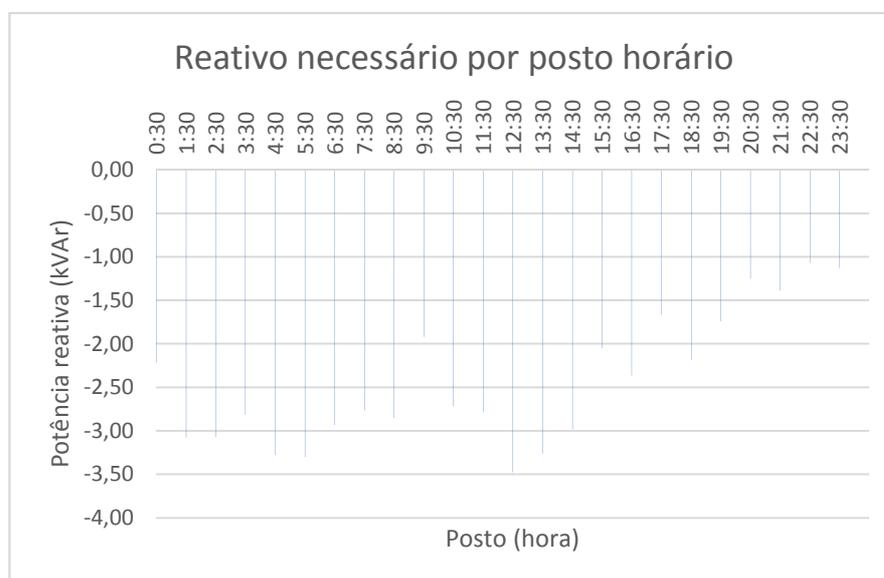
Fonte: Próprio autor

Figura 31: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 19/03/2016



Fonte: Próprio autor

Figura 32: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 20/03/2016



Fonte: Próprio autor

Observa-se pela Figura 30 e Figura 31 que durante a semana tem-se o acionamento de cargas pouco eficientes do ponto de vista energético pois, o posto das 20:30h, do dia 17/03, e o posto das 21:30h, do dia 19/03, registraram as maiores demandas de reativo nos seus respectivos dias.

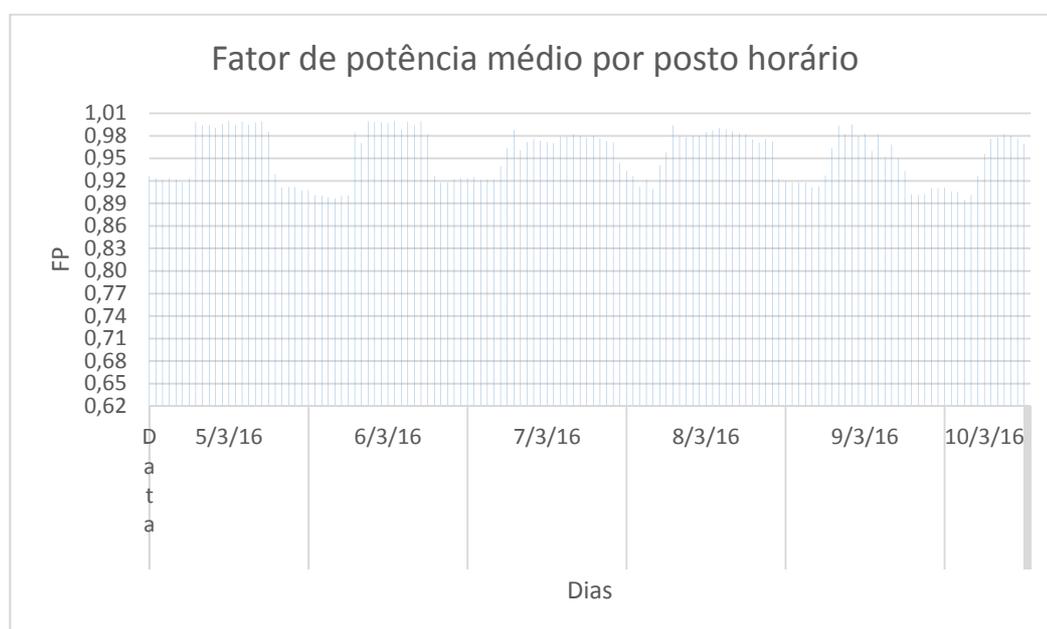
O acionamento do banco de capacitores se dará através do controlador automático de fator de potência de 6 estágios PFW01. Levando em consideração a Figura 30, onde o posto das 22:30h está levemente acima de 0,5kVAr, estipulou-se a utilização do primeiro estágio para acionamento de uma unidade capacitiva de 0,75kVAr. No segundo canal será instalado uma unidade de 1,5kVAr, para atender valores entre 0,75kVAr e 1,5kVAr encontrados nos postos das 20:30 até as 23:30 da Figura 32. Valores entre 1,5 e 2,25, recorrente entre os postos das 9:30h e 12:30h da Figura 31, podem ser atendidos pelos valores da soma dos dois primeiros canais. No terceiro canal se acionará uma unidade capacitiva de 2,5kVAr com o intuito de atender a demanda entre 2,25 e 2,5kVAr e possibilitando, também, a correção do pior caso, posto das 20:30h da Figura 30, cujo valor é próximo de 4,75 e será atendido com o somatório dos 3 canais. Valores entre 2,5kVAr e 3,25kVAr podem ser supridos com o primeiro e terceiro canal, caso dos postos das

15:30h as 19:30h do dia 19/03/2016. Pode-se atender, ainda, valores até 3,75kVAR combinando os dois últimos canais.

### 3.4 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 4

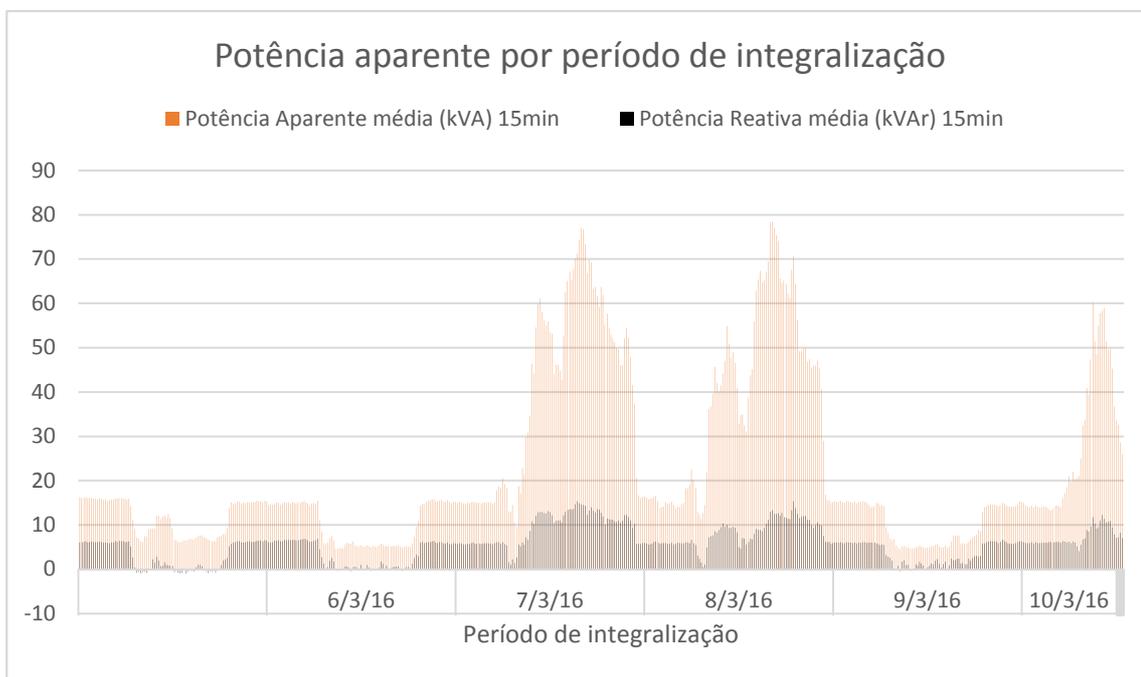
Este transformador de 150kVA alimenta o bloco L. Para as medições utilizou-se o analisador EMBRASUL No período do dia 05/03/2016 até o dia 10/03/2016. Na Figura 33 é mostrada a curva de fator de potência médio com intervalo de integralização de 1h e, na sequência, a Figura 33 apresenta as curvas de potência aparente e reativa.

Figura 33: Fator de potência médio durante todo o período



Fonte: Próprio autor

Figura 34: Potência aparente e reativa média por período de integralização ao longo dos dias em análise

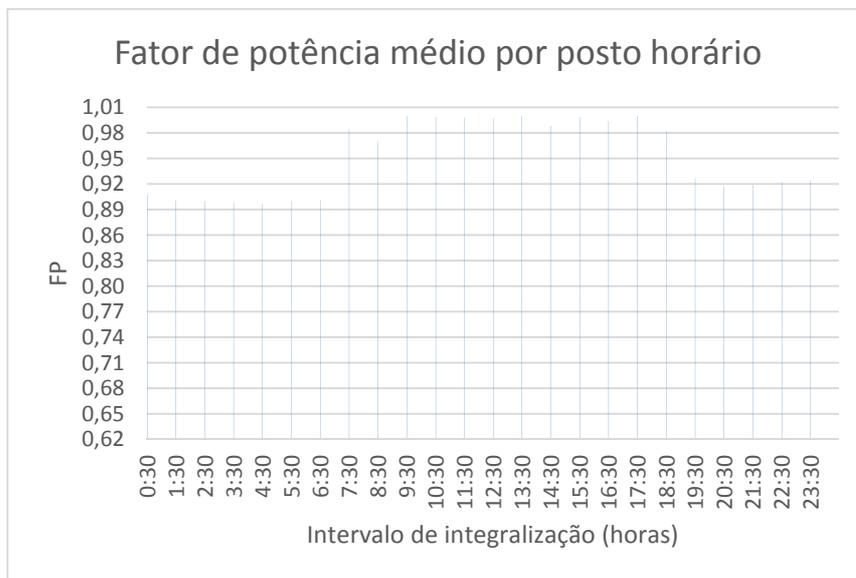


Fonte: Próprio autor

Pelo gráfico da Figura 33 pode-se observar que o fator de potência se comporta de maneira semelhante ao longo dos dias e atinge valores mais baixos no dia 06/03/16. Pela Figura 34 observa-se que em praticamente todos os dias tem-se períodos de integralização com valores de potência reativa indutiva. Agora serão analisados os gráficos da

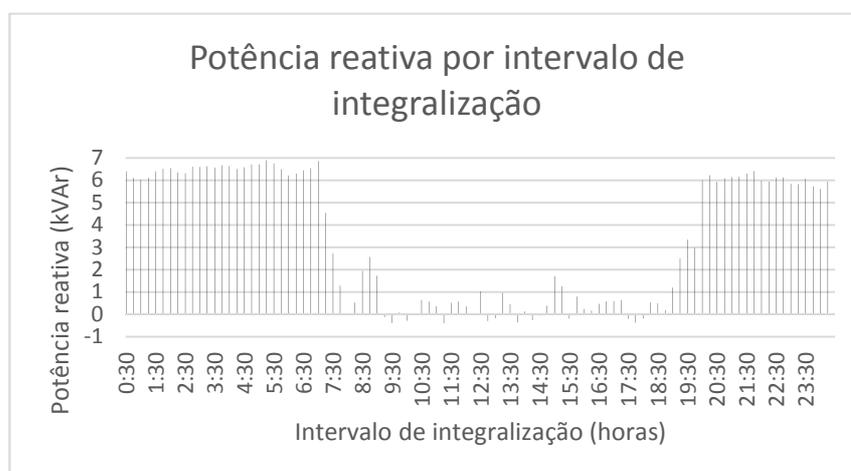
Figura 35, que contém os valores de fator de potência e potência reativa ao longo do sexto dia de março.

Figura 35: Fator de potência médio ao longo do dia 06/03/16



Fonte: Próprio autor

Figura 36: Potência reativa ao longo do dia 06/03/16



Fonte: Próprio autor

Como as leituras de potência ativa e reativa são registradas a cada 15 minutos, identificou-se na Figura 36 alguns registros de reativo capacitivo, porém, como o fator de potência médio é calculado com os 4 valores registrados durante a hora não se obteve fator de potência capacitivo, o que pode ser observado na Figura 37.

Constata-se que o fator de potência se encontra abaixo do valor 0,92 estabelecido pela ANEEL apenas durante a madrugada, mas que em vários momentos encontra-se abaixo do FPr estipulado para este trabalho.

Seguindo a mesma metodologia já mostrada para na subestação 1, 2 e 3 no gráfico da Figura 37 será mostrado a quantidade de reativo a ser injetado no sistema a fim de corrigir o FP para 0,95.

Figura 37: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização

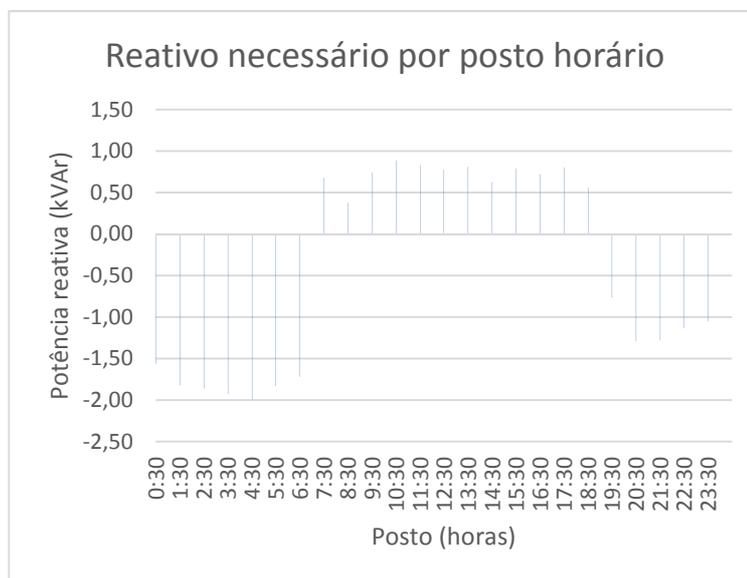


Fonte: Próprio autor

Abaixo do eixo das abcissas observa-se no dia 06/03/16 um pico de reativo capacitivo a ser inserido, com valor máximo próximo a 2kVAr. A

Figura 38 mostra o valor de reativo a ser inserido no decorrer do dia 06/03/2016.

Figura 38: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 06/03/2016



Fonte: Próprio autor

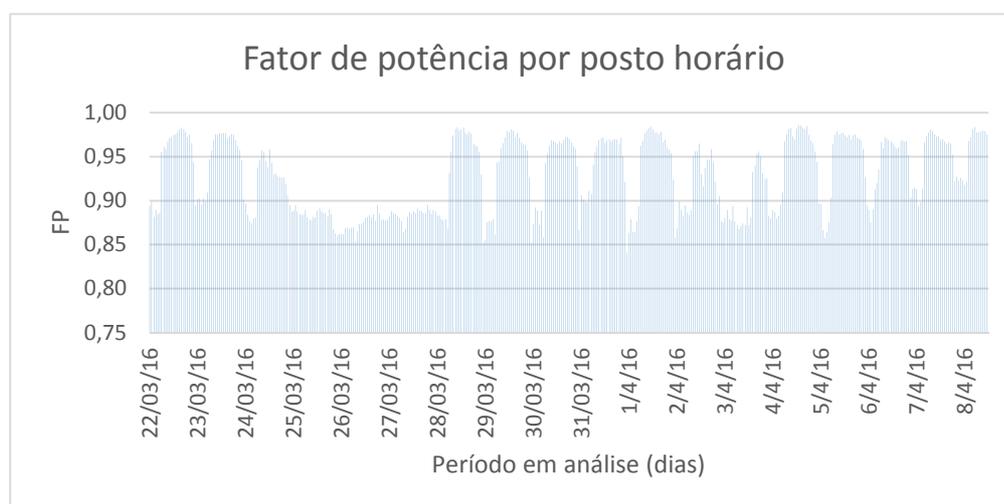
Observando a Figura 38 nota-se que os momentos onde se faz necessário a inserção de potência capacitiva na rede é na madrugada e depois das 19:30h, o que sugere que o FP vem sendo prejudicado por cargas de iluminação pois, são horários onde as mesmas ficam ligadas.

O acionamento do banco de capacitores se dará através de um controlador automático de fator de potência de 6 estágios PFW01. Levando em consideração a Figura 38, estipulou-se a utilização do primeiro estágio para o acionamento de uma unidade capacitiva de 0,75kVAr atendendo demandas semelhantes ao posto 19:30h. Para o segundo estágio projeta-se mais uma unidade capacitiva de 0,75kVAr, assim, utilizando os dois estágios se faz possível atender os postos horários das 20:30h até as 23:30h (valor máximo de 1,25kVAr). Observa-se que durante a madrugada tem-se a maior necessidade de reativos capacitivo para a correção do FP no posto das 4:30h, porém neste período tem-se apenas cobrança, por parte da concessionária, apenas por ultrapassagem de limites de reativo indutivo, logo não é necessária a correção.

### 3.5 ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO 5

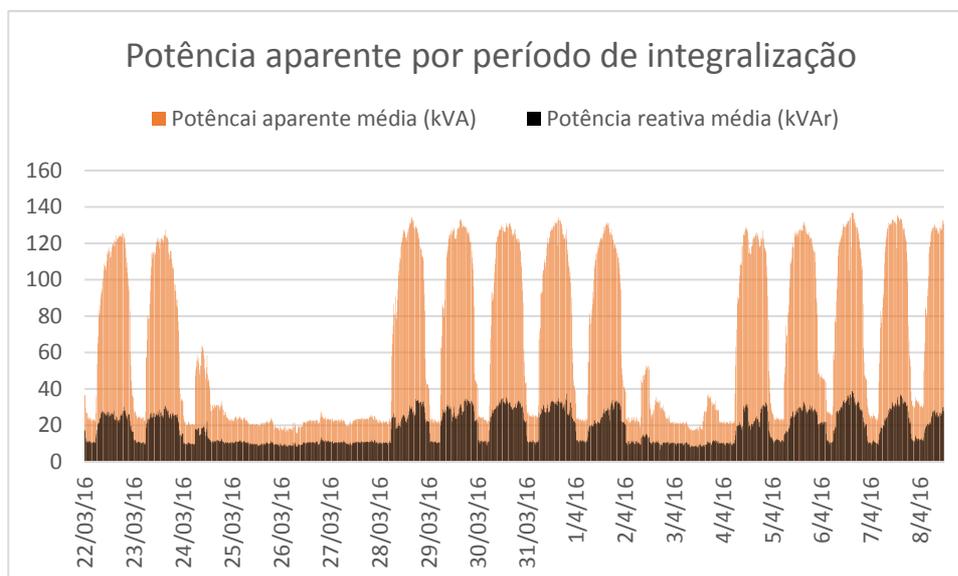
Este transformador de 225kVA atende as cargas do bloco E, bloco O, ginásio de esportes e biblioteca. Porém, momentaneamente, o mesmo está atendendo também o centro de convivências em virtude do desligamento da sua subestação devido às consequências das obras do novo prédio (bloco I). Para as medições utilizou-se o analisador EMBRASUL, no período do dia 21/03/2016 até o dia 07/04/2016. Na Figura 39 é mostrada a curva de fator de potência médio com intervalo de integralização de 1h e, na sequência, na Figura 40 é mostrado as curvas de potência aparente e reativa.

Figura 39: Fator de potência médio durante todo o período



Fonte: Próprio autor

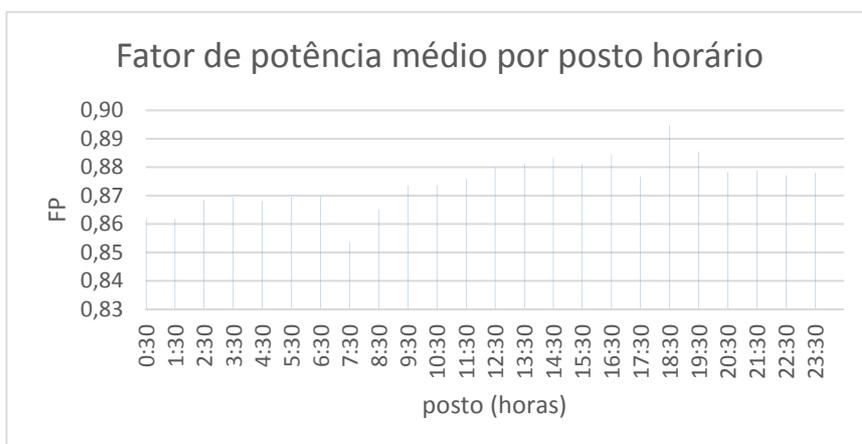
Figura 40: Potência aparente e reativa média por período de integralização ao longo dos dias em análise



Fonte: Próprio autor

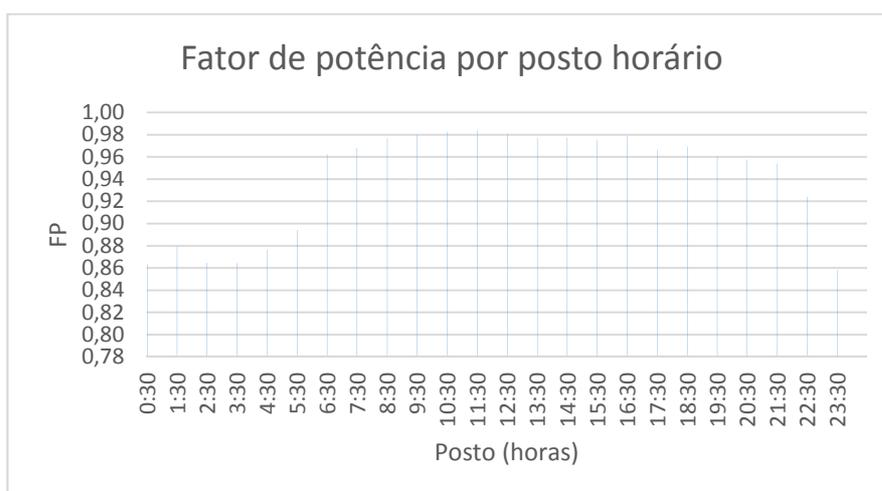
Pelo gráfico da Figura 40 que nos dias 25, 26 e 27 (sexta, sábado e domingo) há uma nítida diferenciação no comportamento do FP. No gráfico de potência (aparente e reativa), Figura 40, se observa nitidamente o comportamento padrão que há. Tomando o período 28/03 à 01/04, ou 04/04 à 08/04, que também é de segunda à sexta-feira. Ainda, como nestes meses de março e abril, se verificou um longo período de temperaturas elevadas, é sistemático, o comportamento do consumo de energia, tendo, nos dois períodos apresentados, a potência aparente máxima ficando entre 120 e 140kVA.

Figura 41: Fator de potência médio ao longo do dia 26/03/16



Fonte: Próprio autor

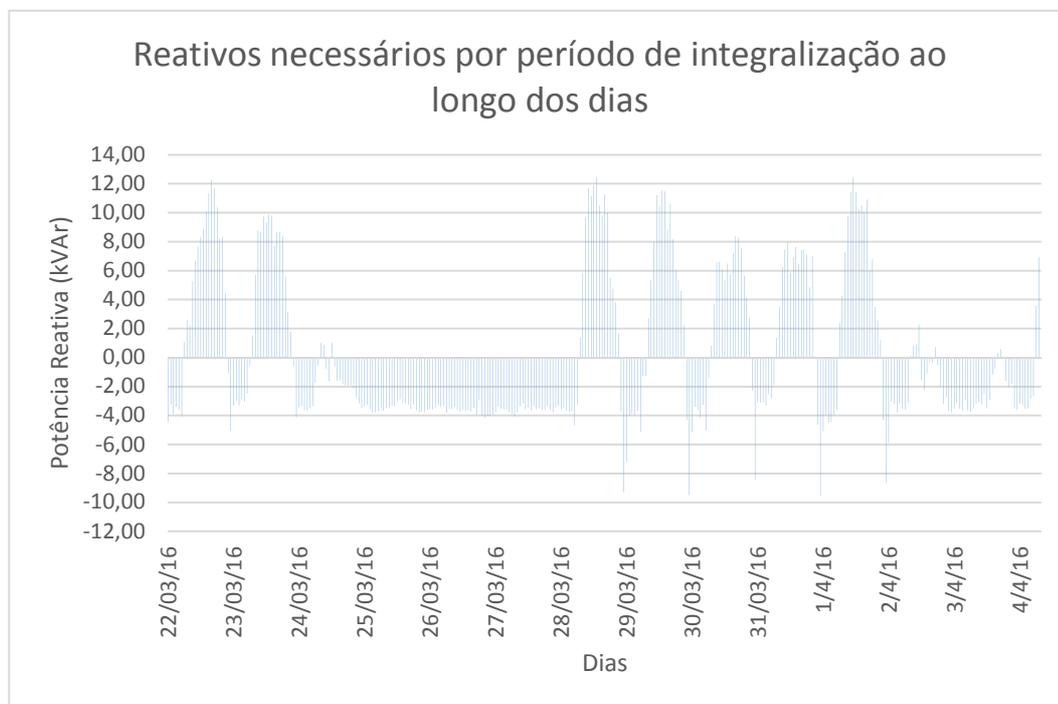
Figura 42: Fator de potência médio ao longo do dia 01/04/16



Fonte: Próprio autor

Em termos de fator de potência se encontra abaixo do valor 0,92 estabelecido pela ANEEL durante todo o final de semana, Figura 41, e mesmo durante a semana, Observando a Figura 40, encontra-se intervalos abaixo de 0,92 e também do FPr estabelecido para o trabalho. Seguindo a mesma metodologia já mostrada para as demais subestações, no gráfico da Figura 43 será mostrado a quantidade de reativo a ser injetado no sistema afim de corrigir o sistema para o FPr, que é 0,95.

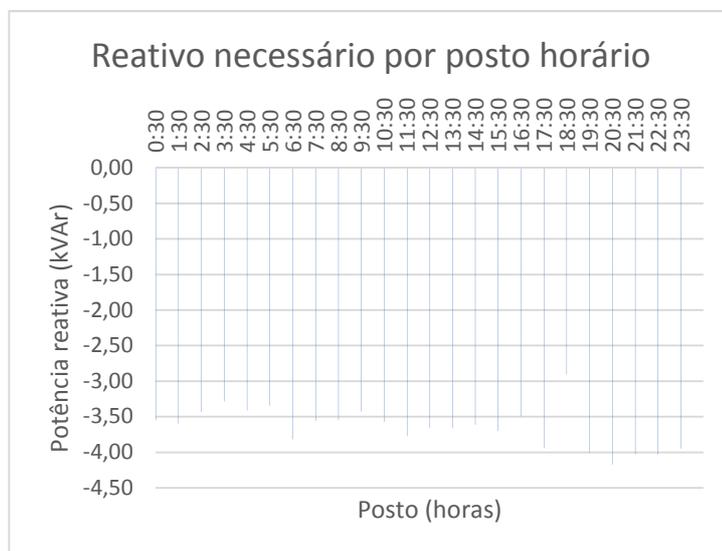
Figura 43: Valor de reativos necessários para correção de FP em cada intervalo de integralização



Fonte: Próprio autor

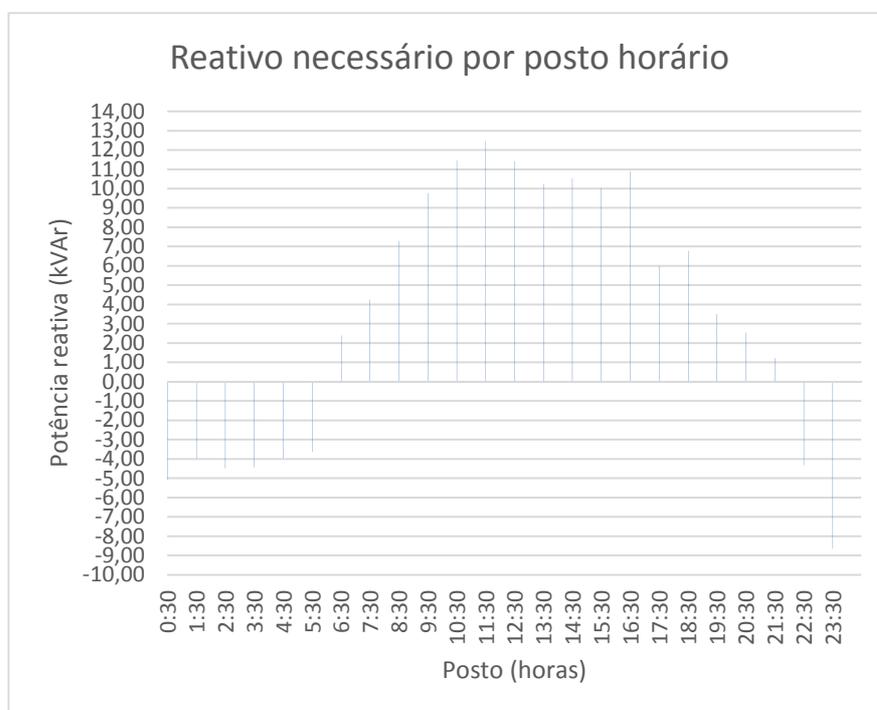
Abaixo do eixo das abcissas observa-se no dia 01/04/16 um pico de reativo capacitivo a ser inserido, com valor próximo a 10kVAr, nota-se que o valor de reativo a ser inserido no final de semana (dia 26/03 e 27/03) tem pouca variação durante o dia. A Figura 44 e Figura 45 mostram o valor de reativo a ser inserido no decorrer do dia 26/03 e 01/04, respectivamente.

Figura 44: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência durante cada intervalo de integralização do dia 26/03/2016



Fonte: Próprio autor

Figura 45: Valor de reativo necessário para correção do fator de potência a cada intervalo de integralização durante o dia 01/04/2016



Fonte: Próprio autor

O interessante de se observar na Figura 44 é que no dia 26/03, um sábado, há quase que uma solicitação constante de correção de FP, na ordem de 3 e 4 kVAr capacitivo. Já para o dia 01/04, Figura 45, se observa a solicitação da correção a noite entre 22:30h e 23:30h. O acionamento do banco de capacitores se dará através de um controlador automático de fator de potência de 6 estágios FPW01.

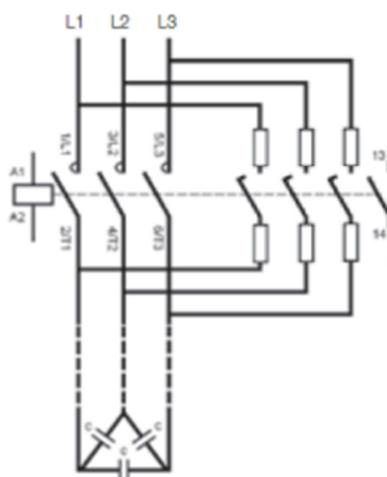
Projeta-se uma unidade capacitiva de 0,5kVAr para o primeiro estágio, uma unidade capacitiva de 1kVAr para o segundo estágio. Uma unidade capacitiva de 1,5kVAr para o terceiro estágio, somando-se os três estágios atende-se a menor demanda da Figura 44. Com mais uma unidade de 0,5kVAr no estágio 4 e uma unidade de 0,75 kVAr, no estágio 5, pode-se atender o pior caso do final de semana (acionando todos os estágios), que é o posto das 20:30h (4,5kVAr).

Durante a semana não se encontrou demandas maiores, a não ser no posto das 23:30h, da Figura 45, onde tem-se um pico de reativo. Este valor se repete em praticamente todos os dias da semana neste mesmo posto horário, porém está fora do posto indutivo estipulado pela CELESC e, portanto, não passível de multa. Assim, não se irá corrigir este valor já que sempre acontece no posto capacitivo.

## 4 DIMENSIONAMENTO DA FIAÇÃO, PROTEÇÃO E ACIONAMENTO

Neste capítulo será dimensionada a fiação que alimenta cada unidade capacitiva trifásica, bem como dimensionamento de fusíveis contadoras e chaves. Na Figura 46 é mostrado como o banco de capacitores é ligado à rede.

Figura 46: Esquema de ligação do banco de capacitores a rede.



Fonte: FERGÜTZ, Correção de FP, 2016.

Quando o controlador (para este trabalho PFW01) detecta que o FP está abaixo da referência, o mesmo irá acionar a saída e, assim, a bobina do contator. O contator então fecha os contatos de força permitindo que os capacitores sejam postos em funcionamento, fornecendo energia reativa para a rede através de L1, L2 e L3.

Para demonstrar como é feito o dimensionamento dos elementos da instalação, escolheu-se uma unidade capacitiva de 2kVAr.

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DA FIAÇÃO

Para o dimensionamento da fiação é preciso levar em consideração três critérios, que são eles: capacidade de corrente, queda de tensão e bitola mínima.

#### 4.1.1 CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE

Para este critério a corrente que o condutor suporta deve ser maior ou igual a 1,5 vezes a corrente que a unidade vai consumir, ainda deve ser levado em consideração o fator de correção de temperatura (FCT), quando a temperatura ambiente é diferente de 30°C e, fator de correção de agrupamento (FCA), quando se tem mais de um condutor passando pelo mesmo eletroduto.

Será considerado para o projeto, FCA com valor unitário, pois não serão agrupados circuitos já que a instalação do banco se dará junto a subestação. A Tabela 2 mostra os valores de correção de temperatura para instalação não subterrânea.

Tabela 2: Fatores de correção de temperatura para ambientes diferentes de 30°C para linhas não subterrâneas.

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Fonte: Adaptado de associação brasileira de normas técnicas, NBR 5410, 2004.

Considerando que em Joinville, onde a instalação é projetada, em dias quentes a temperatura pode chegar a 40°C dentro do quadro da instalação, então, de acordo com a tabela acima, para condutor com isolação em PVC, é utilizado um fator de correção por temperatura de 0,87.

A corrente que cada fase da unidade trifásica consumirá é dada pela equação a seguir:

$$I_{mod} = \frac{Q3\phi}{\sqrt{3} \cdot V_l} \quad (5)$$

Onde,  $Q3\phi$  representa a potência reativa da unidade e,  $V_l$  é a tensão de linha (380V para as instalações do CCT). Para uma unidade capacitiva de 2 kVAr tem-se, então, uma corrente de 3,04A. A Tabela 3 mostra a capacidade de condução de corrente em função de sua seção nominal.

Tabela 3: Capacidade de condução de corrente em amperes para os métodos A1, A2, B1, B2, C e D.

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203

Fonte: Adaptado de associação brasileira de normas técnicas, NBR 5410, 2004.

Os valores mostrados na tabela consideram condutor de cobre sobre temperatura ambiente de 30°C, temperatura no condutor de 70°C e isolamento em PVC. O método de referência é o método C, “cabos unipolares ou cabo multipolar sobre a parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo”. (ABNT, 2004, p. 98).

Verifica-se que, para o método C com três condutores carregados, que o condutor de 0,5mm<sup>2</sup> suporta corrente de até 9A. Aplicando-se o fator de correção

por temperatura FCT tem-se que o cabo pode conduzir 7,83A como mostrado na equação abaixo:

$$I_{cabo} = I.FCT = 9.0,87 = 7,83A \quad (6)$$

Como a corrente que o cabo suporta deve ser 1,5 vezes superior que a corrente do módulo, será verificada agora se a seção estipulada atende a especificação. Tem-se que:

$$1,5.I_{mod} = 1,5.3,04 = 4,56A \quad (7)$$

$$I_{cabo} \geq 1,5.I_{mod} \quad (8)$$

E, portanto, por este método estipula-se um condutor de 0,5mm<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO

De acordo com Fergütz (2016) deve-se considerar para bancos de capacitores queda de tensão  $\Delta v = 1\%$  e, a equação abaixo para cálculo da seção do condutor:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot (\sum_{i=1}^n I_{mod1} \cdot d1)}{Vl \cdot \Delta v} \quad (9)$$

Onde  $I_{mod1}$  representa a corrente do módulo 1,  $d1$  representa o comprimento do condutor,  $Vl$  é a tensão de linha e  $\rho$  é a resistividade do cobre ( $\frac{1}{56}$  para a temperatura de 70°C), será considerado que o condutor possui comprimento de 5m já que os bancos serão posicionados junto a subestação. Com isto é possível calcular a seção do condutor para o banco de 2 kVAR, como segue:

$$S = \sqrt{3} \cdot \frac{3,04.5}{56.380.0,01} = 0,12mm^2 \quad (10)$$

Pela Tabela 3 o menor valor de seção para condutor é 0,5mm<sup>2</sup> então o mesmo será considerado para este critério.

#### 4.1.3 CRITÉRIO DA BITOLA MÍNIMA

Por este critério estipula-se que, para instalações fixas em geral utilizando condutores e cabos isolados nem um circuito de força deve possuir seção do condutor de cobre menor de 2,5mm<sup>2</sup>, como observado da Tabela 3.

Tabela 4: Seção mínima dos condutores

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm <sup>2</sup> - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força <sup>2)</sup>	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu <sup>3)</sup>
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados	Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento	
	Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu <sup>4)</sup>	
	Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu	
<sup>1)</sup> Seções mínimas ditadas por razões mecânicas <sup>2)</sup> Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força. <sup>3)</sup> Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm <sup>2</sup> . <sup>4)</sup> Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm <sup>2</sup> .			

Fonte: Associação brasileira de normas técnicas, NBR 5410, 2004.

Portanto, dentre os três critérios analisados a maior seção exigida é de 2,5mm<sup>2</sup> e, então, para unidades capacitivas de 2 kVAr será utilizado condutores de 2,5mm<sup>2</sup>.

#### 4.2 DIMENSIONAMENTO DOS FUSÍVEIS

Existem dois possíveis tipos de fusíveis a serem utilizados nas instalações, fusíveis tipo NH e fusíveis tipo D, suas características construtivas são diferentes. Os fusíveis tipo NH têm capacidade de atuar com corrente mais elevadas quando comparado com o tipo D, além de sua indexação ao circuito ser mais fácil. Porém comercialmente encontra-se com mais facilidade, para valores pequenos de

corrente, o fusível tipo D, e, portanto, todos os fusíveis para este trabalho serão tipo D. Fergütz (2016) diz que a corrente do fusível é dada pela equação a seguir:

$$I_{fus} = 1,65 \cdot I_{mod} \quad (11)$$

Logo, para a unidade de 2 kVAr tem-se uma corrente para os fusíveis de 5,01A. Verificando a Figura 47 é encontrado o valor de 6A como o primeiro valor superior à corrente estipulada.

Figura 47: Valores de corrente para fusível tipo D

Fusíveis D	
	2
	4
	6
DII	10
	16
	20
	25
	35
DIII	50
	63

Fonte: FERGÜTZ, Correção de FP, 2016.

Determina-se então que a unidade de 2 kVAr deve ser protegida por fusível tipo D de corrente nominal 6A.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DAS CONTADORAS

Fergütz (2016) mostra que as contadoras devem possuir corrente de disparo com valor 50% acima da corrente do módulo, ou seja:

$$I_{disp} \geq 1,5 \cdot I_{mod} \quad (12)$$

logo:

$$I_{disp} \geq 1,5 \cdot 3,04 = 4,56A \quad (13)$$

Observando a

Tabela 5 observa-se que não se tem, comercialmente, disponível contadores para manobra de capacitores com valor de corrente de disparo menor de 10A, portanto para unidade capacitiva de 2kVAR projeta-se a contadora CWMC9-10-30.

Tabela 5: Contadoras tripolares para manobra de capacitores a temperatura ambiente de 70°C

$I_n$ AC-6b ( $T_{amb.} = 70^\circ\text{C}$ )	Potência reativa para bancos de capacitores AC-6b ( $T_{amb.} = 70^\circ\text{C}$ )					Contatos auxiliares por contator		Bloco de contato auxiliar fornecido separadamente		Referência para completar com a tensão de comando	Peso <sup>9</sup> kg
	220 V 230 V	380 V 415 V	440 V	480 V	660 V 690 V	$\begin{array}{c} \text{---} \\   \\ \text{---} \\ \text{NA} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---} \\   \\ \text{---} \\ \text{NF} \end{array}$	BCXMF10	BCXMF01		
A	kvar	kvar	kvar	kvar	kvar						
10	3	5,5	6,5	7,5	10	1	-	-	-	CWMC9-10-30♦	0,395
						-	1	-	-	CWMC9-01-30♦	
16	4,5	7,5	9,5	10	13	1	-	-	-	CWMC18-10-30♦	0,395
						-	1	-	-	CWMC18-01-30♦	
22	5	10	10	12	16	1	-	1	-	CWMC25-10-30♦	0,440
						-	1	-	1	CWMC25-01-30♦	
34	10	17	21	23	30	1	-	1	-	CWMC32-10-30♦	0,670
						-	1	-	1	CWMC32-01-30♦	
50	17	30	35	38	50	1	-	1	-	CWMC50-10-30♦	1,370
						-	1	-	1	CWMC50-01-30♦	
62	20	36	42	45	62	1	-	1	-	CWMC65-10-30♦	1,370
						-	1	-	1	CWMC65-01-30♦	
67	22	40	56	49	68	1	-	1	-	CWMC80-10-30♦	1,595
						-	1	-	1	CWMC80-01-30♦	

Fonte: WEG, automação, 2016.

#### 4.4 RESUMO PARA TODAS AS SUBESTAÇÕES

A metodologia de cálculo se repete para todas as unidades capacitivas, por isso será apresentado na

Tabela 6 um quadro resumo para cada unidade capacitiva.

Tabela 6: Resumo da fiação e proteção das unidades capacitivas

Subestação	Estágio	Potência (kVAR)	Condutor (mm <sup>2</sup> )	Fusível	Contadora
1	1º	1	2.5	4A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	2º	2	2.5	6A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	3º	0.5	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	4º	0.5	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	5º	0.75	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	6º	Reserva	--	--	--
2	1º	1	2.5	4A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	2º	Reserva	--	--	--
	3º	Reserva	--	--	--

Tabela 7 - continuação

Subestação	Estágio	Potência (kVAr)	Condutor (mm <sup>2</sup> )	Fusível	Contatora
2	4º	Reserva	--	--	--
	5º	Reserva	--	--	--
	6º	Reserva	--	--	--
3	1º	0.75	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	2º	1.5	2.5	4A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	3º	2.5	2.5	10A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	4º	Reserva	--	--	--
	5º	Reserva	--	--	--
	6º	Reserva	--	--	--
4	1º	0.75	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	2º	0.75	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	3º	Reserva	--	--	--
	4º	Reserva	--	--	--
	5º	Reserva	--	--	--
	6º	Reserva	--	--	--
5	1º	0.5	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	2º	1	2.5	4A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	3º	1.5	2.5	4A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	4º	0.5	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	5º	0.75	2.5	2A - Tipo D	CWMC9-10-30 (10A)
	6º	Reserva	--	--	--

Fonte: Próprio autor

Nota-se que todas as unidades terão condutores com 2,5mm<sup>2</sup>, isto por que as unidades são de baixa potência exigindo pouca corrente e assim o critério da bitola mínima acaba determinando a seção do condutor. Pelo mesmo motivo todas as contadoras serão iguais, não se tem disponível no mercado contadoras com menor valor para este tipo de aplicação.

Na Tabela 8, é mostrado o custo, em reais, de cada unidade capacitiva especificada para as subestações, bem como o valor do controlador de FP.

Tabela 8: Custo por unidade capacitiva e controlador

Unidade (kVAr)	Custo da unidade + fiação + Proteção	Custo do controlador
0.5	103.05	1347.95
0.75	108.58	
1	109.45	
1.5	112.3	
2	113.9	
2.5	130.5	

Fonte: Próprio autor

O valor de cada unidade inclui o valor do capacitor fiação e proteção. Se projetou um controlador para cada subestação, para o projeto utilizou-se controlador WEG por serem de qualidade e indicados pelas casas de revenda do ramo, porém o mesmo tem custo superior em relação aos demais controladores disponíveis no mercado, podendo-se reduzir consideravelmente o custo final caso seja estipulado controladores mais baratos, o custo para correção em cada subestação é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Custo para cada subestação

Subestação	Custo (reais)
1	1885.98
2	1478.45
3	1699.33
4	1565.11
5	1884.38
<b>TOTAL</b>	<b>8513.25</b>

Fonte: Próprio autor

É de suma importância fazer medições de energia nos quadros intermediários, existentes entre as subestações e as cargas finais, afim de

identificar possíveis fontes de baixo fator de potência, assim pode-se corrigir localmente o FP e, talvez, com uma análise criteriosa, dispensar o uso do controlador de fator de potência para algumas subestações, já que este é o componente projetado que acumula maior valor de compra.

Levando em consideração os valores apresentados na Tabela 9, e um valor médio de R\$ 450,00, quatrocentos e cinquenta reais, pagos mensalmente pela intuição de ensino, por faturamento de excedente reativo (mostrado nos anexos), é calculado, então, um tempo de retorno do investimento de 19 meses.

Salienta-se que nos cálculos não foi levado em consideração custo de mão de obra para instalação, uma vez que, a mesma pode ser feita com iniciativa interna da universidade como, por exemplo, através de um projeto de ensino.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou todo o procedimento para projeto de correção de fator de potência para cada uma das subestações atualmente ativas dentro do campus da UDESC em Joinville. Pelos estudos apresentados para o presente trabalho de conclusão de curso, todas as subestações necessitam a inserção de reativos capacitivos a fim de manter o FP acima da referência estipulado em 0,95 indutivo.

Resumidamente, projetou-se para todas as subestações, o controlador de fator de potência FPW01 com seis estágios de saída, sendo que as unidades capacitivas a serem inseridas foram projetadas para atuar na frequência da rede (60Hz).

Acredita-se ter mapeado as piores situações de FP presentes no sistema elétrico do CCT, pois, nos dias analisados ocorreu intenso calor, forçando diversas situações de curva de carga. Porém, ressalta-se que para maior certeza do perfil comportamental do consumo/FP necessita-se de períodos de medição mais estendidos, o que não foi possível devido o tempo não ter contribuído nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2015, onde o mesmo apresentou-se chuvoso e com temperaturas amenas para o período do ano. Outro fator que contribuiu para o curto período analisado foi que, o graduando esteve limitado a apenas dois analisadores de energia, sendo que, com mais três analisadores seria possível medir todas as subestações ao mesmo tempo, permitindo analisa-las durante o mês de fevereiro, março e abril.

A Subestação 5, em virtude dos agravantes da construção do novo prédio do CCT (bloco I), suporta temporariamente uma carga adicional do centro de convivências, mas, mesmo assim, se fez o estudo da subestação tendo em vista que, a carga adicional estimada por medições de corrente, representa em torno de 15% do total. Porém deve ser feito o estudo da Subestação do centro de convivências quando a mesma for ativada (o que, de acordo com a administração, deve ocorrer no mês de julho de 2016), bem como o reestudo da Subestação 5.

Por fim, considera-se o a metodologia adotada para o trabalho extremamente valida e eficaz, porém o trabalho é limitado em pelo curto período de

tempo em que se analisou cada subestação e, portanto, sugere-se novas medições para garantia de projeto a fim de implantar o sistema no centro.

## 5.1 CONTRIBUIÇÕES

Analisando o que foi desenvolvido, o presente trabalho gerou as seguintes contribuições:

- Estudo do fator de potência e levantamento dos principais problemas de cada subestação do CCT;
- Proposta de correção de fator de potência, visando evitar penalizações por excedente reativo, impostas pela legislação vigente;
- Projeto das unidades capacitivas instaladas em cada estágio do controlador de fator de potência, bem como, dimensionamento dos componentes da instalação tais como fiação, proteção e acionamento.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Dos estudos feitos, para o presente trabalho de conclusão de curso, no Centro de Ciências Tecnológicas, sugerem-se para trabalhos futuros as seguintes considerações:

- Investigar a influência de harmônicos nas instalações de cada Subestação e, caso necessite, projetar a correção baseado na taxa de distorção harmônica (TDH);
- Realizar estudos nos quadros existentes ao longo das instalações elétricas de cada bloco, buscando identificar desequilíbrio entre fases e possíveis casos de correção de fator de potência local, ou seja, junto a cargas específicas;
- Realizar estudos de eficiência energética, buscando identificar cargas com fator de potência baixo, a fim de analisar a possibilidade de substituição da mesma;
- Investigar qual/quais cargas estão sendo acionadas periodicamente no posto das 23:30h na Subestação 5, e propor uma solução a fim de, melhorar a eficiência das mesmas, já que o fator de potência se encontra abaixo do limite imposto pela ANEEL.

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétrica de baixa tensão, Rio de Janeiro, RJ, 2004. 209 p.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica. Brasília, DF, 2015. 75 p.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº569**. Brasília, DF, 2013.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15. Ed. Rio de Janeiro. LTC, 2015.

CORPORATION, FLUKE. Analisadores de Qualidade de Potência e Energia Trifásicos. São Paulo, 2012. 180 p.

DA SILVA, Davi, Leite. Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. **Controle do fator de potência no secundário de um transformador trifásico**. Ouro Preto, 2009. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2009/Davi%20Leite%20da%20Silva.pdf>>. Acesso em: 23 Abr. 2016.

FERGÜTZ, Marcos. **Correção do FP**. 2016. 30p. Notas de aula.

MAMEDE, Filho, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

NISKIER, Julio; MACINTAYRE, Joseph, Archibald. **Instalações elétricas**. 5 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2008.

SPOMBERG, Kotarba, Thiago. Projeto de diplomação. **Conversos cc/cc aplicado à correção de fator de potência**, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24317/000736437.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 Abr. 2016.

VICENTE, De Oliveira, Reginaldo. **Gerenciamento de Energia**, Goiânia, GO, 2012. Disponível em: <<http://www.creadigital.com.br/portal?txt=357731313231>>. Acesso em: 09 Mai. 2016.

WEG. **Manual para correção do fator de potência**. Jaraguá do Sul: WEG, 2009. 40 p. Disponível em: <[www.weg.net](http://www.weg.net)>. Acesso em: 14 Nov. 2015.

WEG. **Controlador automático de fator de potência**: manual de instalação, operação e manutenção-PFW01. Jaraguá do Sul: WEG, 2016. 40p. Disponível em: <[www.weg.net](http://www.weg.net)>. Acesso em 01 Jun. 2016>

WEG. **Automação**: Contatores para manobra de capacitores linha CWMC. WEG, 2016. 12p. Disponível em: <[www.weg.net](http://www.weg.net)>. Acesso em 06 junh. 2016.

## APÊNDICE A - ANALISADORES DE ENERGIA

A monitoração da qualidade de energia é realizada durante um período longo de observação. Para tal, se faz necessário o uso de aparelhos capazes de monitorar e gravar os dados em memória para posterior análise. A seguir, será apresentado o FLUKE 435 Series II, um dos aparelhos utilizados nas leituras feitas para o presente trabalho. Como o segundo aparelho utilizado (EMBRASUL RE6000) possui características semelhantes, o mesmo não será descrito.

### CONEXÕES DE ENTRADA

O equipamento possui 4 entradas tipo BNC para conexão das sondas de corrente e, cinco entradas tipo banana para tensão, como mostrado na Figura 48.

Figura 48: Conectores de entrada de tensão e corrente

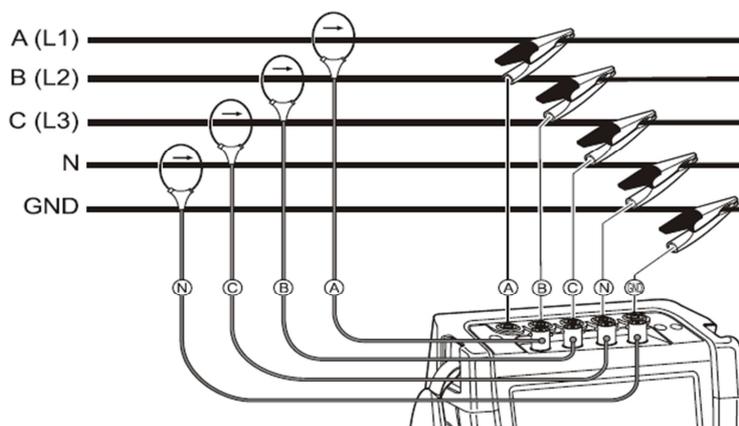


Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

O manual FLUKE (2012), afirma que primeiramente deve-se conectar as sondas de corrente ao redor dos condutores A(L1), B(L2), C(L3) e N(neutro) obedecendo o sentido de polaridade indicado por uma seta na própria sonda. Em

seguida deve-se conectar as ponteiras de tensão iniciando com a de aterramento, neutro, e por fim as de cada fase, a Figura 49 apresenta o esquemático de ligação.

Figura 49: Esquemático de ligação



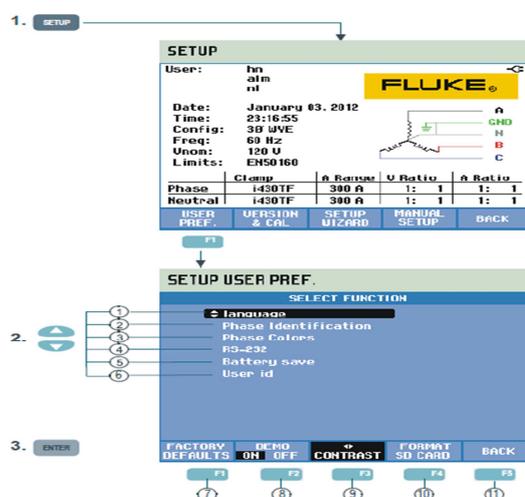
Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

### Configuração do analisador

Quando o analisador for ligado, a tela mostrada na

Figura 50 será exibida. Esta tela apresenta uma visão geral das informações mais importantes, como: data, hora, configuração da fiação, frequência nominal, tensão nominal, dentre outros.

Figura 50: Tela de inicialização do *Analyzer*



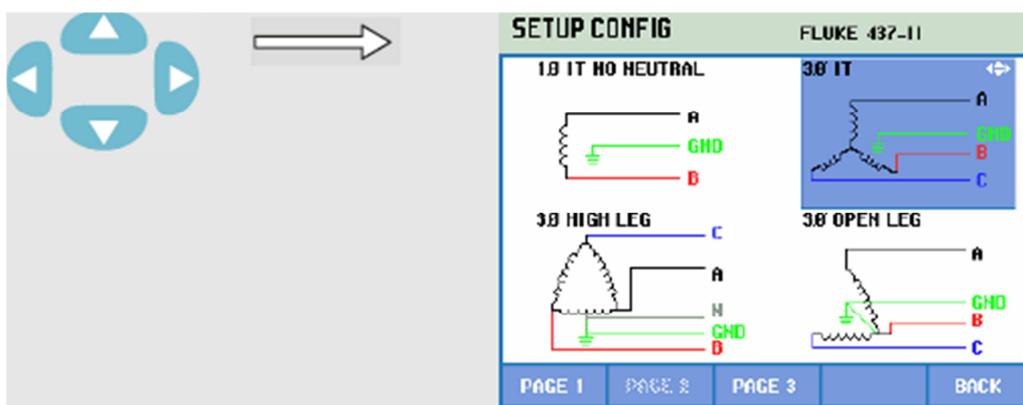
Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Pressionando F1 tem-se acesso a uma tela com a informação de como conectar as sondas de tensão e corrente ao aparelho e à rede.

A tecla SETUP dá acesso a quatro seções de configurações, dentre elas a seção F1-USER PREF que permite ajustar parâmetros importantes como idioma, identificação de fases, definição de nome de usuário, redefinir configurações de fábrica, contraste de tela e formatação do cartão de memória SD. E a seção F4-MANUAL SETUP, que permite ajustar data, hora, frequência nominal, tensão nominal, alteração da fiação, dentre outros.

Dentro da MANUAL SETUP, selecionando “*config.*” através das teclas PARA CIMA/BAIXO, pode-se escolher um dentre os quatro esquemas de ligação que o aparelho permite. Os esquemas são ilustrados na Figura 51.

Figura 51: Esquemas de ligação permitidos pelo aparelho



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

### Medições gerais

O analisador oferece um conjunto abrangente de medições para verificar os sistemas de distribuição e de força. De acordo com FLUKE (2012), quando uma medição qualquer for ativada, um tempo de ajuste de cerca de 10 segundos ocorrerá antes do início da medição. Durante este tempo o símbolo U (*Unstable – instável*) aparecerá no canto superior da tela. Caso o *timer* iniciar contagem regressiva de 10 segundos isto implicará que a mesma não terá período instável.

Para os dados numéricos serem mostrados em Volts/Ampére/Hertz, é necessário pressionar a tecla MENU, marcar as unidades de medida e, em

seguida, pressionar F5-OK. Para os valores tensão (RMS e pico), corrente (RMS e pico), frequência e fatores de pico por fase, é necessário pressionar F5-TREND (tendências) para exibir o cursor destes valores com o tempo.

Modo de exibição para investigar detalhes

Aqui serão listados os diversos modos de exibição, juntamente com uma breve descrição de cada função.

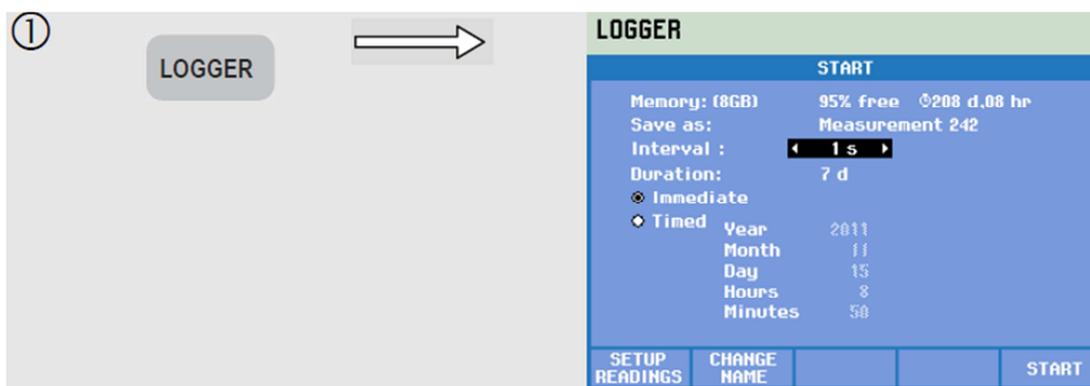
Logger

Em termos de armazenamento de cargas, FLUKE (2012, p.3) diz que,

A função LOGGER permite o armazenamento de várias leituras com alta resolução em uma memória de longa duração, é possível selecionar um máximo de 150 grandezas de leitura. O *Analyzer* possui um conjunto pré-definido de leituras usado para registro, mas que pode ser personalizado de acordo com o conjunto de leituras desejado.

Para acessar a função basta pressionar o MENU LOGGER e uma tela semelhante à da Figura 52 será aberta.

Figura 52: Acesso à função logger



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Nesta tela será permitido a escolha do intervalo de medição, sendo possíveis valores entre 0,25s e 2h. Quanto menor o intervalo, menor será o tempo de armazenamento, pois, com mais dados para serem registrados mais rápido será preenchida a memória disponível para armazenamento. Utilizando a função F1 –

SETUP READINGS, juntamente com as teclas PARA CIMA/BAIXO e F3-ADD, é possível selecionar as grandezas de leitura a serem registradas. Também há a opção de remover uma grandeza utilizando a tecla F4-REMOVE. A tecla F5 abrirá a tela do medidor exibindo todas as leituras selecionadas na função.

#### Força e energia

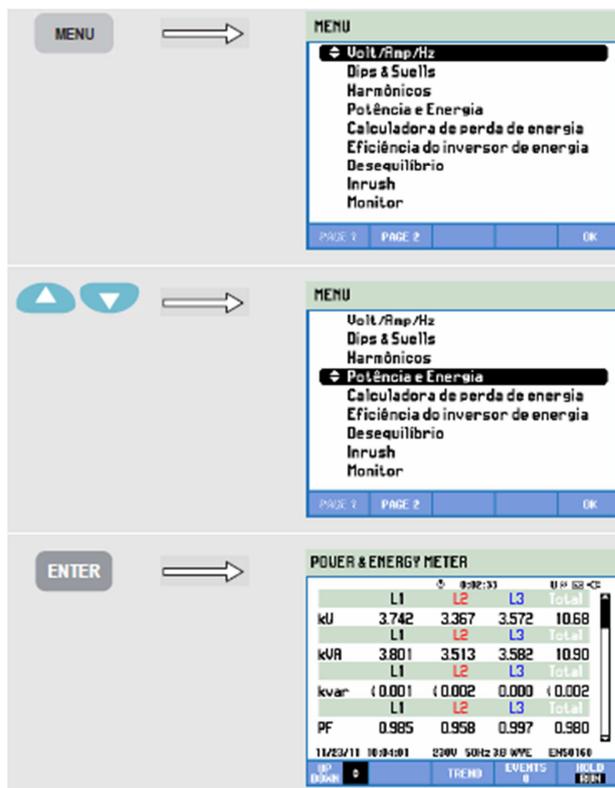
A opção força e energia exibe uma tela do medidor mostrando todos os parâmetros de potência importantes. O *Analyzer* também exibe o uso de energia, os cálculos de potência são feitos para a fundamental e também total.

No presente trabalho de conclusão de curso, foi utilizado o método de medição unificado. Este método utiliza algoritmos em conformidade com a IEEE 1149, o qual permite medir a potência real em kW, a aparente em kVA, a reativa em kVAr.

Para seleção do método unificado deve-se pressionar a sequência de teclas: SETUP, F4-MANUAL SETUP, F3-FUNCION PEF, e as teclas PARA CIMA/BAIXO para selecionar os parâmetros de medição de potência e métodos de tela.

Para visualizar a medição basta visualizar a tela de medidor de força e energia, conforme a sequência mostrada na Figura 53.

Figura 53: Tela medidor de força e energia



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Nesta tela, ainda, são exibidas as informações de energia ativa em kWh, energia aparente kVAh, e energia reativa kVAh.

#### Registro de valores nas telas do medidor

O analisador utiliza cinco tipos de telas diferentes para apresentar os resultados da medição. Os resultados das medições são apresentados em cores diferentes para cada fase, no caso em que na tela é apresentada tensão e corrente, simultaneamente. O sinal de tensão é mostrado em tom mais escuro que o de corrente, da fase medida. O conjunto de cores por fase pode ser escolhido via SETUP, F1-USER PEF, *Phase colors*, ENTER.

Todos os valores em uma tela “medição” são registrados, com registros feitos em tempo médio ajustável, através da opção CONFIGURAÇÃO, F4-CONFIGURAÇÃO MANUAL, F3-PREFERÊNCIA DE FUNÇÃO e selecionar o tempo médio desejado (valor padrão 1s).

O manual FLUKE (2012) mostra que quando a medição é interrompida pela opção F5- ESPERA, os dados registrados são salvos no cartão SD como XX. Os dados podem ser acessados via tecla MEMÓRIA, F1-RECALL DELETE, F5 RECALL. As grandezas registradas podem ser visualizadas via tecla F3-TREND, o “cursor” e o “zoom” podem ser utilizados para ampliar os detalhes do sinal.

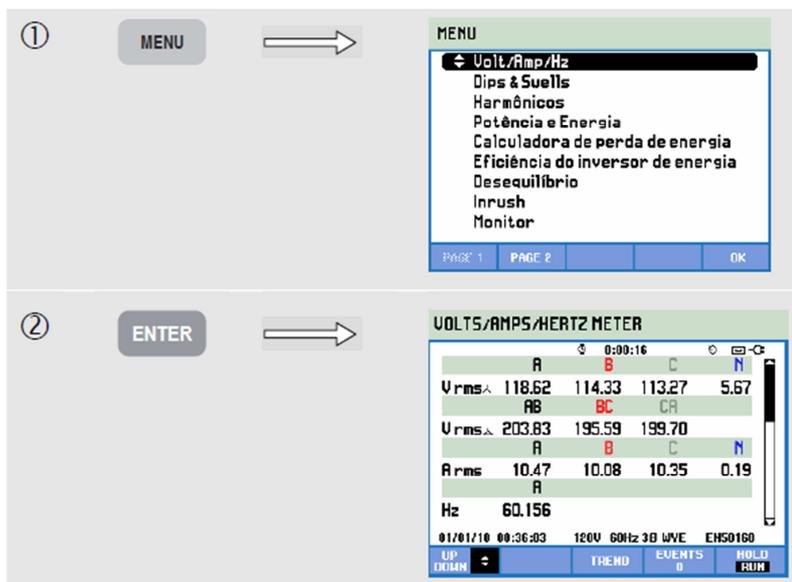
## TIPOS DE TELAS

Aqui será descrito os diversos tipos de telas que o analisador possui, bem como para que servem. Para as diversas telas que o equipamento disponibiliza tem-se a opção “cursor”. O cursor é uma linha que pode ser posicionada em um ponto de uma forma de onda, tendência ou gráfico de barras, sendo os valores medidos, neste ponto, exibidos no cabeçalho da tela.

A opção “cursor” é ativado via tecla F2, o mesmo pode deslocar-se pela tela através das teclas de seta DIREITA/ESQUERDA/PARA CIMA/PARA BAIXO. Caso a opção não esteja disponível é necessário colocar o Analyzer em modo de espera (HOLD). É válido lembrar que enquanto o equipamento estiver no modo espera as leituras não serão gravadas na memória, no lugar dos valores serão registrados os símbolos “xx”.

Tela de “medidor”: Apresenta visão geral e instantânea das tensões e correntes de todas as fases, além de frequência e valores de pico, como mostrado na Figura 54. Todos os valores são registrados e armazenados na memória, desde que a medição esteja ativa.

Figura 54: Tela medidor

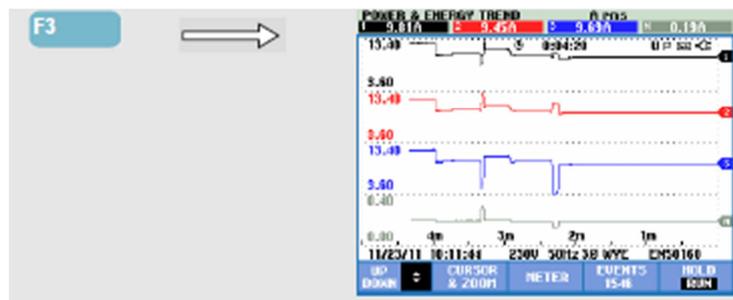


Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

A tecla F5 alterna entre os modos HOLD (em espera) e RUN (execução) de atualização de tela. Ao alternar de HOLD para RUN ativa-se uma função para selecionar o horário de início imediato, que permite o usuário definir o início e a duração do período.

Tela de “tendência”: No manual FLUKE (2012) é endicado que esta tela apresenta o curso dos valores de medição ao longo do tempo. Esta tela é utilizada em situações onde deseja-se saber o momento em que ocorreram valores de pico relevantes. A opção é acessada pressionando a tecla F3 de dentro de alguma opção como, por exemplo, “força e energia” ou “desequilíbrio”. A Figura 55 mostra a tela de tendência.

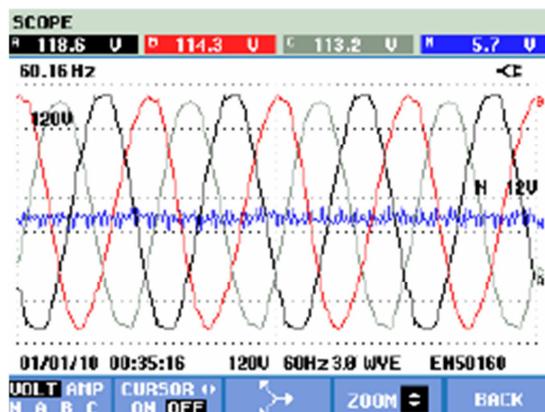
Figura 55: Tela de tendência



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Tela de “forma de onda de perfil”: A Figura 56 é um exemplo desta tela, que mostra as formas de onda de tensão e corrente com uma taxa de atualização rápida, semelhante as exibidas em um osciloscópio. O cabeçalho da tela mostra os valores eficazes. O canal “A” (L1) é o canal de referência e quatro ciclos completos são exibidos.

Figura 56: Tela forma de onda de perfil



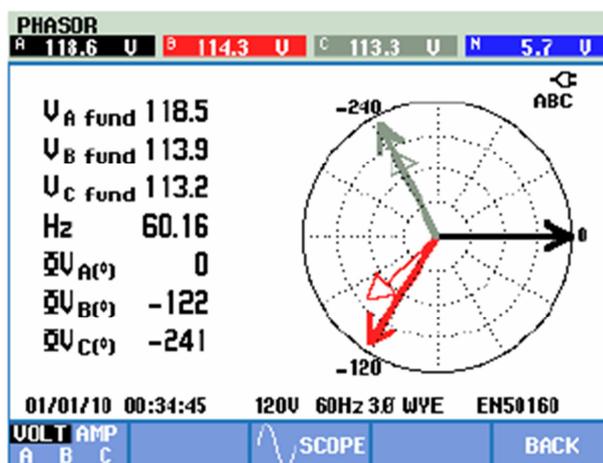
Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Tela “fasor de desequilíbrio”: “Mostra a relação, entre tensão e corrente, da fase, em um diagrama vetorial dividido em seções de  $30^\circ$ , o vetor do canal de referência L1 aponta para a direção horizontal positiva” (FLUKE, 2012, p.14).

Esta tela é indicada para verificação da correta instalação das sondas de tensão e corrente. No diagrama vetorial, as tensões de fase e as correntes devem aparecer em sequência no sentido horário, conforme mostrado na Figura 57. Em

um sistema trifásico equilibrado as tensões são defasadas em  $120^\circ$ , assim como as correntes.

Figura 57: Tela perfil/fasor

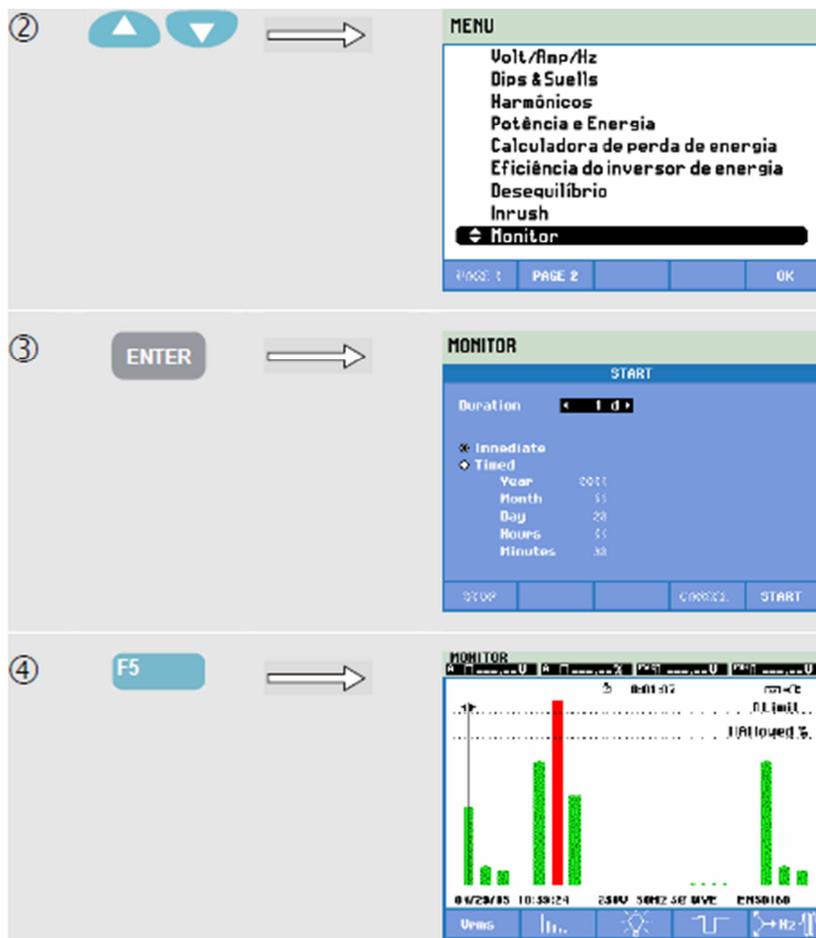


Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Para acessar a tela deve-se seguir a sequência de teclas: MENU, teclas de navegação PARA CIMA/BAIXO, até selecionar “desequilíbrio”, ENTER.

Tela gráfico de barras: segundo FLUKE (2012) esta tela é usada para harmônicas e monitoração de qualidade de potência e, mostra se os parâmetros de qualidade de potência atendem aos requisitos. Os parâmetros incluem tensão rms, harmônicas, oscilações, alterações rápidas de tensão, desequilíbrio, frequência, dentre outros. A tela pode ser acessada conforme Figura 58, pressionando F5 de dentro da função “monitor” ou da função “harmônicos”. Porém, na função harmônicos serão exibidas apenas as informações de taxa de distorção harmônica (THD).

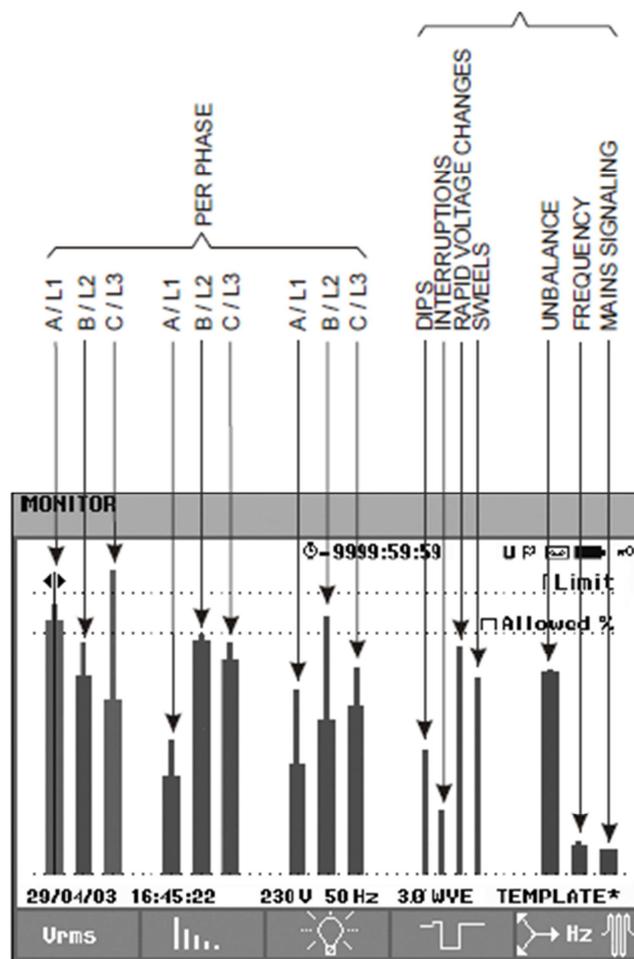
Figura 58: Acesso à função monitor



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

O monitor é iniciado pressionando MENU e, em seguida, a função “monitor” para selecionar o início imediato ou temporizado da medição. A Figura 59 mostra a tela do gráfico de barras e suas propriedades.

Figura 59: Tela gráfico de barras

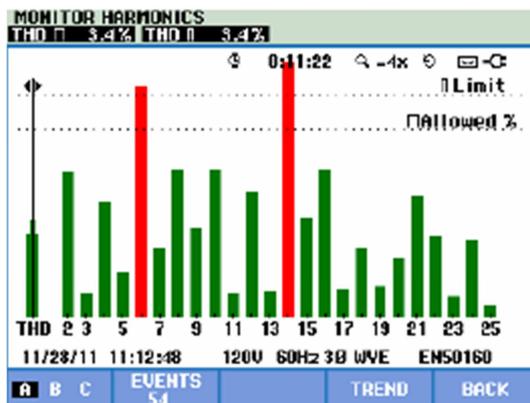


Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

De acordo com o manual do usuário FLUKE (2012), o comprimento de uma barra será aumentado sempre que o parâmetro relacionado estiver mais distante de seu valor nominal, sendo que os valores padrões podem ser pré-definidos. Utilizando as teclas de seta ESQUERDA/DIREITA pode-se posicionar o cursor sobre uma determinada barra. Os dados de medição pertencentes à mesma serão exibidos no cabeçalho da tela.

Pressionando a tecla de função F2 de dentro da função “monitor”, será exibida uma tela com gráfico de barras mostrando o percentual de tempo que cada fase permaneceu nos limites para 25 harmônicas e THD. A barra passa de verde para vermelho quando os limites para esta harmônica forem violados, como mostrado na Figura 60.

Figura 60: Gráfico de barras para as 25 primeiras harmônicas



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Tela “lista de eventos”: Lista de eventos que ocorrem durante toda a medição com dados como data/hora de início, fase e duração. A tabela de eventos, Figura 61, lista todos os cruzamentos de limiar de tensão de fase. Os valores limiares podem ser ajustados através da tecla SETUP, “limites”.

Figura 61: Tabela de eventos

VOLTS/AMPS/HERTZ EVENTS				
START 01/01/10 01:22:44				
EVENT 6 / 6				
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
01/01/10	01:22:46:858	B DIP	32.5 U	0:00:02:377
01/01/10	01:22:46:882	B SWL	138.1 U	0:00:00:076
01/01/10	01:22:47:373	B SWL	186.0 U	0:00:01:062
01/01/10	01:22:49:375	B DIP	5.1 U	0:00:02:343
01/01/10	01:22:49:525	C SWL	132.5 U	0:00:00:066
01/01/10	01:22:49:641	C SWL	154.9 U	0:00:02:077

01/01/10 01:24:43 120V 60Hz 3Ø WVE ENS0160

EVENT NORMAL BACK

Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

### Bateria

O medidor tem uma bateria interna de lítio-íon, recarregável que, pode alimentá-lo por sete horas quando totalmente carregada, sendo que quando descarregado leva cerca de 4 horas, com o equipamento desligado, para carregar por completo. Como se faz necessário medidas por períodos mais longos, será

utilizado uma fonte externa para alimentar o aparelho durante as leituras no campus.

A tela do Analyzer apresenta um indicador de bateria, semelhante o símbolo da Figura 62, que vai de totalmente carregado à vazio.

Figura 62 Indicador de bateria



Fonte: FLUKE, analisador de qualidade de potência e energia, 2012.

Fluke (2012) afirma que não ocorrerão danos se o carregador ficar conectado ao aparelho por longos períodos, por isso, sempre que possível é interessante manter o aparelho conectado à rede CA, 220V, durante regime de medição, a fim de não interromper a leitura para recarga da bateria.

#### Comunicação com o pc

O analisador tem um cartão de memória SD para armazenamento de dados de medição. Estes dados são mantidos mesmo quando o Analyzer está desconectado de suas fontes de alimentação.

Em FLUKE (2012), tem-se a informação de que é possível salvar quatro tipos de dados na memória SD, limite, tarefa, tela (armazenada durante a operação através da tecla SAVE SCREEN) e medições. As medições são salvas automaticamente.

O Analyzer possui uma interface USB isolada para estabelecer um link comunicação com o PC, através de um cabo USB-A para mini-USB. Com o software Power Log, é possível carregar dados de tendência, formas de onda e capturas de tela no formato bitmap.

Mas, para que o PC entenda o aparelho FLUKE 435 series II, se faz necessário a instalação de drivers, o que são encontrados no CD-ROM do manual do usuário. Os drivers devem ser instalados com o equipamento conectado ao computador, sendo que não é necessário desligar o instrumento para a instalação.

Outra maneira de fazer o download dos dados para o PC é retirar o cartão de memória do aparelho, abrindo a tampa traseira do mesmo, conectar o cartão ao computador, e copiar a pasta “FLUKE” para o computador.

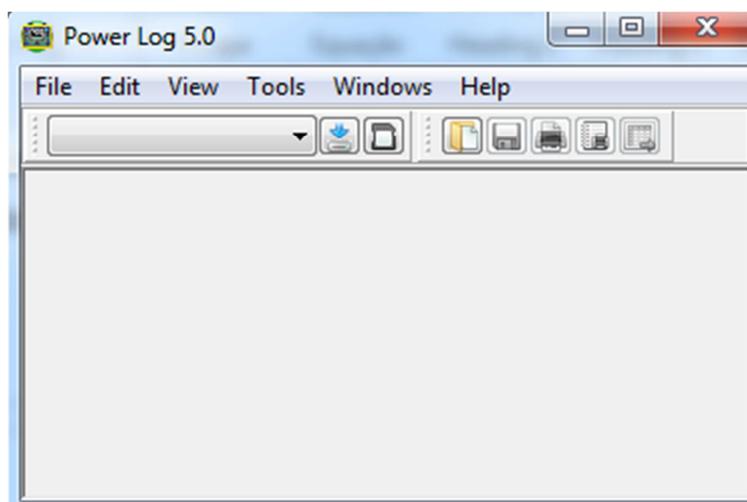
### Power log

Power Log é um software de PC desenvolvido para comunicar-se com uma série de instrumentos FLUKE, inclusive com o 435 series II, utilizado no presente TCC. O programa pode ser baixado diretamente do site da FLUKE ou instalado a partir do CD-ROM do manual do usuário. Com este software é possível, gerar tabelas e dados, executar estudos de harmônicos, exportar diagramas temporais de todos os canais, imprimir tabelas, gráficos e relatórios completos e formatados, além de permitir exportar dados para manipulação em outro programa como, por exemplo, planilha eletrônica.

### Utilizando o Power Log

O Power Log pode ser aberto dando um duplo clique sobre o ícone do programa. Durante a instalação pode-se marcar a alternativa para criar atalho do ícone na área de trabalho. A tela de boas-vindas será exibida e logo será substituída pela tela principal que contém a barra de menus, semelhante ao da Figura 63

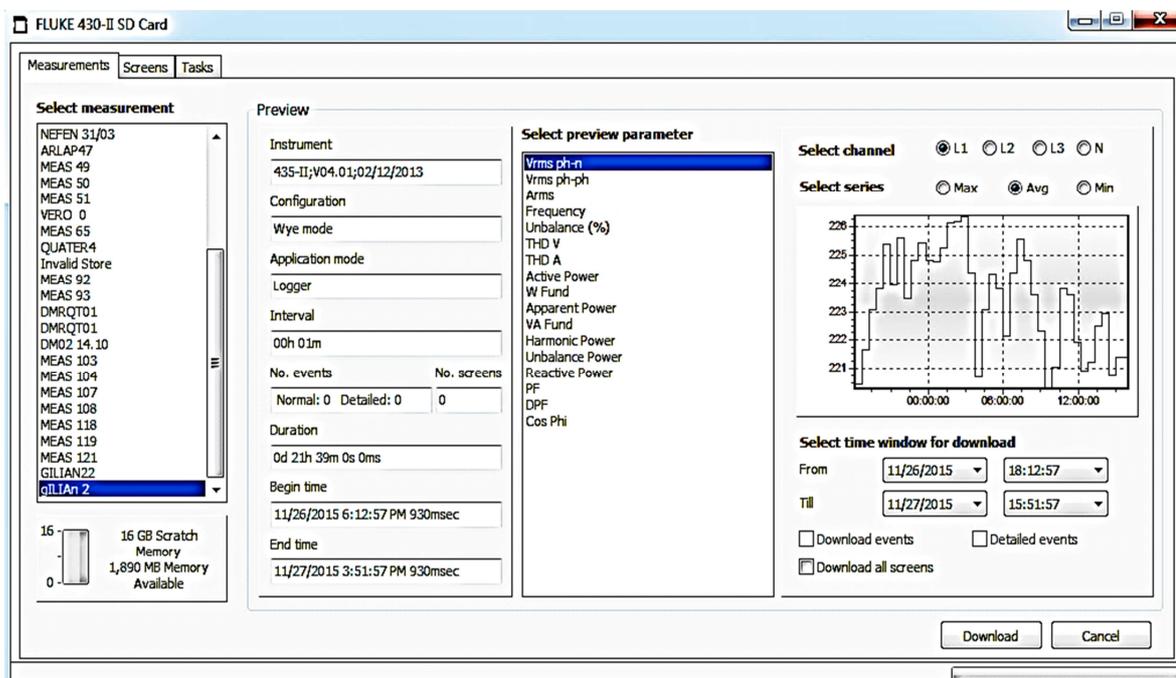
Figura 63: Tela de principal



Fonte: Próprio autor

Pressionando os comandos Ctrl+F no teclado do PC, abrirá uma janela de busca, na qual pode-se selecionar a pasta “FLUKE”, onde foram salvos os dados, e pressionar OK. A janela mostrada na Figura 64 irá abrir, na janela “select measurement” é possível selecionar uma dentre as medições disponíveis. Clicando sobre a medição desejada, na janela “select preview parameter” é mostrado um breve resumo da medição, contendo as grandezas de medida da mesma. Em “preview” pode-se determinar um intervalo de interesse para análise. Por fim, deve-se pressionar download para carregar as guias de análise.

Figura 64: Janela de POP-UP



Fonte: Próprio autor

## Guias de análise

A guia “Spreadsheet”, vista na Figura 65 permite visualizar datas e horas gravadas e, também, filtrar dados desmarcando as caixas de seleção na linha superior. Nesta planilha aparecem apenas as grandezas selecionadas na aquisição dos dados.

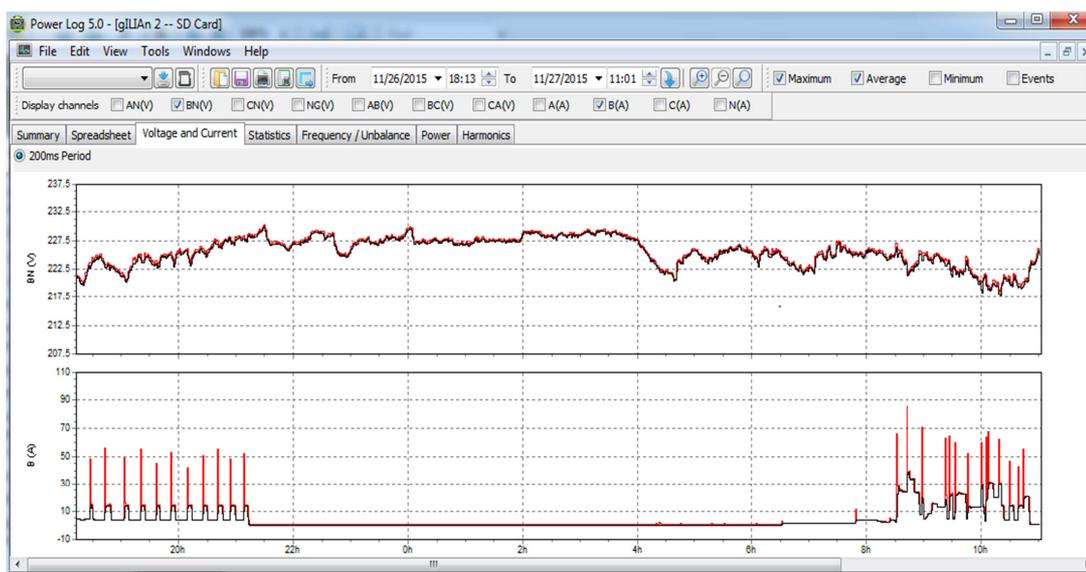
Figura 65: Guia Planilha

Date	Function	AN(V) / A(A) Min	AN(V) / A(A) Avg	AN(V) / A(A) Max
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Vrms ph-n	218.91 V	219.36 V	219.61 V
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Vrms ph-ph	382.06 V	382.57 V	382.94 V
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Arms	1.2 A	1.2 A	1.6 A
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Frequency	59.988 Hz	60.003 Hz	60.02 Hz
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Unbalance Vn			
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Unbalance Vz			
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Unbalance An			
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Unbalance Az			
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	THD V	1.91 %	1.94 %	1.96 %
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	THD A	100.14 %	105.03 %	108.68 %
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Active Power	-0.13 kW	-0.12 kW	-0.11 kW
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	W Fund	-0.17 kW	-0.13 kW	-0.09 kW
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Apparent Power	0.26 kVA	0.27 kVA	0.34 kVA
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	VA Fund	0.16 kVA	0.19 kVA	0.22 kVA
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Harmonic Power	0.16 kVA	0.19 kVA	0.29 kVA
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Unbalance Power			
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Reactive Power	-0.16 kvar	-0.14 kvar	-0.12 kvar
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	Power Factor	-0.45	-0.44	-0.36
11/26/2015 6:13:57 PM 930msec	DPF	-0.78	-0.67	-0.5

Fonte: Próprio autor

A guia “*voltage and current*” permite filtrar por valores máximos, médios e mínimos, bem como, por canal selecionado, para os dados de tensão e corrente salvos, além de permitir ajustar um período de análise. No caso da Figura 66 foi filtrado a tensão, a corrente média e máxima para a fase B.

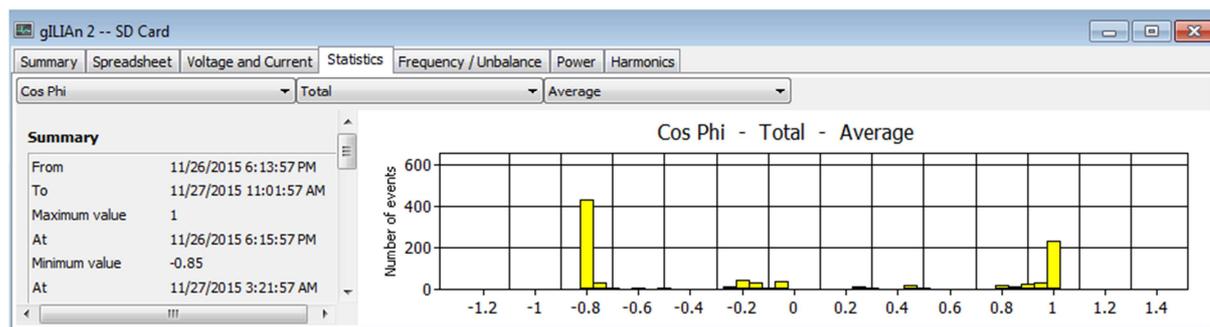
Figura 66: Guia tensão e corrente



Fonte: Próprio autor

Selecionando a guia “statistics” pode-se visualizar informações estatísticas da grandeza selecionada. Estes dados são gerados com base nas leituras feitas no intervalo de medição em questão. O gráfico da Figura 67 mostra a estatística do  $\cos\phi$ . No eixo “Y” tem-se o número de ocorrências. Estatisticamente, o fator de potência neste quadro de medição é 0,8 indutivo, para a maioria das interações.

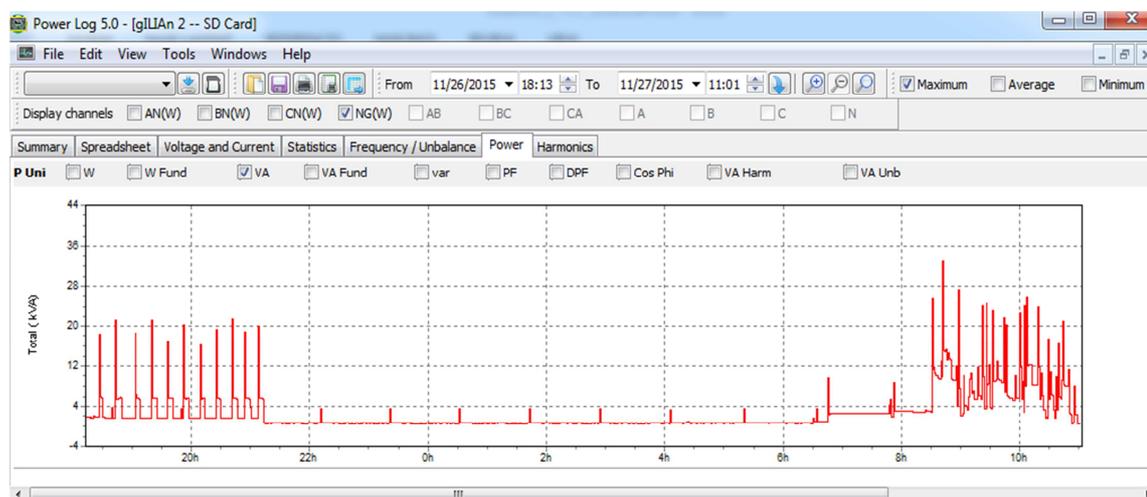
Figura 67: Guia estatística



Fonte: Próprio autor

Na guia “potência” é possível filtrar as informações utilizando as caixas de seleção na parte superior da janela de exibição, mostrando como, por exemplo, apenas a potência total, Figura 68. Pode-se também sobrepor as grandezas no mesmo gráfico. E além da potência total, é possível gerar um gráfico para a potência de cada fase. Permite, também, o filtro para gerar o gráfico a partir do valor de potência mínima, média ou máxima lida dentro do intervalo de leitura.

Figura 68: Guia potência



Fonte: Próprio autor

É possível dar zoom nos pontos de maior interesse, segurando o clique e arrastando sobre o ponto onde deseja-se mais detalhes.

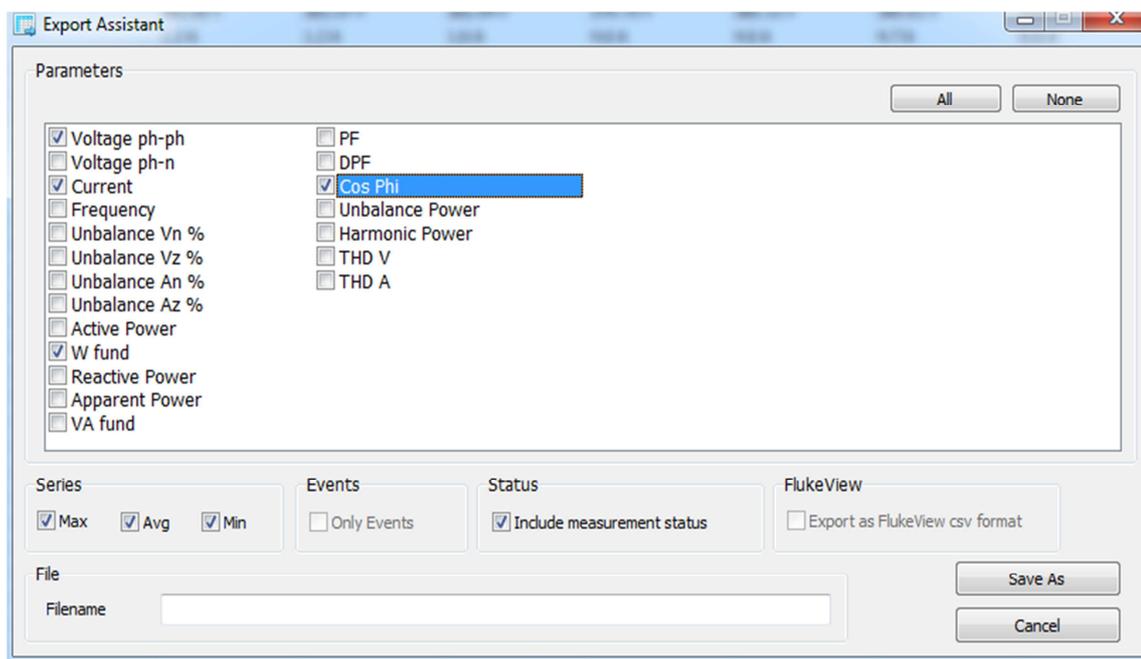
O Power Log ainda disponibiliza diversas outras guias como, por exemplo, “flicker” e guia “transiente”, porém, para as mesmas ficarem disponíveis deve-se, durante a medição em campo, ter obtido as leituras das grandezas. Como as mesmas não são de suma importância para este trabalho, não serão mostradas, mas seguem a mesma sistemática das guias já citadas.

#### Impressão de relatórios e exportação de dados

Além de visualizar os dados gravados e salvos, é possível imprimir relatórios para análise e exportar dados para uso em outros programas. Para imprimir relatórios é preciso pressionar Ctrl+R no teclado do PC, sendo que uma janela irá abrir. Nela, pode-se selecionar data e hora inicial, data e hora final, selecionar a impressão de página de resumo. E, ainda, selecionar um logotipo personalizado para imprimir no relatório. Em seguida, é preciso clicar em OK e, na caixa de diálogo, selecionar o local onde o relatório será salvo ou a impressora em que deseja imprimir. O relatório disponibiliza gráficos de todas as grandezas já citadas e também informações sobre tempo de medição, tensão nominal, frequência nominal, dentre outros.

Para exportar os dados, para manipulação em outro programa, por exemplo, planilha eletrônica. Basta pressionar as teclas Ctrl+E e, na caixa de diálogo, semelhante à da Figura 69, selecionar as grandezas desejadas. Feito isto, dá-se um nome para o arquivo e, então, um documento (.txt) será criado no local selecionado.

Figura 69: Janela de exportação de dados



Fonte: Próprio autor

## ANEXO A – CONTAS DE ENERGIA DO CAMPUS UDESC – JLLE

Janeiro/2016

## CÃO DE FATURAS AGRUPADORAS/AGRUPADAS

Sequência: 0680 - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CA'  
 FLORIANOPOLIS Bairro: ITACORUBI - FNS  
 01 - 20161946423369 Complemento: Valor: 185.331,00  
 Etapa: 17 Livro: 003498 Referência: 01-2016

TTE ANTONIO JOAO, Bairro: BOM RETIRO -JVE  
 AMPUS UNIVER. FACULD. ENGENHARIA Fatura: 01-20161938557733-40

Tensão	Fase	Data Fat.	Dias Fat.	Dta.Leit.Ant	Dta.Leit.Atu.	Reaviso	Corte
A-4	TR-TRIFASICO	27/01/2016	28	28/12/2015	25/01/2016	10/03/2016	25/03/2016
Apres: 01/02/2016 Vecto: 25/02/2016 Recolhimento: 27/01/2016 Valor: 32.920,53							

Descrição		Quantidade	Preço	Valor
CONSUMO PONTA		4882	1,11964	5.466,08
CONSUMO FORA PONTA		54074	0,33261	17.985,37
ENERGIA REAT EXC P		390	0,26833	104,65
ENERGIA REAT EXC FP		1923	0,26833	516,00
DEMANDA F.PTA		600	9,41213	5.647,28
ADIC BAND. VERMELHA				2.740,95
COSIP				60,20

Fevereiro/2016

## CÃO DE FATURAS AGRUPADORAS/AGRUPADAS

Sequência: 0680 - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA  
 FLORIANOPOLIS Bairro: ITACORUBI - FNS  
 01 - 20161997132108 Complemento: Valor: 271.321  
 Etapa: 17 Livro: 003498 Referência: 02-2016

TTE ANTONIO JOAO, Bairro: BOM RETIRO -JVE  
 AMPUS UNIVER. FACULD. ENGENHARIA Fatura: 01-20161987133610-14

Tensão	Fase	Data Fat.	Dias Fat.	Dta.Leit.Ant	Dta.Leit.Atu.	Reaviso	Corte
A-4	TR-TRIFASICO	29/02/2016	31	25/01/2016	25/02/2016	08/04/2016	23/04/2016
Apres: 01/03/2016 Vecto: 25/03/2016 Recolhimento: 29/02/2016 Valor: 55,92							

Descrição		Quantidade	Preço	Valor
CONSUMO PONTA		9247	1,12985	10.438,51
CONSUMO FORA PONTA		105435	0,33534	35.356,95
ENERGIA REAT EXC P		231	0,27052	62,49
ENERGIA REAT EXC FP		1415	0,27054	382,81
DEMANDA F.PTA		600	9,48958	5.693,75
ADIC BAND. VERMELHA				3.930,63
COSIP				60,20

Março/2016

## RPO - RELAÇÃO DE FATURAS AGRUPADORAS/AGRUPADAS

ESC Sequência: 0680 - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CA  
 Município: FLORIANOPOLIS Bairro: ITACORUBI - FNS  
 Documento: 01 - 20162066332452 Complemento: Valor: 328.106,08

Etapa: 17 Livro: 003498 Referência: 03-2016

Preço: R TTE ANTONIO JOAO, Bairro: BOM RETIRO -JVE  
 Complemento: CAMPUS UNIVER. FACULD. ENGENHARIA Fatura: 01-20162057600967-30

Tensão	Fase	Data Fat.	Dias Fat.	Dta.Leit.Ant	Dta.Leit.Atu.	Reaviso	Corte
A-4	TR-TRIFASICO	29/03/2016	29	25/02/2016	25/03/2016	09/05/2016	24/05/2016

9551 Apres: 01/04/2016 Vecto: 25/04/2016 Recolhimento: 29/03/2016 Valor: 77.969,58

Valores Faturados				
Valor	Descrição	Quantidade	Preço	Valor
0,00	CONSUMO PONTA	18030	1,12733	20.325,72
2.477,50	CONSUMO FORA PONTA	136211	0,33489	45.615,73
537,58	ENERGIA REAT EXC P	30	0,27053	8,11
	ENERGIA REAT EXC FP	1640	0,27018	443,09
Faturado	DEMANDA ULTRAP.25/02/16 14:15	109	18,95343	2.050,92
18030	DEMANDA F.PTA	709	9,47673	6.716,50
136211	ADIC BAND. AMARELA			2.074,81
30	ADIC BAND. VERMELHA			663,89
1640	COSIP			60,78
108.736				
708.736				

Abril/2016

## RPO - RELAÇÃO DE FATURAS AGRUPADORAS/AGRUPADAS

FLORIANOPOLIS Sequência: 0680 - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CA  
 01 - 20162130446079 Bairro: ITACORUBI - FNS  
 Complemento: Valor: 369.348,95

Etapa: 17 Livro: 003498 Referência: 04-2016

R TTE ANTONIO JOAO, Bairro: BOM RETIRO -JVE  
 CAMPUS UNIVER. FACULD. ENGENHARIA Fatura: 01-20162113661682-44

Tensão	Fase	Data Fat.	Dias Fat.	Dta.Leit.Ant	Dta.Leit.Atu.	Reaviso	Corte
A-4	TR-TRIFASICO	27/04/2016	31	25/03/2016	25/04/2016	08/06/2016	23/06/2016

Apres: 02/05/2016 Vecto: 25/05/2016 Recolhimento: 27/04/2016 Valor: 85.217,23

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor
CONSUMO PONTA	19166	1,15829	22.199,86
CONSUMO FORA PONTA	149672	0,34409	51.500,54
ENERGIA REAT EXC P	25	0,27760	6,94
ENERGIA REAT EXC FP	1798	0,27759	499,11
DEMANDA ULTRAP.18/04/16 15:00	157	19,47431	3.055,41
DEMANDA F.PTA	757	9,73706	7.369,94
ADIC BAND. AMARELA			523,88
COSIP			61,55