

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MEDIÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CARGAS NÃO LINEARES DE ILUMINAÇÃO: MEDIÇÃO COMERCIAL X TEORIA CPT

MATEUS S. QUINALIA, VÍNICIUS H. F. BRITO, GUILHERME Y. KUME, MATEUS A. SACHETTI, ROBERTO P. B. SILVA

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso
Rua Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cuiabá – MT, CEP 78060-900
E-mails: viniciushfb2@gmail.com, guilhermeyujikume@hotmail.com,
mateusqinalia@gmail.com, mateus.sachetti@gmail.com,
perillo@ufmt.br

WESLEY A. SOUZA, LUIZ C. P. SILVA

DSE, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas
Avenida Albert Einstein 400, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas – SP, CEP 13083-852
E-mails: wesley@fc.unesp.br, lui@dsee.fee.unicamp.br

Abstract— Through laboratory measurements with compact fluorescent lamp and the tubular LED lamp and using meters and electric energy analyzers it was possible to measure power values of these loads, which were compared with the parameters presented through computer simulation based on Conservative Power Theory (CPT). This article discusses the difference between the values found by CPT and by commercial meters, with the focus on the reactive power value, because this power quantity is the greater divergence in results. Thereafter, analysis was performed regarding the impact of the discrepancy in electricity billing.

Keywords— Non-linear loads, electric energy, lamps, meter, power theory

Resumo— Através de medições de lâmpadas fluorescente compacta e LED tubular, realizadas em laboratório, e utilizando medidores e analisadores de energia elétrica, pôde-se aferir os valores de potências destas cargas, os quais foram comparados com os parâmetros apresentados através de simulação computacional com base na Teoria de Potência Conservativa (TPC ou CPT, em inglês). Este artigo discute a diferença entre os valores encontrados para a CPT e os dados dos medidores comerciais, com enfoque no valor da potência reativa, uma vez que esta grandeza é a que apresenta maior divergência entre os resultados. Além disso, foi realizada análise referente ao impacto desta discrepância no faturamento da energia elétrica.

Palavras-chave— Cargas não lineares, energia elétrica, lâmpadas, medidores, teoria de potência

1 Introdução

Nos últimos anos, a eletrônica de potência vem se desenvolvendo cada vez mais e, juntamente com os avanços tecnológicos de dispositivos semicondutores, microprocessados e microcontrolados, foram introduzidos novos equipamentos eletroeletrônicos nas unidades consumidoras (Mendonça, 2012), como por exemplo, as lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e as lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*).

A LFC contribui para uma maior eficiência energética, sendo mais econômica que a lâmpada incandescente e possuindo um maior tempo de vida útil (Galhardo e Pinho, 2008). A lâmpada LED é feita de um material semicondutor, portanto, apresenta baixa taxa de perda em relação a outros modelos de lâmpadas (Revista Sodebras, 2015). E mais, nos últimos anos, a característica luminosa desse tipo de lâmpada vem sendo consideravelmente melhorada, como por exemplo, o aumento do fluxo luminoso. Tais fatos contribuíram para que o interesse por esse dispositivo aumentasse notavelmente (Monteiro, 2015).

É também indispensável a análise da qualidade de energia elétrica destes equipamentos (Nascimento

et al., 2014). Estas cargas eletrônicas possuem a característica de não linearidade, provocando a distorção das formas de onda de corrente e tensão do sistema e, desta forma, gerando nos circuitos secundários de distribuição das concessionárias de energia, as chamadas frequências harmônicas (Oliveira e Vilela, 2015; Cerqueira *et al.*, 2006).

A não linearidade de cargas eletrônicas deve-se às interações dos componentes internos ao equipamento no decorrer do tempo. Alguns destes elementos podem variar em função da temperatura, saturação, tempo de operação ou curva de carga. Consequentemente, a forma de onda da corrente não possuirá mais um formato puramente senoidal, apresentando assim componentes harmônicas.

Esta característica não linear gera um elevado conteúdo harmônico de corrente no sistema elétrico de potência, que, ao nível de qualidade, resulta em distorções na tensão, redução do fator de potência e elevado nível de harmônicas múltiplas de três na corrente no neutro (Nascimento *et al.*, 2014; Irianto e Setiabudy, 2011). Tais fenômenos podem ocasionar superaquecimento de transformadores, explosão de bancos de capacitores, mau funcionamento de equipamentos utilizados na proteção de sistemas elétricos

(como disjuntores, fusíveis e relés), baixo rendimento de máquinas elétricas e afetam também os medidores de energia ativa e reativa, reduzindo sua vida útil e influenciando na medição, em função dos métodos utilizados atualmente (Nascimento *et al.*, 2014).

Nota-se que as formas de onda de múltiplas frequências vêm sendo cada vez mais comuns no setor elétrico. Sendo assim, o cálculo das potências para estes casos é um aspecto muito importante e, desta forma, existem diversas teorias de potência, na tentativa de compreender esse e diversos outros fenômenos. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as definições de potência ativa e aparente estão, atualmente, bem consolidadas (ANEEL, 2012). O principal ponto de discussão em sistemas não lineares se refere à potência reativa e ao fator de potência. Ou seja, não há um consenso quando se trata de potência reativa, com formas de ondas distorcidas. Logo, o foco da discussão deste trabalho refere-se à potência reativa e ao fator de potência.

Portanto, este artigo apresenta os resultados das grandezas elétricas a respeito de uma LFC e uma LED tubular, para a Teoria da Potência Conservativa (do inglês, *Conservative Power Theory* - CPT) (Tenti, Paredes e Mattavelli, 2011) e para medidores e analisadores de energia elétrica. Estes medidores mostram resultados muito similares ao analisador de qualidade de energia FLUKE 434, que está em conformidade com a norma IEEE 1459 (FLUKE, 2012) e foi utilizado como base no trabalho para a comparação com os valores encontrados através da CPT. O medidor FLUKE apresenta um parâmetro chamado potência não ativa, que se refere à toda parcela diferente da potência ativa e é numericamente igual a potência reativa, segundo os medidores comerciais utilizados pelas concessionárias distribuidoras de energia elétrica no Brasil, podendo-se inferir que os resultados referentes ao FLUKE podem ser aplicados aos medidores de forma geral. Por fim, faz-se uma comparação entre os resultados, destacando as diferenças entre si e os impactos em relação ao faturamento de excedentes de potência reativas.

2 Faturamento da Energia Reativa Excedente no Sistema Elétrico Brasileiro

O fator de potência de referência " f_R ", que pode ser indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, o valor de 0,92. Os artigos 96 e 97 da Resolução nº 414 da ANEEL estabelecem as cobranças no faturamento devido aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativa que excederem o limite permitido (ANEEL, 2010). Tem-se:

"Art. 96. - Para unidade consumidora que possua equipamento de medição apropriado, incluída aquela cujo titular tenha celebrado o CUSD, os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as seguintes equações:"

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^{n1} \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (1)$$

$$D_{RE}(p) = \left[\sum_{T=1}^{n2} \left(PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF(p) \right] \times VR_{DRE} \quad (2)$$

Sendo:

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

Adiante, as equações (1) e (2) serão utilizadas para indicar quais grandezas o consumidor está pagando por excesso de reativo. Frente à essas equações, tem-se outras abordagens para o cálculo da potência reativa, que permitem uma análise diferente da teoria IEEE 1459. Na seção 3 será apresentada a CPT, que permitirá a comparação e a discussão dos cálculos de reativos apresentados pela ANEEL.

3 Teoria da Potência Conservativa

Esta teoria, proposta por *Tenti et al.* (Tenti, Paredes e Mattavelli, 2011), visa generalizar as definições de potência e fator de potência para circuitos elétricos lineares e não lineares, balanceados e desbalanceados, sob condições distintas de fornecimento de energia, tratando cada distúrbio separadamente. A corrente é decomposta basicamente nas seguintes parcelas de corrente instantâneas:

- Corrente ativa (i_a): mínima corrente necessária ao consumo de uma dada potência ativa, em cada fase no circuito;
- Corrente reativa (i_r): responsável pelo fluxo mínimo de energia reativa por fase no circuito;
- Corrente residual (i_d): aquela que não transfere potência ativa, nem energia reativa. É a parcela de corrente que representa as não linearidades entre a tensão fornecida e a corrente consumida pela carga.

Nos circuitos polifásicos (com ou sem condutor de retorno), as parcelas de corrente ativa e reativa podem ainda ser decompostas em parcelas balanceadas e desbalanceadas:

- Corrente ativa balanceada (i_a^b): responsável pela transferência mínima da potência ativa coletiva da fonte para a carga, além de ser proporcional e estar em fase com a tensão;
- Corrente reativa balanceada (i_r^b): responsável pelo fluxo mínimo de energia reativa coletiva no circuito. Tal parcela de corrente pode ser distorcida e é sempre ortogonal à tensão;
- Corrente de desbalanço (i^u): é composta por uma parcela ativa e outra reativa ($i^{u^2} = i_a^{u^2} + i_r^{u^2}$), respectivamente, e representam os diferentes valores de condutância e reatividade equivalente por fase.

Para cada parcela de corrente, tem-se associada uma parcela de potência, obtida pelo produto entre o valor eficaz da tensão e o valor eficaz da corrente corresponde, como segue:

- Potência ativa ($P=VI_a^b$): é o consumo médio de potência do circuito, representando a realização de trabalho útil na carga.

- Potência reativa ($Q=VI_r^b$): parcela de potência característica que representa a defasagem entre tensões e correntes;
- Potência de desbalanço ($N = \sqrt{N_a^2 + N_r^2}$, na qual $N_a = VI_a^u$ e $N_r=VI_r^u$): parcela de potência que representa o desbalanço da carga. Este termo é nulo no caso de circuitos monofásicos;
- Potência residual ($D=VI_d$): parcela de potência consumida devido à presença de não-linearidades no circuito;
- Potência aparente ($A=VI$): potência total do circuito. Algebricamente, o quadrado da potência aparente é igual à soma dos quadrados de todas as parcelas mencionadas.

Além da análise dos circuitos através do cálculo das componentes das potências, estas ainda podem ser usadas para definir fatores de conformidade (ou desempenho), os quais permitem caracterizar as cargas, em função de suas condições de operação. Podem-se se citar como fatores:

- Fator de não linearidade (λ_D): será zero apenas se $i_d = 0$. Este fator representa a presença de potência de distorção;
- Fator de assimetria (λ_U): será zero somente se a carga for balanceada;
- Fator de reatividade (λ_Q): será zero na ausência de defasagem entre as tensões e correntes;
- Fator de potência (λ): é calculado considerando as potências ativa e aparente totais (coletivas).

Toda a formulação matemática para as parcelas de corrente, de potências e indicadores pode ser encontrada em (Tenti, Paredes e Mattavelli, 2011; Tenti *et al.*, 2011; Marafão *et al.*, 2013). A partir dos valores obtidos pela CPT, na seção 4 apresenta-se a comparação com os analisadores e medidores de energia.

4 Analisadores e Medidores de Energia Elétrica

O analisador de qualidade de energia FLUKE 434, que está em conformidade com a teoria IEEE 1459, apresenta um parâmetro chamado potência não ativa, sendo esta toda a parcela diferente da potência ativa. Como já comentado, esta potência reativa é numericamente igual a potência não ativa, segundo os medidores de energia elétrica.

5 Obtenção dos Dados

A medição das grandezas elétricas foi realizada em laboratório. Para garantir um sinal senoidal de tensão, foi utilizada uma Fonte CA Programável, modelo Chroma 61702. Foram adquiridos os sinais de tensão e corrente das cargas em estudos – LFC de 11 W e LED tubular de 11 W. Para isso, foi utilizado

o analisador de energia RMS, modelo MARH 21. As Figuras 1, 2 e 3 se referem às cargas utilizadas e analisador RMS.



Figura 1. Lâmpada fluorescente compacta (LFC) 11 W



Figura 2. Lâmpada LED tubular 11 W



Figura 3. Analisador de Energia RMS MARH 21

Com os dados coletados, foi realizada a modelagem da carga para, então, simular via software PSIM. Para tal simulação, foi criado um circuito com uma fonte monofásica e uma carga configurada com a forma de onda da corrente equivalente com as duas lâmpadas medidas. Desta forma, os parâmetros de tensão e corrente foram coletados no ponto de acoplamento comum, entre a fonte e a carga e tais parâmetros foram enviados a um bloco de medição das parcelas de potência da CPT (potência aparente, potência ativa, potência residual, fator de potência, fator de reatividade e fator de não linearidade). Além disso, foram analisados os dados medidos pelos aparelhos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Medidores e analisadores de energia utilizados

Analizador de Qualidade da Energia (FLUKE 434)
Medidor de Energia SAGA 1000 (Landis+Gyr)
Medidor de Energia SAGA 3000 (Landis+Gyr)
Medidor de Energia E34A (Landis+Gyr)
Medidor de Energia SL7000 (Actaris)

Os resultados obtidos através das medições em laboratório e das simulações, tais como potência ativa, potência reativa, fator de potência e outros parâmetros, se tornaram objetos de estudos para a formulação dos resultados e discussões.

6 Resultados e Discussões

Para ambas as lâmpadas, a taxa de amostragem dos gráficos foi de 210 amostras por ciclo (frequência de amostragem equivalente a 12,6 kHz). A primeira carga analisada foi a LFC que possui as formas de onda para corrente e tensão conforme Figura 4.

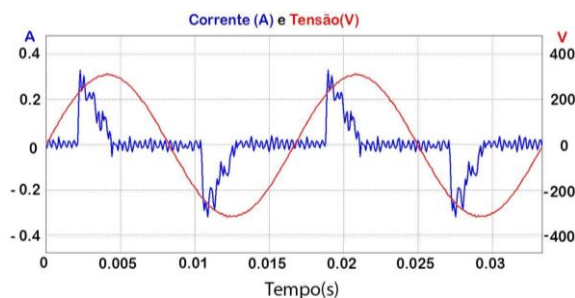


Figura 4. Corrente e tensão x tempo, na lâmpada LFC de 11 W

Conforme a Figura 4, a LFC possui uma forma de onda de corrente bastante distorcida, como mostram os resultados para a CPT e para os medidores - Tabela 2. Os valores das potências estão em pu (por unidade) tendo como base a potência aparente (A). Como pode ser visto na Tabela 2, os valores de potência ativa (P) e aparente (A) são os mesmos, tanto para a CPT, quanto para os medidores comerciais.

Tabela 2 - Lâmpada fluorescente compacta (LFC) 11 W

CPT		Medidores	
Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Potência Aparente (A)	1	Potência Aparente (A)	1
Potência Ativa (P)	0,56	Potência Ativa (P)	0,56
Potência Reativa (Q)	0,285	Potência Reativa (Q)	0,823
Potência Residual (D)	0,77	-	-
Fator de Potência (λ)	0,566	Fator de Potência (λ)	0,566
Fator de Reatividade (λ_Q)	0,450	-	-
Fator de não Linearidade (λ_D)	0,774	-	-

Logo, o fator de potência (λ) também será igual. O que difere bastante é o valor da potência reativa (Q). Isto se dá porque a CPT analisa um outro tipo de potência, chamada de potência residual (D), que está ligada diretamente à distorção na forma de onda da corrente. Assim, quanto maior for a distorção harmônica na corrente, maior será o valor desta potência. Além do mais, a CPT calcula outros dois parâmetros que demonstram a influência da potência reativa e da

potência residual na potência aparente. Tais fatores são: fator de reatividade (λ_Q) e o fator de não linearidade (λ_D) que neste caso é maior que a potência residual e mais significativo do que a potência reativa.

A segunda carga analisada foi a lâmpada LED, do tipo tubular. As formas de onda de tensão e corrente são apresentadas na Figura 5.

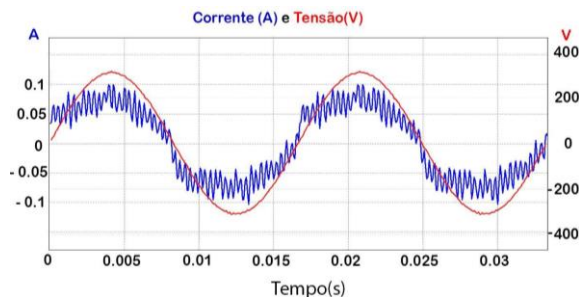


Figura 5. Corrente e tensão x tempo na lâmpada LED de 11W

De acordo com a Figura 5, nota-se que a distorção de corrente é menor que a corrente da LFC (Figura 4), uma vez que a corrente está mais parecida com uma onda senoidal e apresenta também componentes harmônicas. A Tabela 3 apresenta as grandezas elétricas medidas e calculadas para esta carga.

Tabela 3 - Lâmpada LED tubular 11W

CPT		Medidores	
Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Potência Aparente (A)	1	Potência Aparente (A)	1
Potência Ativa (P)	0,941	Potência Ativa (P)	0,941
Potência Reativa (Q)	0,142	Potência Reativa (Q)	0,337
Potência Residual (D)	0,306	-	-
Fator de Potência (λ)	0,941	Fator de Potência (λ)	0,941
Fator de Reatividade (λ_Q)	0,150	-	-
Fator de não Linearidade (λ_D)	0,306	-	-

Na Tabela 3, os valores de potência ativa (P), potência aparente (A) e fator de potência (λ) continuam iguais, e mesmo essa carga possuindo um alto fator de potência, a CPT identifica uma potência residual, mostrando que a potência reativa, segundo a CPT, é menor que a metade da potência reativa segundo os medidores comerciais. Este baixo valor está evidenciado no fator de reatividade e é compensado pelo valor apresentado no fator de não linearidade.

Para efeitos de tarifação, com base nas equações (1) e (2) apresentadas na seção 2, tanto para os medidores de energia, quanto para teoria CPT, o valor mensurado será o mesmo, pois apenas o fator de potência e a potência ativa são utilizados como base de cálculo. Mas, analisando o comportamento típico de uma unidade consumidora, com muitas cargas não lineares em que o fator de potência é similar ao da

LFC, a mesma deverá pagar pelo excedente de reativo e esse valor pago será o mesmo, independente das duas teorias apresentadas neste artigo, se for observado o Fator de Potência. Porém, segundo a CPT, o consumidor não estará pagando apenas o reativo, mas também a potência de distorção, ou seja, ele estaria pagando por excedentes além do estabelecido pela resolução normativa da ANEEL.

Isto ocorre porque os parâmetros utilizados para o cálculo do excedente de reativo (fator de potência e potência ativa), segundo a ANEEL, são suficientes para estimar a potência reativa. Porém, esse cálculo não faz a análise sobre a qualidade da energia elétrica, que deveria conter outras variáveis e fatores para quantificar o reativo e outras supostas grandezas.

O mesmo não ocorre na CPT, pois esta contém o fator de reatividade e não linearidade para a devida mensuração do fator de potência. Tanto a CPT, quanto os medidores de energia elétrica, confirmam ainda mais a necessidade de discussões sobre a potência reativa para diferentes cargas. A CPT apresenta o fator de potência correlacionado aos fatores de conformidade, conforme apresenta a equação (3) (Marañón *et al.*, 2013), que se leva em consideração os fatores de reatividade (λ_Q), de assimetria (λ_U) e de não linearidade (λ_D), que foram apresentados na seção 3.

$$\lambda = \sqrt{(1 - \lambda_Q^2)(1 - \lambda_U^2)(1 - \lambda_D^2)} \quad (3)$$

Considerando os fatores de conformidade da CPT, utiliza-se uma proposta para analisar a influência da potência reativa no fator de potência, em cargas com comportamento não linear. Para tal, deve-se desconsiderar o fator de não linearidade e o fator de assimetria da equação (3). Assim, o cálculo do fator de potência para o faturamento de reativos fica conforme a equação (4):

$$\lambda = \sqrt{1 - \lambda_Q^2} \quad (4)$$

O fator de potência, conforme a equação 4, para as duas lâmpadas, são apresentados na Tabela 4 e diferem do fator de potência convencional.

Tabela 4. Fator de potência para as duas lâmpadas de acordo com a equação (4)

	LFC	LED
λ	0.8928	0.9887

Conclui-se que, quando o fator de potência é calculado considerando apenas a interferência do reativo e não considerando a potência de distorção, a lâmpada LED teria um fator de potência acima do permitido, não existindo, portanto, o excedente de reativo. A LFC teria um fator de potência mais elevado, porém, ainda abaixo do regulamentado.

Logo, percebe-se que há uma incoerência na forma de medição e de faturamento existente, dado que em situações de cargas com presença de harmônicas, é cobrado, além dos excedentes de reativo, a distorção da forma de onda da corrente, através das parcelas ERE e DRE.

Ainda há muito que se discutir a respeito da definição da potência reativa e seu significado físico. Contudo, é inegável que há discrepâncias dos dados de medição, conforme apresentado neste artigo. Desta forma, este trabalho afirma a necessidade de estudos a respeito da metodologia utilizada para a tarifação, quando há sinais não senoidais envolvidos na medição.

7 Conclusões

Os dados expostos neste artigo revelam que, ao analisar uma carga com característica não linear, os efeitos desta não linearidade na medição da energia elétrica podem ser significativos. A influência desta grandeza na medição irá variar em função da sua magnitude. Essencialmente, discute-se a questão da parcela de potência denominada de reativa, utilizada para fins de faturamento da energia elétrica.

As análises mostraram que, aplicando-se a CPT, os dados medidos podem ser detalhados e, posteriormente, discutidos e interpretados de uma nova maneira. Já a teoria IEEE 1459 não permite a separação entre as grandezas de forma prática. Ou seja, nos atuais medidores comerciais de energia elétrica, a parcela de potência que não é ativa pode ser interpretada como reativa, englobando aqui a parcela de potência denominada não ativa.

Consequentemente, quando se calcula o fator de potência da unidade consumidora e em seguida os excedentes de reativo, a não linearidade da carga (distorções harmônicas) são embutidas na parcela a ser cobrada do consumidor, o que não está normatizado pela ANEEL e, portanto, é passível de discussões e, principalmente, de novos estudos.

No artigo também são realizadas simulações, utilizando para tal a teoria CPT, no intuito de discutir uma proposta de cálculo do fator de potência, utilizando apenas a parcela denominada de reatividade (λ_Q), eliminando assim, para esta finalidade, a influência da não linearidade (λ_D).

Conclui-se, portanto, que a proposta de cálculo do fator de potência com base na CPT altera, de maneira significativa, o valor do fator de potência medido, o que reforça a necessidade de continuidade dos estudos e discussões que estão sendo desenvolvidos a respeito deste tema, não somente em nível nacional, como também internacionalmente.

Referências Bibliográficas

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, (2010), Resolução Normativa nº 414 – ANEEL, Brasília.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, (2012). Nota Técnica nº 0083/2012 – SRD/ANEEL. Nota Técnica. Brasília.
- Cerqueira, A. S., Duque, C. A., Ribeiro, M. V. e Trindade, R. M., (2006). Sistema Digital de Detecção e Classificação de Eventos de Qualidade de Energia. IEEE Latin America Transaction, Vol. 4, No. 5.
- FLUKE, Fluke Corporation, (2012). Manual do Usuário: Analisadores de Qualidade de Potência e Energia Trifásicos.
- Galhardo, M. A. B. e Pinho, J. T., (2008). Mutual Influence between Harmonics and Nonlinear Loads. IEEE Latin America Transaction, Vol. 6, No. 7.
- Irianto, C. G. e Setiabudy, R., (2011). Design Dtz transformer that compatible with nonlinear load in modern electrical systems. 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI). Bandung, pp. 1-6.
- Marafão, F.P., Souza, W.A., Liberado, E.V., da Silva, L.C.P., Paredes, H.K.M., (2013), "Load analyser using conservative power theory," *Przeglad Elektrotechniczny*, Vol 12, pp 1-6, 2013.
- Mendonça, L., (2012). A força das águas. Revista O Setor Elétrico, Ed. 80.
- Monteiro, R. V. A., (2015). Lâmpadas Tubulares LED x Fluorescente – Estudos de Viabilidade, na Perspectiva da Qualidade da Energia e Eficiência Elétrica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá.
- Nascimento, C. F., Belati, E. A., Dietrich, A. B., Faria, H. e Goedtel, A., (2014). Evaluating Harmonic Voltage in Electric Distribution System due to Six-Pulse Static Power Converter. IEEE Latin America Transaction, Vol. 12, No. 6.
- Oliveira, M. F. e Vilela J. A., (2015). Active Filters for Harmonic Current Compensation in Low-Voltage Grid. IEEE Latin America Transactions, Vol. 13, No. 5.
- Revista Sodebras, (2015). Soluções para desenvolvimento do país. Vol. 10, No. 113.
- Tenti, P., Paredes, H. K. M., Marafão, F. e Mattavelli P., (2011). Accountability in Smart Microgrids Based on Conservative Power Theory. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, pp. 3058-3069.
- Tenti, P., Paredes, H. K. M. e Mattavelli, P., (2011). Conservative Power Theory, a Framework to Approach Control and Accountability Issues in Smart Microgrids. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.26, No.3, pp.664-673.