

Qualidade da Energia Elétrica em Instituição de Ensino: Monitoramento e Mitigação

Daniel Barbosa

Kleber Freire da Silva

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Salvador

Salvador, Bahia, Brasil

daniel.barbosa@pro.unifacs.br

Paulo R. F. de M. Bastos

Ederaldo S. Machado

João Manoel M. da Fonseca

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Federal da Bahia

Salvador, Bahia, Brasil

pbastos@ufba.edu.br

Mônica Silveira

Departamento de Ensino

Instituto Federal da Bahia

Simões Filho, Bahia, Brasil

monica.silveira@ifba.edu.br

Resumo—Nos dias atuais a energia elétrica está incorporada na vida da maioria dos cidadãos do planeta, sendo um dos insumos mais importantes para o desenvolvimento econômico e social de um país. Assim, entender, estudar e acompanhar a qualidade da energia elétrica é algo importante, especialmente com o emprego crescente de equipamentos eletrônicos e o aparecimento de novas questões associadas à qualidade da energia elétrica. Neste cenário, o presente artigo apresenta os resultados das análises das medições realizadas em unidades da UFBA, visando identificar problemas de qualidade da energia elétrica que possam ser utilizados como estudo de caso para a Rede de Pesquisa composta das instituições UNIFACS, UFBA e IFBA. Verificou-se que uma das unidades apresentava distorções harmônicas totais de corrente elevadas, sendo estudado um filtro passivo como medida mitigadora mais eficiente em face às distorções provenientes de transformador sobredimensionado.

Palavras-Chave-- Análise de distúrbios, Medidas mitigadoras, Monitoramento, Qualidade da energia elétrica (QEE), QEE em unidades de ensino.

I. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a energia elétrica está incorporada à vida da maioria dos cidadãos, sendo um dos insumos mais importantes para o desenvolvimento econômico e social. Estudar e acompanhar a qualidade da energia elétrica é importante, ainda mais quando, nas últimas décadas, o grande emprego de equipamentos eletrônicos passou a contribuir significativamente para o aparecimento de novas questões associadas à qualidade da energia elétrica.

Segundo [1], a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) refere-se a qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou desvio de frequência, que resulta em falha ou operação indevida do equipamento do consumidor. Além disso, a QEE considera aspectos de continuidade e confiabilidade, o que implica em maiores investimentos logo, maior custo da energia elétrica.

De acordo com o Conselho Regulador Europeu, o grupo

A Rede de Pesquisa citada envolve as três instituições, que realizaram o Projeto apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia. (FAPESB)

de trabalho que trata da QEE distingue o “serviço ao usuário”, a continuidade do suprimento e a qualidade do produto tensão de fornecimento [2]. O serviço ao usuário está associado à satisfação destes clientes, a continuidade relaciona-se com a confiabilidade do sistema elétrico, e a qualidade da tensão aos problemas abordadas no Módulo 8 do PRODIST [3].

Sabe-se que os problemas e perturbações encontrados na rede elétrica devem-se a defeitos ou falhas em equipamentos, bem como às próprias características das cargas conectadas ou a fenômenos externos como as descargas atmosféricas. Assim, as ondas das correntes e tensões verificadas na rede elétrica apresentam-se distorcidas, não sendo mais senoides puras, pois são formadas por várias componentes harmônicas.

O presente artigo objetiva apresentar as medições feitas na UFBA, analisar os resultados e propor medidas mitigadoras.

II. INSTALAÇÃO DAS MEDIÇÕES

A instalação dos equipamentos de monitoramento da QEE objetivou identificar alguns problemas observados no sistema elétrico e foi programada em conjunto com as equipes de manutenção. Desta forma, as medições foram realizadas nas seguintes unidades da UFBA:

- Biblioteca Universitária da Saúde (BUS), de 13 a 20/11/2012, e de 22/05/2014 a 09/06/14;
- Anexo do Instituto de Física (IF), 23 a 30/11/2012;
- Maternidade (MT), 09 a 18/01/2013; e
- Escola Politécnica (EP), de 25/01 a 04/02/2013.

Nesta fase, foram utilizados dois analisadores de QEE, sendo um o RE6000 da EMBRASUL e outro o ET-5060 da MINIPA. Adicionalmente a isso, em unidades cuja subestação possui mais que um transformador, nem sempre as medições foram simultâneas, daí os dados de demanda, carregamento e fator de potência nem sempre correspondem ao total da unidade. Na BUS, devido às questões apontadas, duas séries de medições foram realizadas em períodos diferentes, visando dar subsídios à proposição de medidas mitigadoras.

III. REFERENCIAL NORMATIVO PARA AS ANÁLISES

No que tange aos parâmetros de referência para análise dos dados coletados, seguiu-se aquilo estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [3], e em casos omissos, as recomendações internacionais da IEC ou do IEEE [4-8].

A ANEEL estabelece que os limites de frequência de operação em regime permanente devem estar situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. As instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no intervalo de 30 (trinta) segundos, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração. E, quando existe a necessidade de corte de geração ou de carga para permitir recuperar o equilíbrio do sistema de distribuição, são estes os limites da frequência [3]:

- Não exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
- Permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 s e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 s;
- Permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 s e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 s.

Conforme [9], sob condições normais, a frequência medida a cada 10 s deve se situar entre:

- Fundamental $\pm 1\%$ por 99,5% do tempo;
- Fundamental $+4\%$ e -6% em 100% do período.

Para a verificação das distorções harmônicas, o Módulo 8 do PRODIST [3] estabelece valores para referência do planejamento elétrico apenas para tensão, entendendo-se, portanto, que são orientativos para análises em barramentos das concessionárias. Daí, nos estudos aqui efetuados considerou-se para unidades individuais valores limites adaptados a partir de [10], ou seja, 5% para a “Distorção Harmônica Total de Tensão” (DHTv), e para a “Distorção Harmônica Total de Corrente” (DHTi) os seguintes:

- Normal ou adequado até 10%,
- Situação de alerta ou que pede uso de medidas mitigadoras entre 10% até 50%, e
- Situação crítica quando a DHTi for superior a 50%.

Para fator de potência e limites de tensão em regime permanente observaram-se as regulamentações ANEEL [3].

IV. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES

Neste item é apresentada uma breve análise das medições realizadas nas quatro unidades (BUS, Anexo do IF, MT e EP), referentes aos seguintes aspectos da QEE: (A) Continuidade do fornecimento; (B) Variação de frequência e desequilíbrio da tensão; (C) Tensão em regime permanente; (D) Fator de potência (FP); (E) Harmônicos; (F) Flutuação de tensão; e, (G) Variações de tensão de curta duração.

A. Continuidade do Fornecedor

Em nenhuma destas unidades foram verificadas faltas de energia pela distribuidora quando das realizações das medições. Não houve registro pelos funcionários de faltas frequentes ou prolongadas. Assim, não foram solicitados à concessionária os índices individuais de duração de falta

(DIC e DMIC) nem de frequência das interrupções (FIC).

B. Variação de Frequência e Desequilíbrio de Tensão

Optou-se por analisar conjuntamente a frequência e o desequilíbrio de tensão neste item, uma vez que o software do equipamento da MINIPA apresenta-os em um gráfico único, entretanto optou-se por não apresentar ilustração devido ao espaço requerido para obter boa resolução.

A variação da frequência registrada permaneceu dentro dos limites estabelecidos para regime permanente [3] em todas as unidades. Na MT, por exemplo, a frequência variou desde 59,91 até 60,05 Hz, no período medido.

Na EP, o desequilíbrio médio foi de 17% com picos de até 22%. Já na BUS, embora a média do desequilíbrio tenha sido de 16%, aconteceram dois picos que superaram 23% (o máximo foi 25%). Nesta unidade há grande concentração de cargas monofásicas na “fase A”, chegando a superar em mais que 40% a maior das outras fases em vários momentos (por exemplo, em 19/11/2012 às 11:15h, as correntes registradas foram $I_a = 228,4$ A, $I_b = 168,0$ A e $I_c = 158,1$ A, totalizando uma potência de 65,6 kW dos quais 29,6 kW correspondia ao consumo da Fase A).

Os limites de desequilíbrio estão definidos por diversas normas, entre eles: NEMA MG1 14-34 (2%), ANSI C.84.1-1989 (3%), IEEE Orange Book – 446/1995 (2,5%), GTCP/CTST/GCPS – ELETROBRÁS (1,5% e 2%) e ONS/ANEEL (2%). Assim, percebe-se a disparidade existente nas instalações medidas.

Nestas duas unidades há desequilíbrios de cargas e picos de correntes característicos da partida direta de grandes máquinas, sendo recomendado um levantamento de cargas, verificação destas possíveis partidas e medições específicas.

C. Tensão em Regime Permanente

As tensões se situaram dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST em todas as unidades analisadas. Na BUS, a tensão mínima ocorreu na fase A (117,8 V) e a máxima na fase B (132,1V), sendo a maior ocorrência de 130,0 V.

No Anexo do IF, a grande maioria das tensões registradas oscilaram entre 122,5 V e 126,5 V (média em 125,0 V). Na EP, a variação da tensão também foi pequena (entre 126 e 130 V), tendo-se registrado a média 127,5 Volts. Na MT, a mínima registrada foi de 125,5 V (fase A) e a máxima de 131,1 V (fase C). A Fig. 1 a seguir mostra um histograma das tensões medidas na fase A na unidade MT.

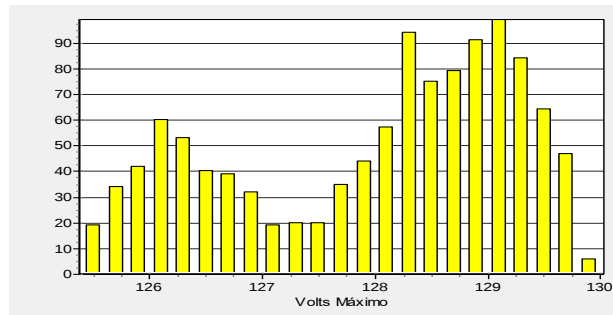


Figura 1. Histograma das tensões da fase A registrado na Maternidade.

D. Fator de Potência

A análise aqui descrita não considera o histórico de excedente de energia reativa nos últimos doze ou 24 meses, e há uma unidade em que só um transformador foi medido.

Na BUS não se registrou excesso de reativo, bem como na EP. A Fig. 2 apresenta o histograma das medições de fator de potência global (trifásico), verificando-se que em 79% do tempo o fator de potência esteve acima do limite de 0,92.

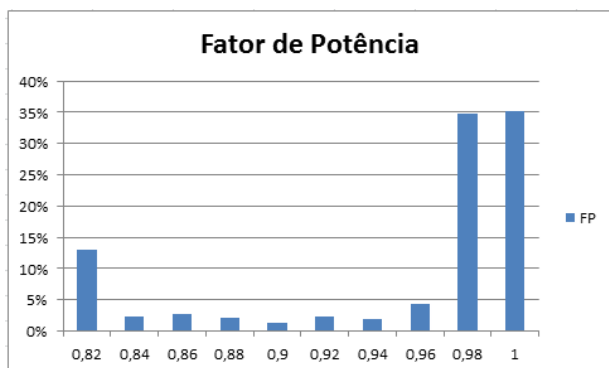


Figura 2. Histograma das medições de FP trifásico na Escola Politécnica.

Com respeito às medições feitas no Anexo do IF, a maior parte do tempo o FP ficou em torno de 0,80 indutivo, devendo-se verificar como está o consumo de energia reativa não apenas mensal como ao longo do ano. Já para a MT, o FP esteve sempre acima de 0,95, e durante mais que 98% do tempo acima de 0,98.

E. Distorções Harmônicas

Após o levantamento dos registros de distorção harmônica, estes foram analisados, sendo mostrado o resumo na Tab. I, que apresenta os valores máximos das distorções harmônicas totais de tensão (DHTv) nas quatro unidades analisadas verificando-se que todos estão abaixo do valor limite de 5%. Para as distorções harmônicas totais de corrente (DHTi) são mostrados os valores médios das fases no período e o valor máximo registrado em quaisquer das fases.

TABELA I. DHTv e DHTi NAS UNIDADES MONITORADAS.

	DHTv máx(%)	DHTi média(%)	DHTi máx(%)	Situação
Biblioteca da Medicina	3,6	26	53,3	Alerta/Mit
Escola Politécnica	4,0	11	24,6	Alerta
Maternidade	2,4	6	14,7	Normal
Anexo Instituto de Física	3,8	13	17,5	Alerta

Para a MT, a situação operativa é normal, entretanto, as DHTi medidas na EP e no Anexo do IF são de “Alerta” ainda que moderado, ou seja, merecem acompanhamento. Em relação ao valor médio de DHTi na BUS, este excede 20%, com o máximo atingindo 53,3%, portanto merece preocupação e estudos de medidas mitigadores, daí se caracterizar a situação de “Alerta/Mit”. Infelizmente o

equipamento MINIPA usado em tal medição não indica os valores das contribuições das correntes harmônicas, então houve necessidade de nova medição, visando identificar as componentes harmônicas mais significativas.

Na Fig. 3 estão mostradas as distorções harmônicas totais de tensão (DHTv) para cada uma das fases registradas na MT. Tais curvas acompanham o mesmo perfil, sendo o mais desfavorável ou que apresenta maiores distorções o da fase B.

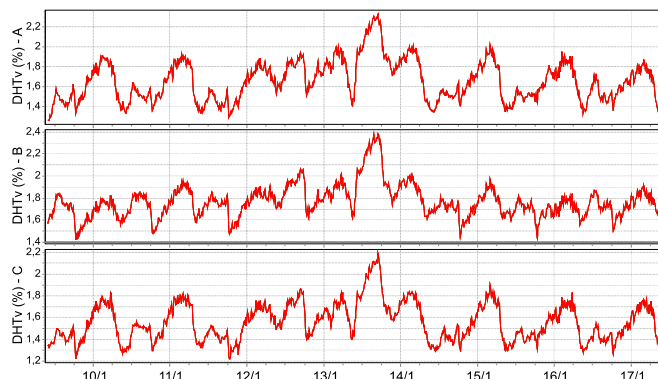


Figura 3. Distorção harmônica total de tensão por fase na Maternidade.

As distorções harmônicas totais de corrente (DHTi) na MT apresentaram valor médio de 6% e o valor máximo registrado foi em 11/01/13 na fase B. A Fig. 4 apresenta um perfil para DHTv e DHTi na fase B, que apresentou os valores máximos na MT, focando um período entre a zero hora de 10/01/13 até as 24 horas de 13/01/13; o gráfico superior mostra que o valor máximo de DHTv (cerca de 2,4%) acontece na tarde de 13/01/13 (de início às 15:37 e novamente desde às 16:07 até às 17:07), enquanto o pico de DHTi (14,6%) aconteceu na madrugada de 11/01/13, às 4:07.

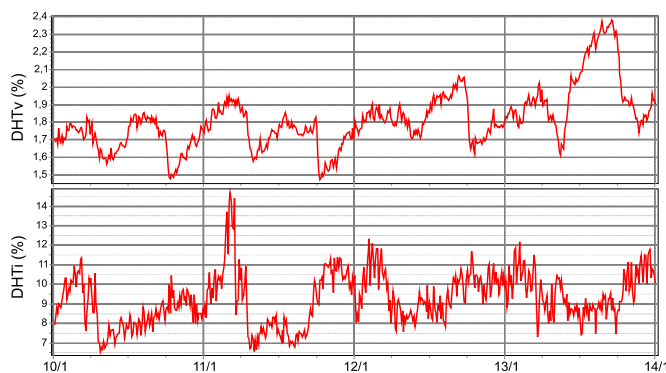


Figura 4. DHTv e DHTi para a fase B na Maternidade(MT).

F. Flutuações de Tensão

Os valores de flutuação de tensão, em particular a cintilação (*flicker*), são definidos como de curta duração (Pst) [11] e de longa duração (Plt), sendo que este se caracteriza como uma média de ao menos doze Pst consecutivos. Por outro lado, a norma IEC 6100-4-15 estabelece que 95% dos Pst registrados num período não devem exceder 1%. Para o indicador de longa duração é estabelecido que o Plt95 tem

limite de 0,8% [8].

Analisando-se os dados coletados para as quatro unidades da UFBA, vê-se que não foram encontrados problemas com respeito a flutuações. Foram tomadas medições por uma semana ou mais, portanto pelo menos cerca de 1.008 dados (registros a cada 10 minutos) e os resultados foram:

- Os valores medidos na BUS apresentaram baixos níveis de severidade de curta duração (apenas duas Pst maiores que 1%, e nenhum dos Plt superou o limite);
- Na EP aconteceram apenas cinco valores de Pst maiores que 1%, três na fase A, e nenhum de Plt;
- Na MT houve apenas um registro de Pst maior que 1% e nenhum caso de Plt excedendo o valor de referência;
- Para o Anexo do IF houve apenas três valores de Pst superiores ao limite (dois deles na fase A) e nenhum de Plt maior que o valor limite.

Ilustrando, a Fig. 5 mostra as ocorrências de Pst e Plt nas três fases durante os dias 12/01 a 17/01 para a unidade MT. Há ocorrências de duas ultrapassagens do limite na fase B e duas na fase C, dias 12 e 17/01.

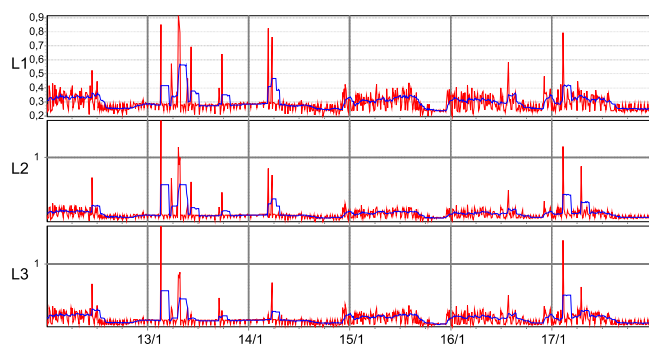


Figura 5. Flutuação de tensão ou flicker nas três fases na Maternidade.

G. Variação de tensão de Curta Duração

Não houve ocorrência de qualquer tensão inferior a 90% da tensão nominal ou superior a 110% com duração entre 100 milissegundos a um segundo em nenhuma das unidades monitoradas. As variações de tensão de curta duração, abaixo de 100 ms, tiveram esta distribuição: na BUS foram 7 ocorrências, na EP foram 21, na MT ficou em 23 eventos e no Anexo do IF a maior quantidade, 81 casos.

O software de análise do equipamento EMBRASUL, com o qual se fez apenas uma medição, permite o exame das formas de onda no pré e pós trigger do evento, sendo, entretanto, exaustiva a análise quando há muitos eventos. Já o aplicativo do equipamento MINIPA, só indica a quantidade de eventos: por exemplo, para a MT o programa indicou a ocorrência de 23 eventos, permitindo identificar que dois aconteceram no dia 12/01, onze em 13/01, cinco no dia 14/01 e cinco em 17/01; também a distribuição por fase: 8 em cada uma das fases A e B, e 7 na C.

V. HARMÔNICAS NA BUS: MEDIDAS MITIGADORAS

Conforme citado nos registros de harmônicos, a situação de DHTi da BUS era crítica, prosseguindo-se com os estudos

de mitigação [12]. Inicialmente foi feita uma nova medição, visando identificar quais harmônicas de corrente contribuíam para a alta distorção total identificada, tendo-se usado um equipamento mais moderno, o EMBRASUL RE7000.

O suprimento de energia elétrica nessa unidade institucional é realizado a partir de um transformador de 300 kVA, sendo verificado que a maior demanda nos últimos 12 meses foi de 79 kW (fator de carga médio de 26%), mas em abril/14 atingiu 118 kW.

A análise destas medições demonstra que a distorção total harmônica de tensão está adequada (um máximo de 3,28%), e que permanecem elevadas as distorções de corrente. A Tab. II mostra quando ocorreram os valores máximos e mínimos de distorção total harmônica de corrente.

TABELA II. VALORES EXTREMOS DE DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL DE CORRENTE.

Valores Máximos e Mínimos de DHTi			
Registro/Fase	Data	Hora	DHTi (%)
1539/A	02/junho	04:22	32,08
398/B	25/maio	05:55	30,25
138/A	23/maio	10:35	6,74
713/B	27/maio	10:24	5,77

A Fig. 6 apresenta o gráfico das componentes harmônicas ímpares de corrente quando do pico de DHTi na Fase A (02/junho), sendo a fundamental 57,9 A; a quinta harmônica representa 20,8% e a sétima 23,0% da fundamental.

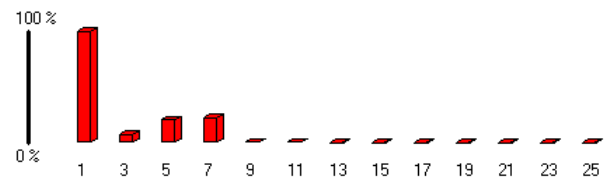


Figura 6. Espectro harmônico de corrente, Fase A com máxima DHTi [12].

É importante destacar que a ocorrência de níveis elevados de DHT de corrente não foi pontual, visto que em 35,9% das leituras, o DHTi da Fase A superou 20%. Nas fases B e C, esse percentual foi de 34,8% e 23,4%, respectivamente.

As causas dos altos valores das DHTi certamente estão associadas ao baixo carregamento do transformador, especialmente à noite, pois a carga deste horário é majoritariamente composta pelas iluminações interna e externa, constituídas por lâmpadas fluorescentes e de vapor metálico, respectivamente.

Na iluminação, as lâmpadas são cargas não lineares que medidas individualmente possuem uma DHTi que supera os 100%, no caso das fluorescentes compactas (LFC) [14], e para as fluorescentes tubulares vão além de 20% usando reatores eletromagnéticos, e da ordem de 80% quando utilizam reatores eletrônicos [15]. Na iluminação externa as lâmpadas de vapor de mercúrio apresentam DHTi de cerca de 25%, conforme [15].

Tal fato corrobora com a característica operacional de

geradores e transformadores, que, com pequenos carregamentos, contribuem para altos DHTi, em especial valores elevados das 3ª e 5ª harmônicas, podendo em transformadores monofásicos a 3ª harmônica chegar até a 40%, e a 5ª harmônica a 10% [14].

Em relação às distorções harmônicas individuais, as principais harmônicas presentes na corrente solicitada por uma LFC de baixo fator de potência são as ímpares, até a ordem 11, sendo mais significativas a 3ª, 5ª e 7ª [14].

Diante de tal condição operativa, diversos métodos de mitigação podem ser utilizados, sendo os filtros passivos, os mais utilizados, seja pelo custo ou pela facilidade de aplicação. Dentre os filtros passivos, existem os sintonizados e os amortecidos; os primeiros são aqueles com capacidade de filtrar apenas uma frequência específica, denominada de frequência sintonizada. Os filtros amortecidos possuem a capacidade de filtrar as harmônicas de frequências iguais ou superiores a uma determinada frequência de sintonia.

Uma boa solução é a utilização de um filtro amortecido, pois reduz os níveis de correntes harmônicas a partir de uma determinada frequência, definida em projeto, o que torna possível o uso de apenas um filtro [1]. Assim, para reduzir as harmônicas de ordem 3, 5, 7 e 11, projeta-se o filtro para filtrar as harmônicas a partir da 2ª ordem, por exemplo, e deste modo reduz-se as correntes harmônicas de frequências maiores que 120 Hz, diminuindo os níveis de DHTi.

Dentre os filtros amortecidos há quatro mais nomeados na literatura, são eles: os de primeira ordem, os de segunda ordem, os de terceira ordem e os “tipo C”. Por ser uma solução muito usada nestes problemas de harmônicos optou-se pelo filtro passivo amortecido, de segunda ordem. Após dimensionamento do filtro, verificou-se pelo Diagrama de Bode que o mesmo não se mostrou eficaz.

Buscou-se então a solução através de um projeto de filtro sintonizado para as frequências cujas distorções são mais acentuadas, quais sejam as 3ª, 5ª, e 7ª. Para tal, tomou-se a carga média típica de 35 kW cujos valores de corrente e distorções harmônicas percentuais são vistos na Tab. III.

TABELA III. CORRENTE E DHI NA BUS (ESPECTRO EM CARGA MÉDIA).

Ordem	1	3	5	7	9	11	13
I _{rms} (A)	91,5	10,6	16,5	19,5	1,2	2,4	0,4
% fundamental	100	11,6	18,0	21,0	1,3	2,7	0

O filtro sintonizado é composto por um capacitor, C, um resistor, R, e um indutor em série (L), isto para cada frequência, sendo a impedância dada por:

$$Z(\omega) = R + j \cdot [\omega \cdot L - 1/\omega C] \quad (1)$$

Na condição de ressonância é uma impedância apenas resistiva, sendo o valor de R dimensionado conforme o fator de qualidade desejado; em geral recomenda-se entre 30 e 100, e aqui se adotou 100. Também se recomenda que a frequência de sintonia esteja 2% a 6% abaixo da desejada, sendo usados aqui 6%. Por outro lado, como o FP da unidade já era alto

(0,97 capacitivo) os capacitores escolhidos para os filtros de ordem 3, 5 e 7, foram de 0,5 kVAR em 60 Hz (27,4 µF) para não reduzir o fator de potência. Realizado o dimensionamento, resultou nos parâmetros indicados na Tab. IV, para cada ordem.

Considerando-se os valores do filtro, calculou-se a impedância equivalente e traçou-se o Diagrama de Bode, mostrado na Fig. 7, tendo quatro pontos em destaque, um na frequência fundamental e os demais nas frequências sintonizadas. Maiores informações sobre a metodologia utilizada na implementação dos filtros podem ser encontradas em [12].

TABELA IV. PARÂMETROS DOS FILTROS SINTONIZADOS DE ORDEM 3, 5 E 7.

	3ª Ordem	5ª Ordem	7ª ordem
Resistor/fase (Ω)	0,343	0,206	0,147
Capacitância/f (x F)	27,40	27,40	27,40
Indutância/fase (mH)	32,29	11,62	5,93

Para a fundamental o filtro tem comportamento capacitivo com alta impedância, mas para as frequências sintonizadas tem impedância resistiva mínima, como se vê na Fig.7.

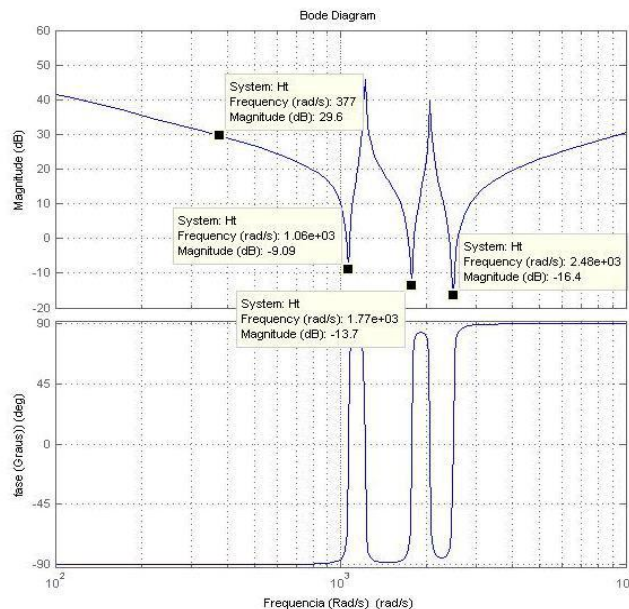


Figura 7. Diagrama de Bode, módulo e fase, do filtro sintonizado.

Com os três filtros juntos as harmônicas de ordem 3, 5 e 7 indicadas na Tab. III tiveram pouca redução (caíram para 10,5 A, 16,3 A e 19,3 A, respectivamente), não contribuindo para redução efetiva do DHTi.

Foi projetado outro filtro sintonizado com valores maiores de capacitância (total de 95 kVAR de energia reativa em 60Hz), conseguindo-se reduzir a DHTi de 30,3% para 9,86%, entretanto o FP da BUS cairia para 0,32 capacitivo.

Para não haver conclusão errônea quanto a eficiência do filtro sintonizado, foram experimentadas outras soluções partindo de uma condição de carga maior: tomou-se carga de

250 kVA (carregamento hipotético do transformador de 83%). Nesta situação, o dimensionamento do filtro para frequência de apenas 2% abaixo da harmônica desejada mostrou-se melhor que quando se considerou 6%, e consegue-se reduzir significativamente as correntes de 5ª e 7ª harmônicas, possibilitando ter DHTi inferior a 10%. Sem filtro as componentes de 3ª, 5ª e 7ª harmônicas eram 11,5%, 17,9%, e 21,1%, respectivamente, e se reduzem para 10,0%, 6,4% e 6,7% com o filtro simulado.

Entretanto, a melhor solução encontrada com efetiva queda das correntes harmônicas é o filtro combinado à inserção de um indutor série que proporciona 1% de queda de tensão; nesta situação a DHTi é de 9,02% e todas as harmônicas de corrente estão abaixo dos limites recomendados, sendo 7,4%, 1,9% e 4,0% respectivamente, as correntes harmônicas de ordem 3, 5 e 7 [13].

Deste modo, o filtro sintonizado não se mostrou uma boa solução quando o problema das harmônicas está associado a baixo carregamento do transformador, mostrando-se eficiente quando o carregamento é da ordem de 80%. Na situação atual da BUS, poder-se-ia partir para um filtro ativo, porém de início foi proposta a substituição do transformador por um de 112,5 kVA ou 150 kVA, caso nos próximos meses não se considere a entrada de novas cargas.

VI. CONCLUSÕES

Após a coleta dos dados referentes a QEE fruto das medições em quatro das unidades da UFBA conclui-se que os níveis de tensão em regime permanente, a variação da frequência e a continuidade do serviço estão adequados em todas as unidades. Também não há problemas com respeito a flutuação de tensão (*flicker*) e nem aconteceram variações de tensão de curta duração significativas.

Na BUS e na EP há desequilíbrios de tensão provavelmente oriundos de cargas muito desequilibradas, o que se confirma pelo carregamento excessivo da fase A da BUS, por exemplo. É possível ainda que nestas unidades cargas elevadas estejam partindo diretamente. Um levantamento de cargas e outras medições em circuitos específicos são recomendados antes de uma redistribuição das mesmas entre as fases.

Há sinais de excesso de consumo de energia reativa no Anexo do IF e também na EP. Nesta, as ocorrências são pontuais e quando verificados os consumos nos últimos 12 meses viu-se que não há cobrança de excesso de energia reativa. No Anexo do IF deve-se primeiramente analisar um período de 24 ou 12 meses pelos valores medidos indicados nas contas de energia.

Quanto às distorções harmônicas de corrente a situação já é crítica para a BUS, e após uma segunda medição foi dimensionado e simulado um filtro sintonizado objeto de um Trabalho de Conclusão de Curso [12]. Entretanto, a recomendação não é se implantar tal filtro, mas acompanhar o carregamento do transformador, e caso não se confirme o aumento da carga, que o mesmo seja substituído por outro de menor potência, por exemplo, 112,5 kVA.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo apoio financeiro na implantação da Rede de Pesquisa em QEE que viabilizou a realização das medições as quais foram utilizadas para elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] R. C. Dugan; M. F. McGranaghan; S. Santos; H. W. Beauty. Electric Power Systems Quality, 3rd Edition, McGraw-hill, 2012.
- [2] A. B. Baghini, editor, Handbook of Power Quality, John Wiley & Sons, England, 2008.
- [3] ANEEL. Procedimentos da Distribuição PRODIST, Módulo 8, Qualidade da Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 469/2011.
- [4] IEEE Std 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE, 1992.
- [5] IEEE Std 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE, 1995.
- [6] IEC 1000-2-2, Limits for harmonic current emissions International Electrotechnical Commission Standar, Mar. 1991.
- [7] IEC 61000-3-2. Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-2: Limits for harmonic current emissions. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- [8] IEC 61000-4-15. Flickermeter – Functional and Design Specifications. [S.l.]: [s.n.].
- [9] EN50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 2006.
- [10] Schneider. Workshop Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Qualidade de Energia – Harmônicas. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- [11] Schlabbach J.; Blume D.; Stephanblame T. Voltage Quality in Electrical Power System. The IEE, London, 2001.
- [12] Fonseca, João M. M. da, Projeto e simulação de filtro de harmônicas: um estudo da Biblioteca Universitária de Saúde da UFBA, Salvador, UFBA, julho de 2014 (Trabalho de Conclusão de Curso).
- [13] Ndiaye, Mamour S., Modelagem de cargas não-lineares por fontes de corrente sincronizadas, Rio de Janeiro, UFRJ, COPPE, 2006 (Dissertação de Mestrado).
- [14] Barreto Jr, Manuel S., Torres, B. de C., Bastos, P.R.F.de M., Características das lâmpadas fluorescentes compactas e televisores, inclusive quando submetidos a variação de tensão. in XXII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Brasília, Outubro de 2013.
- [15] Luciano, Benedito A., Sousa, F.P. F., Torres, I. S. M., Ferreira, T. V. - Lâmpadas fluorescentes e distorções harmônicas: eficiência energética e qualidade de energia. On line “O Setor Elétrico”, 2010. Disponível em <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/254-lampadas-fluorescentes-edistorcoes-harmonicas-eficiencia-energetica-e-qualidade-de-energia.html>.