

ANÁLISE DE QUALIDADE DE ENERGIA EM CARGA COMERCIAL DE BAIXA TENSÃO LOCALIZADA NO CENTRO DA CIDADE DE MANAUS

JANDECY CABRAL LEITE², RIVANILDO DUARTE ALMEIDA²; MANOEL S. SANTOS AZEVEDO^{1,2};
WORLEN FERREIRA GIMACK²

1 – UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS (UEA); 2 – INSTITUTO DE TECNOLOGIA E
EDUCAÇÃO GALILEO DA AMAZÔNIA (ITEGAM)

manoelazevedo@yahoo.com.br; rivanildo_duarte@yahoo.com.br; jandecy.cabral@itegam.org.br

Resumo - Este artigo apresenta um estudo de Qualidade de Energia Elétrica realizado no ano de 2015 em uma unidade consumidora comercial de baixa tensão, grupo B. O objetivo deste artigo é medir e monitorar por um período de 7 dias o fornecimento de energia elétrica na derivação do ramal de ligação da UC, junto à medição, no quadro geral de BT, conforme item 2.6.1.5, alínea (a) do PRODIST e analisar qual a real situação do fornecimento de energia elétrica para as unidade consumidora em estudo, com base nos critérios estabelecidos pelas normas, IEEE Std 519-92 e PRODIST/ANEEL. A metodologia abordada foi o estudo de caso, tendo como unidade consumidora de análise o hotel Manaós, grupo B (baixa tensão), classe comercial, através de campanhas de medições em campo, que servirá de estudo de apoio para outro projeto denominado Revitalização do centro da cidade de Manaus. Para realizar as campanhas de medições em campo foi utilizado o Analisador de Qualidade de Energia HIOKI PW3198. Os resultados das análises obtidos mostraram que a metodologia desenvolvida neste trabalho é aplicável à medida que os novos requisitos associados à qualidade da energia entrem em vigência, dentre os quais pode se citar as distorções harmônicas, SAG, SWELL, que passarão a ser cobrados às empresas distribuidoras de energia, ou seja, as distribuidoras de energia deverão se adequar a tais requisitos exigidos pelo PRODIST/ANEEL, caso contrário, as empresas sofrerão penalizações por meio de multas elevadas.

Palavras-chave: Qualidade de Energia. Energia Reativa. Harmônicas.

I. INTRODUÇÃO

A Qualidade de Energia Elétrica abrange uma grande variedade de termos que transitam por todas as áreas do sistema de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição) até chegar ao consumidor. Na essência, o termo é usado para caracterizar qualquer variação na amplitude da forma de onda de tensão, corrente e frequência ou qualquer distorção da forma de onda das mesmas em condições de regime transitório ou permanente num sistema de energia elétrica, que pode causar a falha, queima ou o mau funcionamento tanto de equipamentos instalados no sistema, quanto no próprio sistema de energia elétrica (fornecedor ou supridor de energia) (SCOLARI, 2013).

A energia elétrica é um elemento indispensável para a sociedade moderna, além de oferecer meios para que a população tenha melhor qualidade de vida, representa insumo básico para a maioria das atividades comerciais e industriais. Assim sendo, a energia elétrica pode ser

abordada tanto sob o ponto de vista de produto como de serviço (SOUZA, 2008).

Neste artigo abordou-se a qualidade da energia elétrica apenas do ponto de vista do produto, analisando os aspectos de qualidade de energia elétrica de acordo com a normas IEEE Std 519-92 e PRODIST/MODULO 8/ANEEL de 2015. Dentre os aspectos considerados pelo PRODIST/MODULO 8/ANEEL foram analisados apenas os aspectos: tensão em regime permanente, corrente em regime permanente, potência ativa e potência reativa em regime permanente e distorção harmônica.

Este artigo tem como relevância e contribuição apresentar uma metodologia aplicável para análise diagnóstico de qualidade de energia elétrica em sistemas de energia elétrica.

A unidade consumidora selecionada para o desenvolvimento deste trabalho foi o Hotel Manaós, da classe de baixa tensão, grupo B, localizada no bairro centro da cidade de Manaus.

O objetivo deste trabalho é monitorar a energia fornecida para a unidade consumidora (UC), por um período de 7 dias corridos e verificar, analisar qual a real situação do fornecimento de energia elétrica para esta UC.

II. MATERIAIS E MÉTODOS APLICADOS

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para análise de qualidade de energia em sistemas de energia elétrica.

A metodologia abordada foi o estudo de caso, tendo como unidade consumidora de análise o hotel Manaós, grupo B (baixa tensão), classe comercial, através de campanhas de medições em campo, que servirá de estudo de apoio para outro projeto denominado Revitalização do centro da cidade de Manaus e com essa metodologia foi possível identificar a real condição do ponto monitorado.

O equipamento utilizado para realizar as medições foi o Analisador de Qualidade de Energia HIOKI modelo P3198. Este equipamento é capaz de registrar potências ativas, reativas e aparentes, níveis de tensão, variações de tensão de curta duração, desequilíbrios de tensão, corrente elétrica, fator de potência, frequência da linha, distorções harmônicas totais e individuais de tensão e de corrente e espectro de frequência de distorções harmônicas de tensão e corrente (MANUAL HIOKI, 2012). Para a medição das correntes foi utilizado um sensor de corrente modelo HIOKI SENSOR 9695-03 de fabricação da HIOKI.

Para medições das tensões foi utilizado garras de conexão do tipo jacaré. As medições e instalação do equipamento foram realizadas no secundário do TRAF0, tensão 220V, no qual instalaram-se 1 analisador de qualidade de energia PW 3198 da HIOKI para a realização de medição, permanecendo lá por um período de 7 dias de acordo com o PRODIST módulo 8/ANEEL.

Os procedimentos adotados tanto para a realização das medições como para as análises dos dados tiveram como base o módulo 8 do PRODIST módulo 8/ANEEL, que trata das questões envolvendo a qualidade da energia elétrica. O desenvolvimento deste trabalho seguiu as seguintes etapas: Definição do local da pesquisa; Escolha do ponto da UC que foi monitorada; como foi realizado este trabalho; Instrumento de coleta de dados; Instalação dos equipamentos; Retirada dos equipamentos; Análise dos dados coletados da rede elétrica.

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho teve como base pesquisas em dissertações e artigos de revistas. As etapas para desenvolvimento deste artigo são descritas abaixo:

a) Definição do local da pesquisa;

A pesquisa foi realizada na região central de Manaus, que possui unidades consumidoras comerciais, de serviços e públicas, etc., com uma diversidade de tipos de cargas, cujo objetivo é coletar dados do sistema de energia elétrica que sirva de material de apoio para o desenvolvimento do projeto de revitalização do centro de Manaus.

b) Escolha do ponto da UC que foi monitorada;

A escolha do ponto da UC que foi monitorada consistiu em realizar uma medição na derivação do ramal de ligação da UC, junto à medição, no quadro geral de BT, obedecendo a item 2.6.1.5, alínea (a) do PRODIST, que trata da metodologia de medição quando a instalação do equipamento no ponto de conexão PCC compromete a segurança do equipamento e de pessoas, podendo assim verificar e analisar qual a situação da energia elétrica fornecida para UC, quantificando os indicadores de qualidade de energia.

c) Como foi realizado este trabalho;

O trabalho foi baseado em campanha de medição realizada em campo, na derivação do ramal de ligação da UC em estudo, utilizando-se de um Analisador de qualidade de energia elétrica devidamente aferido, capaz de registrar potências ativas, reativas e aparentes, níveis de tensão, etc. conforme descrito anteriormente.

Duração da medição: 7 dias. Intervalos de cada medição: a cada 10 minutos.

d) Instrumentos para realização das medições em campo;

O instrumento utilizado para a realização das medições em campo, foi o Analisador de Qualidade de Energia HIOKI PW3198 devidamente aferido, direcionado somente para efetuar este tipo de medição.

Especificações do PW3198 são: Classe A de acordo com a IEC 61000-4-30; Medição de tensão de alta precisão. Exatidão de 0,1% na leitura; Medição de sobretensão transitória de alta frequência de no máximo 6 kv pico com taxa de amostragem de no mínimo 1MHz; Medição e registro de tensão e corrente harmônicas e interharmônicas de acordo com a IEC 610004-7 e com taxa de amostragem mínima de 256 amostras/ciclo;

Medição de sags, swells e interrupções; Capacidade para medir todos os parâmetros necessários para análise de qualidade de energia; Armazenamento de dados em cartão de memória SD; Memória de massa de no mínimo 2 GB.

e) Instalação do equipamento;

O analisador de qualidade de energia foi instalado, em baixa tensão, no secundário do transformador na cabine da subestação, junto a medição, permanecendo instalado por um período mínimo de 7 (sete) dias, de acordo com o PRODIST módulo 8/ANEEL.

f) Retirada do equipamento;

A retirada do equipamento foi realizada no oitavo dia de monitoração, para então o analisador de qualidade de energia monitorar por 7 (sete) dias completos e no mínimo até a 25ª ordem harmônica de acordo com o PRODIST módulo 8/ANEEL.

g) Análise dos dados coletados da rede elétrica.

As análises dos dados coletados foram realizadas comparando-as com os valores de referências para distorções harmônicas totais e individuais descritos no PRODIST Módulo 8/ANEEL e IEEE Std 519-92.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES - ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS DA REDE ELÉTRICA

As análises foram realizadas com medições coletadas no período de 30 de junho de 2015 à 7 de julho de 2015.

Neste período realizou-se uma campanha de medição na subestação do Hotel Manaós, no secundário do TRAF0, tensão 220V, conforme descrito na metodologia, no qual instalaram-se 1 analisador de qualidade de energia PW 3198 da HIOKI para a realização de medição.

3.1 Análise das Medições Realizada no Hotel Manaós

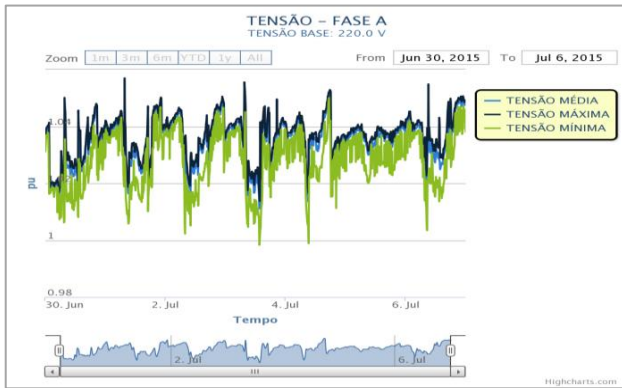
As Figuras 1, 2, 3, mostram respectivamente os perfis de tensão nas fases A-B-C, para todo o período de medição, registrados neste ponto de medição para a análise de tensão em regime permanente. As tensões medidas foram todas em relação ao neutro.

Como pode ser visto, os valores de tensão rms médios e mínimos se encontram dentro do limite da faixa de tensão considerada adequada pelo módulo 8 do PRODIST. Vale ressaltar que somente em alguns momentos os valores de tensão rms máximos se encontram acima do limite adequado. Este aspecto (tensão em regime permanente) é de responsabilidade da concessionária.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores máximos, mínimos e médios de tensões em pu, para uma tensão de base 220V, registrados neste período.

É importante destacar que, com relação ao perfil de tensão em regime permanente, o PRODIST Módulo 8/ANEEL leva em consideração somente os valores rms médios.

Figura 1 – Valores de tensão *rms*, Máx e Mín e Médios obtidos para a fase A, com intervalo de gravação de 10min.



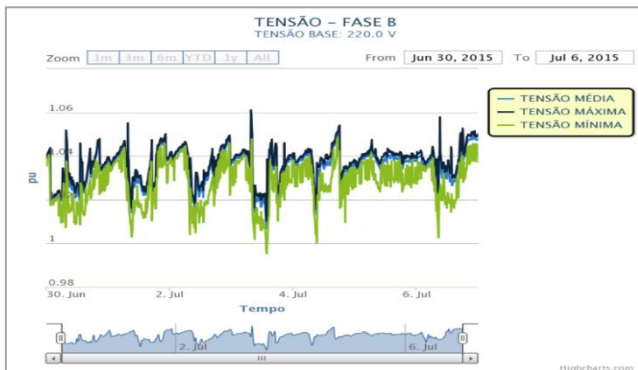
Fonte: Autores, (2016).

Tabela 1 - Valores Máx, Mín e Médios de tensão medidos na fase A

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios
TENSÃO MÉDIA	1,0111	1,0517	1,0348
TENSÃO MÁXIMA	1,0137	1,0569	1,0368
TENSÃO MÍNIMA	0,9983	1,0500	1,0278

Fonte: Autores, (2016).

Figura 2 - Valores de tensão *rms*, Máx, Mín e Médios medidos para a fase B, com intervalo de gravação de 10min.



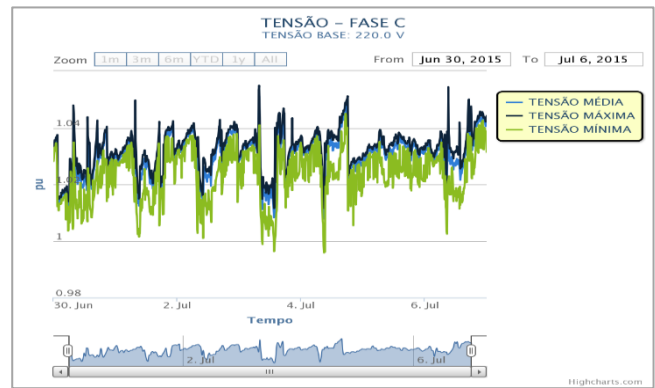
Fonte: Autores, (2016).

Tabela 2 - Valores Máx, Mín e Médios de tensão medidos fase B

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios
TENSÃO MÉDIA	1,0067	1,0555	1,0349
TENSÃO MÁXIMA	1,0103	1,0611	1,0371
TENSÃO MÍNIMA	0,9953	1,0482	1,0278

Fonte: Autores, (2016).

Figura 3 - Valores de tensão *rms*, Máx, Mín e Médios obtidos na fase C, com intervalo de gravação de 10min



Fonte: Autores, (2016).

Tabela 3 - Valores Máx, Mín e Médios de tensão obtidos na fase C

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios
TENSÃO MÉDIA	1,0078	1,0511	1,0303
TENSÃO MÁXIMA	1,0115	1,0549	1,0326
TENSÃO MÍNIMA	0,9959	1,0450	1,0234

Fonte: Autores, (2016).

Na Tabela 4 são apresentados os valores calculados para os índices de Duração Relativa de Transgressão de Tensão Precária (DRP) e Duração Relativa de Transgressão de Tensão Crítica (DRC), que comparados aos limites estabelecidos no Módulo 8 do Prodinst, irão caracterizar a conformidade ou não deste quesito no ponto de medição. Os índices NLP e NLC presentes nesta mesma tabela representam o maior valor entre as fases do número de leituras (n) situadas nas faixas precárias e crítica, respectivamente.

De acordo com os valores percentuais de DRP e DRC apresentados na Tabela 4, pode-se observar que os percentuais estão abaixo dos limites estabelecidos pelo PRODIST, ou seja, não houve registros de transgressões na tensão em regime permanente neste ponto de medição, estando, portanto, em conformidade com o módulo 8 do PRODIST.

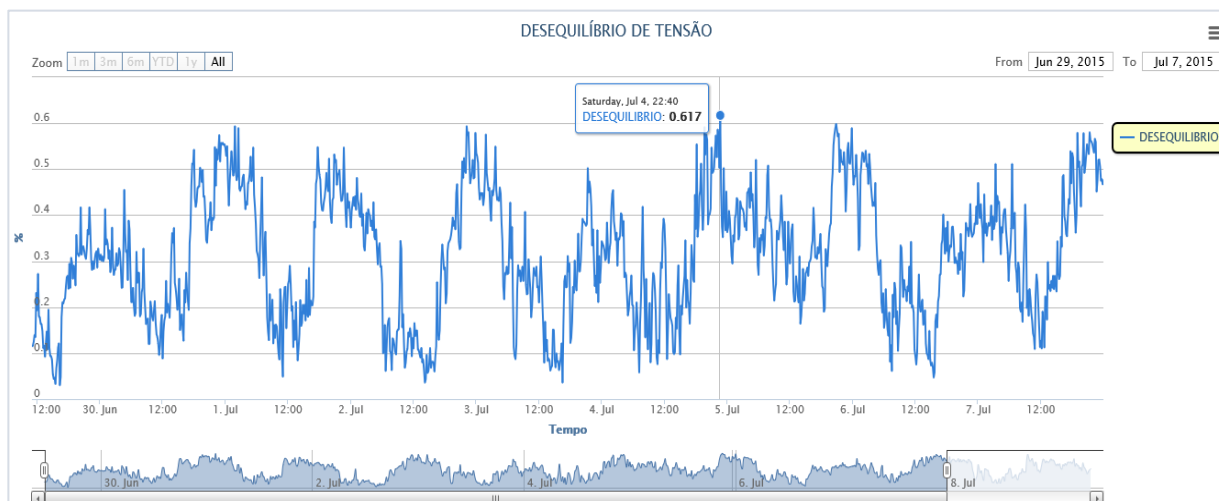
Tabela 4 - Valores de DRP e DRC calculados neste ponto de medição

	N	NLP	DRP (%)	N	NLC	DRC (%)
Fase A	0			Fase A	0	
Fase B	0	0	0	Fase B	0	0
Fase C	0			Fase C	0	

Fonte: Autores, (2016).

Com relação ao desequilíbrio de tensão, o ponto de medição analisado apresentou um valor abaixo do limite de 2% estabelecido pelo PRODIST Módulo 8/ANEEL, o método utilizado pelo instrumento de medição foi a relação entre a tensão de sequência negativa dividida pela tensão de sequência positiva. Ver Figura 4.

Figura 4 – Desequilíbrio de tensão, com intervalo de gravação de 10min.



Fonte: Autores, (2016).

3.2 Análise de Corrente em Regime Permanente

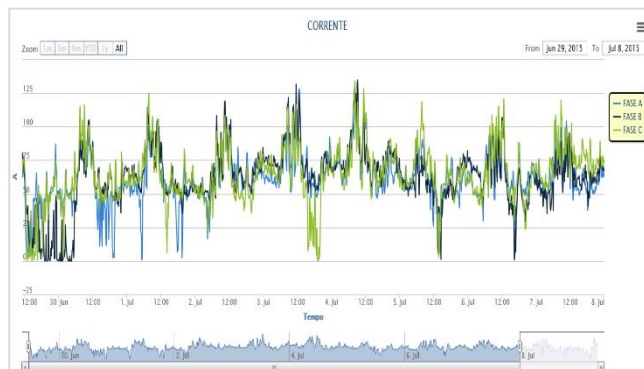
Esta análise tem o objetivo de verificar se existe alguma fase mais carregada que as outras, pois carregamento muito desigual entre fases causa desequilíbrio de tensão. Analisando a Figura 5, pode-se notar uma grande variedade no valor da corrente, devido a grande mudança de carga no decorrer do dia, não apresentando grandes diferenças entre os dias de semana típico e final de semana. Vale ressaltar também que os valores mais elevados de corrente geralmente ocorrem durante o período compreendido entre 9:00 horas e 12:00 horas, atingindo um valor máximo em torno de 134,8000 A na fase B. A Tabela 5 contém os valores máximos, mínimos e médios de corrente registrados durante o período da campanha de medição. Este item (corrente em regime permanente) é de responsabilidade da concessionária.

Tabela 5-Valores Máx, Mín e médios dos rms médios de corrente.

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios
FASE A	0,9000	127,9000	62,7170
FASE B	0,0000	134,8000	64,6136
FASE C	0,0000	133,8000	64,7710

Fonte: Autores (2016).

Figura 5 - Valores de corrente rms médios obtidos nas fases A-B-C.



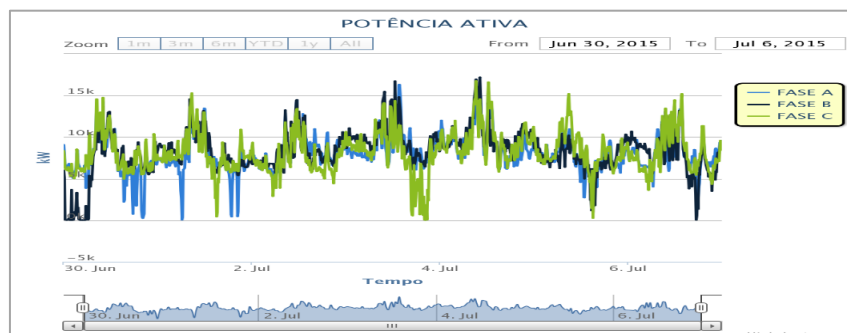
Fonte: Autores, (2016).

3.3 Análise da Potência Ativa, Potência Reativa e Fator de Potência em Regime Permanente

A Figura 6 apresenta um ciclo semanal do consumo da UC (Hotel Manaós). De acordo com a figura 6, verificou-se que os dias de semana não apresentaram significativas diferenças em relação ao final de semana, sendo o valores

máximos registrados iguais a 16,3 kW na fase A, 17,2 kW na fase B e 16,7 na fase C.

Figura 6 - Valores de potência ativa médios obtidos para as fases A-B-C, com intervalo de gravação de 10min.



Fonte: Autores, (2016).

Como pode ser visto na Figura 7, onde estão apresentados os valores de fator de potência para o referido ponto de medição, no período de 30 de junho à 7 de julho, verifica-se que em muitos momentos os valores se encontram abaixo de 0,92, sendo assim, ocasionando o aumento da

energia reativa indutiva e em poucos momentos ocasiona aumento da energia reativa capacitiva. Este item (potência reativa) é de responsabilidade da UC, é dever da UC controlar o FP, que é 0,92.

Figura 7 -Valores de FP médios obtidos para fases A-B-C, com intervalo de gravação de 10min.



Fonte: Autores, (2016).

3.4 Análise e Discussões de Distorções Harmônicas

As distorções harmônicas são causadas por cargas não lineares conectadas ao sistema de energia de energia elétrica, portanto este item é de responsabilidade da UC.

A taxa de distorção harmônica total de tensão (DTT%) das três fases no secundário do TRAFO (220V) da cabine dasubestação do hotel Manaós durante o período de medição

considerado, observou-se que os valores de DTT% de tensão ficaram abaixo do valor limite de 10%, portanto, em conformidade com o limite estabelecido pelo módulo 8 do PRODIST. A Tabela 6 contém os valores de DTT% máximos, mínimos, médios e percentis de 95% das distorções harmônicas totais de tensão, registrados neste período.

Tabela 6 – Valores Máx, Mín, médios e percentis de 95% de DTT%.

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios	Percentil (0.95)
FASE A	0,8900	2,5390	1,5519	2,1162
FASE B	0,6770	2,3690	1,3510	1,8796
FASE C	0,5900	2,2590	1,2345	1,7681

Fonte: Autores, (2016).

Para a análise de DHTi é necessário calcular a razão I_{cc}/I_0 , e analisar os limites de distorção para nível de tensão $\leq 69kV$, (pois a tensão base é 220V), de acordo com a norma IEEE Std 519, 1992. A taxa de distorção harmônica total de corrente (DHTi) das três fases do hotel Manaós durante o período de medição considerado, observou-se que os valores de DHT de corrente ficaram abaixo do valor limite de 12%, portanto, em conformidade com o limite estabelecido pela norma IEEE Std 519, 1992 para nível de tensão $\leq 69kV$ e $R = 83,53$, com percentis de 95% iguais a 11,05% na fase A, 11,75% na fase B e 10,05% na fase C. A Tabela 7 contém os

valores máximos, mínimos, médios e percentis de 95% das distorções harmônicas totais de corrente, registrados neste período. Apesar de os valores máximos das fases A, B e C estarem acima de 12%, para diagnóstico considera-se os valores médios medidos, pois a distorção harmônica é um fenômeno de regime permanente, como mostra a tabela 7 abaixo.

I_{cc} – Corrente de curto-circuito,

I_0 – Corrente fundamental

$R = I_{cc}/I_0 = 11.260,4/134,800 = 83,53$

Tabela 7 – Valores máximos, mínimos, médios e percentis de 95% de DHTi médios medidos.

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios	Percentil (0.95)
FASE A	3,6370	14,2450	7,6830	11,0489
FASE B	3,5820	15,1930	8,4705	11,7485
FASE C	2,9420	15,2630	6,7274	10,0511

Fonte: Autores, (2016).

Vale ressaltar que não houve registros de eventos, como afundamentos ou elevações de tensão, desequilíbrios de tensão, etc.

IV. CONCLUSÃO

O artigo aplica os procedimentos definidos no PRODIST sobre QEE, em especial a qualidade do produto, e caracteriza alguns fenômenos dentre aqueles apresentados no PRODIST/MODULO 8/ANEEL. De acordo com os resultados obtidos das análises das medições realizadas na UC (Hotel Manaós) somente a potência reativa indutiva não cumpriu o limite estabelecido pelo PRODIST/MODULO 8/ANEEL, mas na realidade esta infração não implica em penalidades para UC, pois para UCs do grupo B (grupo de baixa tensão) não há normas que regularmente estes limites.

Desta forma conclui-se que a proposta tem sua relevância, pois é aplicável à medida que os novos requisitos associados à QE entrem em vigência, dentre os quais pode se citar as distorções harmônicas, SAG e SWELL que passarão a ser cobrados às concessionárias de energia elétrica, ou seja, as distribuidoras de energia elétrica deverão se adequar a tais requisitos exigidos pelo ANEEL, obedecendo aos limites dos indicadores de qualidade de energia elétrica estabelecidos pelo PRODIST/MODULO 8/ANEEL, caso contrário, as empresas sofrerão penalizações por meio de elevadas multas.

V. AGRADECIMENTOS

Ao ITEGAM, UFPA, EST/UEA, UCLV-CUBA e a Eletrobrás Distribuição Amazonas pelo apoio a pesquisa.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia**

Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – **PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. V.6. Data de vigência: 01/01/2015.

AZEVEDO, M. S. S; ABRIL, I. P; LEITE, J.C; MEDEIROS, A. B de; MORAES, Nadime M.; REIS, Ana Maria. **Localização de banco de capacitores em circuitos de distribuição considerando restrições de distorção**

harmônica. Revista SODEBRAS – Volume 10. Nº 120. Dezembro/ 2015.

CIRINO, Weverson dos Santos. **Aplicação de filtro harmônico em sistemas elétricos de baixa tensão utilizando lógica fuzzy**. Pará: UFPA, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (ITEC), Pará, 2010.

GONÇALVES, Benevaldo Pereira. **Metodologia para diagnosticar a qualidade de energia elétrica referente à distorção harmônica em sistema trifásico de baixa tensão utilizando lógica fuzzy**. Pará: UFPA, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará (UFPA), 2010.

GRANDI, André Luís Zago de. **Metodologia para avaliação de distorção harmônica de corrente em transformadores de distribuição**. São Paulo: USP, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

HIOKI INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA. **Manual de operação do analisador de qualidade de energia HIOKI**. HIOKI E.E. CORPORATION, 2012.

IEEE Std. 100-2000. **The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms Seventh Edition**. December, 2000.

IEEE *Std. 519- - Institute of Electrical and Electronics Engineers. Harmonic limits discussion*. 1992.

LEITE, J.C. ABRIL, Ignácio Perez; AZEVEDO, Manoel Socorro Santos, NASCIMENTO, Manoel Henrique Reis do; MORAES, Nadime Mustafa; REIS, Ana Maria. **Projeto multicritério de filtros harmônicos passivos para instalações industriais utilizando técnicas de computação evolucionária**. ITEGAM-Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications. (ITEGAM-JETIA). Vol.01, No. 03, pp.52-60. Setembro, 2015.

SCOLARI, Bruno Sabino; CERQUEIRA, Fernando Bonancio; KRAVETZ, Peterson Luiz. **Caracterização dos**

problemas relativos à qualidade de energia elétrica causados por um forno de aquecimento a indução. Paraná: UTFPR, 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SEGURA, S.; DA SILVA, L.C.P.; ROMERO, R.; SALLES, D. **Strategic capacitor placement in distribution systems by minimization of harmonics amplification because of resonance, IET Generation, Transmission & Distribution** 6(7), (2012), 646–656.

SOUZA Wyrllen Everson de. **Análise das distorções harmônicas de tensão a partir de características dos transformadores e de dados de consumo.** Paraná: UFPR, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TAHER, Seyed Abbas; KARIMIAN, Ali e HASANI, Mohammad. **A new method for optimal location and sizing of capacitors in distorted distribution networks using PSO algorithm.** *Simulation Modelling Practice and Theory* 19(2), (2011), 662-672.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores, Jandecy Cabral Leite, Rivanildo Duarte Almeida, Manoel Socorro Santos Azevedo, Moisés de Araújo Santos, Worlen Ferreira Gimack são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.