



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7483521>

DOI: 10.1109/TLA.2016.7483521

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2016 by Institute of Electrical and Electronics Engineers. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

The Influence of Compact Fluorescent Lamps in Power Measurement and Billing

R. P. B. Silva, V. H. F. Brito, E. O. P. Carvalho, M. M. David e M. S. Quinalia and L. C. P. Silva

Abstract— This article analyzes the influence of electronic loads, specifically compact fluorescent lamps, regarding the power quality, power measuring and billing system. The experiments were performed in a laboratory, consisting on connecting fluorescent lamps in parallel with a single-phase induction motor. It was observed that, given the current power billing and measuring systems, as well as the power quality analyzers, a compact fluorescent lamp has a capacitive characteristic behavior. Therefore, from a measuring perspective, this load can inject reactive power on the bus and, moreover, compensate the inductive power factor (in this case, of a single-phase induction motor). In conclusion, electronic loads cause harmonic distortion that interfere direct on the reactive power measurement and the power factor as well, causing certain inconsistencies in both measurement and power billing, as discussed in this paper.

Keywords— Non-linear loads, Measurement, Power, Power factor.

I. INTRODUÇÃO

O DESENVOLVIMENTO da eletrônica de potência, o avanço tecnológico de dispositivos semicondutores microprocessados e microcontrolados, verificado nos últimos anos, introduziram novos equipamentos eletroeletrônicos nas unidades consumidoras. Como por exemplo, as lâmpadas fluorescentes compactas (LFC), os reatores eletrônicos, condicionadores de ar acionados por conversor de frequência, microcomputadores e televisores com modernas fontes de alimentação a estado sólido. Os mesmos contribuem com uma maior eficiência energética, pelo fato de serem mais econômicos e possuírem um maior tempo de vida útil [1]. Entretanto, além da questão econômica, também deve ser considerada a qualidade da energia elétrica [2]. Todas estas novas cargas eletrônicas possuem em comum a característica de não-linearidade, isto é, provocam a distorção das formas de onda de corrente e tensão do sistema e geram, nos circuitos secundários [3] de distribuição das concessionárias de energia, correntes com frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental, as chamadas frequências harmônicas [4].

Isto ocorre porque essas cargas são compostas por vários componentes eletrônicos e as mesmas assumem um caráter não linear, quando se observa a forma de onda da tensão e corrente em cima desses equipamentos. Isso advém do fato de alguns componentes responderem de maneira bastante variável ao decorrer do tempo, em função da temperatura, saturação, tempo de operação e curva de carga. Assim, a forma de onda da corrente não tem mais um formato senoidal, se tornando agora bastante distorcida.

Estas cargas geram no sistema elétrico de potência um elevado conteúdo harmônico de corrente, resultando em distorções na tensão, redução do fator de potência, elevado nível de terceiro harmônico de corrente no neutro, superaquecimento de transformadores, aquecimento e possível explosão dos bancos de capacitores, mau funcionamento dos equipamentos utilizados na proteção de sistemas elétricos, como disjuntores, fusíveis e relés, baixo rendimento de máquinas elétricas, devido a esforços mecânicos adicionais e interferências eletromagnéticas, afetando, inclusive, os medidores de energia ativa e reativa, de forma a reduzir sua vida útil e introduzindo erros na medição, em função dos métodos atuais de medição. A regulamentação nacional para definição de valores referência dos indicadores de qualidade de energia elétrica [5], refere-se a presença de harmônicos no sistema elétrico de potência, bem como sua mitigação e mensuração [6], com o objetivo de determinar a origem dos fenômenos responsáveis pela deterioração dos equipamentos elétricos [7].

O cálculo das potências, considerando as formas de onda de múltiplas frequências da fundamental, é um assunto de grande discussão na área acadêmica e científica, existindo, dessa forma, diversas teorias, na tentativa de compreender esse fenômeno que, ultimamente, tem se tornado cada vez mais comum no setor elétrico. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [8], as definições de potência ativa e aparente estão, atualmente, bem consolidadas. O principal ponto de discussão, nesses casos, 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.

Portanto, este artigo apresenta um estudo sobre as características de uma carga não linear (LFC), a qual possui componentes semicondutores que produzem harmônicos [9], analisando os diversos fatores de qualidade da energia, assim como visa discutir os aspectos relacionados à medição deste insumo. Para tal, foram utilizados, além dos medidores comerciais das concessionárias distribuidoras, analisadores de qualidade da energia elétrica. Ao final, discute-se o comportamento da potência reativa e do fator de potência de um conjunto contendo um motor de indução monofásico (perfil indutivo), conectado em paralelo com 48 LFCs,

R. P. B. Silva, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, perillo@ufmt.br.

V. H. F. Brito, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, vinciushfb2@gmail.com.

E. O. P. Carvalho, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, etipon@hotmail.com.

M. M. David, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, david-matheus@hotmail.com.

M. S. Quinalia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, mateusquinalia@gmail.com.

L. C. P. Silva, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil. lcpdsilva@gmail.com.

analisando o impacto na medição de tais cargas, como também no faturamento da energia elétrica.

II. FATURAMENTO DA ENERGIA REATIVA EXCEDENTE NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Segundo a ANEEL [10], o fator de potência de referência “fr”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, o valor de 0,92. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativa que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos arts 96 e 97, a serem adicionadas ao faturamento regular.

“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:”

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

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

Sendo:

- E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “fr”, no período de faturamento, em Reais (R\$);
- $EEAM_T$ = montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);
- f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;
- f_T = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento;
- VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (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 “fr” no período de faturamento, em Reais (R\$);
- PAM_T = demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “T”, durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);
- $PAF(p)$ = demanda de potência ativa faturável, em cada posto 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 binômia;
- $n1$ = 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.

Para a apuração dessas grandezas, há também um período de 6 (seis) horas consecutivas (a critério da distribuidora) entre 23h 30min e 6h e 30min, no qual se considera apenas os fatores de potência “ft” inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de uma hora “T”. Ao período diário complementar, se considera apenas os fatores de potência inferiores a 0,92 indutivo, verificados no mesmo tempo.

III. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Durante as medições realizadas em laboratório, foram utilizados, além dos medidores e analisadores de energia, lâmpadas fluorescentes e um motor de indução monofásico, conforme consta na Fig. 1 e todas as especificações dos equipamentos estão mostradas na Tabela I.



Figura 1. Montagem experimental.

TABELA I. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.

Equipamentos
Fonte CA 127/220 V (rede da concessionária)
Lâmpada Fluorescente Compacta (20 W / 127 V)
Analisador 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)
Motor Weg (1/4 CV / 120 V)

O objetivo principal dos experimentos foi analisar a possibilidade de realizar a compensação reativa, ou seja, compensar o caráter indutivo de um motor, usando cargas predominantemente capacitivas como em, no caso, as LFCs. Primeiramente, energizou-se uma única lâmpada e foram analisadas as grandezas elétricas e alguns indicadores de qualidade da energia. Em seguida, energizou-se apenas o motor, repetindo os procedimentos adotados para a lâmpada. Posteriormente, foram adicionadas as LFCs, uma a uma, em paralelo com o motor em questão. Ao passo que cada lâmpada foi sendo adicionada, observaram-se as variações nas grandezas elétricas e parâmetros de qualidade da energia, até o processo atingir o total de 48 lâmpadas, as quais estavam disponíveis no momento dos experimentos. Os resultados e considerações dessas medições serão explanados logo a diante.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Fig. 2 apresenta os dados medidos pelo analisador de qualidade da energia, quando apenas uma LFC estava energizada, sendo alimentada pela rede da concessionária local.



Figura 2. Dados de medição da LFC.

A princípio constatou-se que há uma diferença entre o fator de deslocamento e o fator de potência, como mostra a Figura 2. Isso se deve aos efeitos causados pela característica não linear da lâmpada, ou seja, as harmônicas. Haja vista que, enquanto o fator de deslocamento representa o cosseno do ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente em 60 Hz (a frequência fundamental do Sistema Elétrico Brasileiro), o fator de potência leva em consideração todas as frequências presentes no sistema. Além disso, no caso do analisador de qualidade utilizado, o símbolo do “capacitor”, na mesma linha do kVar, indica que a lâmpada possui um caráter capacitivo, tendo uma potência reativa numericamente maior que a potência ativa [11].

Como mencionado anteriormente, a característica não linear da carga em questão causa uma elevada distorção na forma de onda da corrente, apresentando uma Distorção Total de Corrente (DTI) de 110,1 %, conforme exposto na Fig. 3. Já a Fig. 4 mostra que a forma de onda de tensão é praticamente senoidal. Ressalte-se que este sinal advém da concessionária local de distribuição.

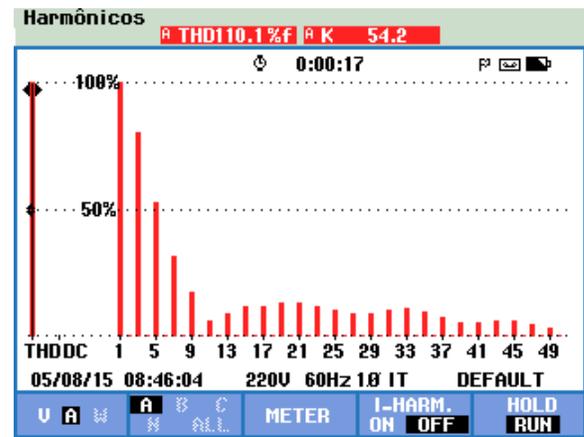


Figura 3. DTI da LFC.

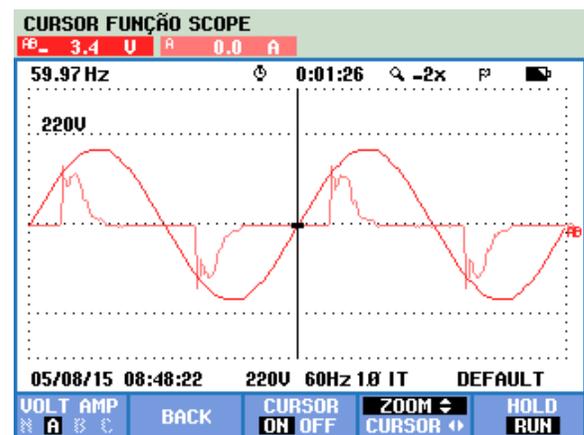


Figura 4. Forma de onda da tensão e corrente da LFC.

Portanto, perante o sistema atual de medição de energia elétrica, a carga em questão está injetando potência reativa no sistema elétrico, tendo assim um comportamento semelhante a um capacitor, como está ilustrado na Fig. 2. Em [12] e [13] são apresentadas medições de lâmpadas fluorescentes, onde estas estão de acordo com às apresentadas neste artigo. Destaca-se, nestes casos, que perante a medição, as lâmpadas também apresentam características capacitivas.

Considerando esses fatos, surge uma dúvida: é possível realizar a compensação de reativo de uma carga com predominância indutiva, utilizando lâmpadas fluorescentes compactas? Caso a lâmpada fosse uma carga linear, a questão levantada logo acima seria trivial. Entretanto, em virtude das formas de ondas de múltiplas frequências, geradas pela carga não linear, é necessária uma análise adequada e mais profunda acerca do assunto. É importante ressaltar que a análise terá como base o sistema atual de medição de energia elétrica. Ou seja, não é o foco deste artigo verificar se o protocolo de medição dos aparelhos está adequado, mas sim analisar e discutir o que os medidores e os analisadores estão mensurando.

Com esse propósito, utilizou-se um motor de indução, sendo este a carga indutiva que deverá ser compensada, além de 48 lâmpadas fluorescentes compactas, as quais serão empregadas para efetuar a suposta compensação de reativos.

As especificações, tanto do motor, quanto das lâmpadas, foram descritas na Tabela I.

Após energizar o motor, foram acrescentadas, consecutivamente e de uma em uma unidade, 48 lâmpadas em paralelo, realizando a leitura das medições em todos os instrumentos de medição citados, para cada incremento de lâmpada. Como houve concordância em todos os aparelhos de medição, para evitar repetição, serão ilustrados somente os dados do analisador de qualidade da energia da Fluke.

As Fig. 5 e Fig. 6 apresentam, respectivamente, o espectro harmônico da corrente, logo após a conexão do motor de indução em paralelo com o conjunto de 48 lâmpadas, assim como as formas de onda da tensão e corrente. Ressalte-se que, mesmo com a introdução de uma carga linear (motor), a DTI do conjunto permaneceu elevada, equivalente à 91,60 %.

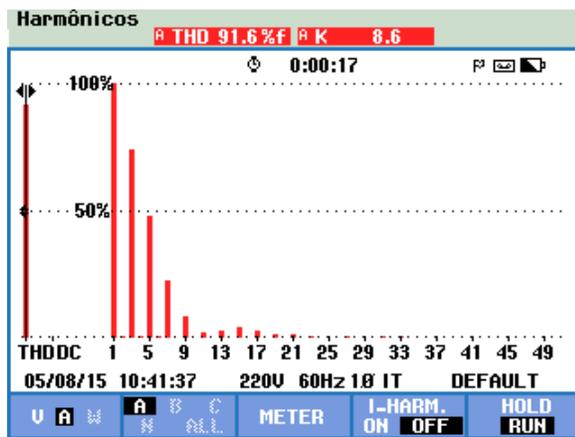


Figura 5. Distorção harmônica total de corrente do conjunto motor em paralelo com 48 LFCs.

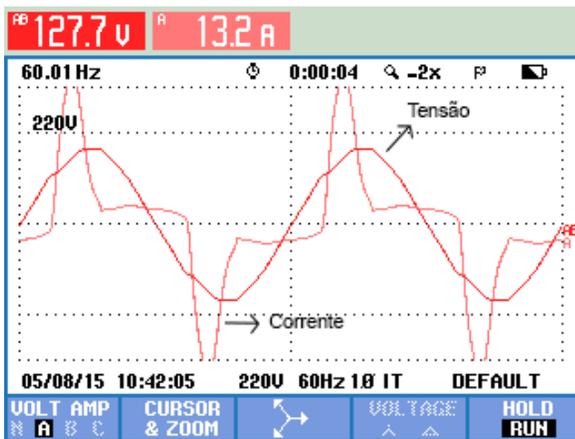


Figura 6. Formas de onda de tensão e corrente para o conjunto motor em paralelo com 48 LFCs.

Os medidores e analisadores de energia registraram um fluxo de potência reativa indutiva de 370 VAR, um fator de potência 0,40 indutivo e fator de deslocamento 0,40 indutivo, isso quando apenas o motor estava ligado, como ilustrado na Fig. 7. Após conectar o conjunto de 48 lâmpadas em paralelo, os aparelhos passaram a medir um fluxo de potência reativa capacitiva, com o valor de 1180 VAR, um fator de potência de

0,72 capacitivo e um fator de deslocamento unitário, como está ilustrado na Fig. 8.

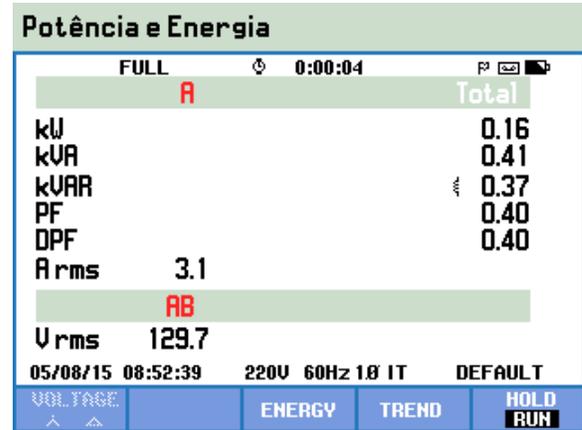


Figura 7. Grandezas elétricas medidas do motor.



Figura 8. Grandezas elétricas medidas do conjunto motor em paralelo com as 48 LFCs.

Comparando o início da medição, quando apenas o motor estava conectado, e o término, quando as 48 lâmpadas estavam conectadas em paralelo com o motor, é possível afirmar que, diante o atual sistema de medição de energia elétrica, o conjunto de LFCs gerou uma potência reativa capacitiva, que compensou o fator de potência do motor, o qual é predominantemente indutivo e que ainda foi capaz de alterar o perfil de carga do conjunto, deixando de ser indutivo e se tornando capacitivo, como apresentado na Fig. 7 e na Fig. 8.

Contudo, a Fig. 9, a Fig. 10 e a Fig. 11 mostram que o comportamento do sistema motor e lâmpadas foi bastante instável. Nota-se que, inicialmente, quando a quantidade de lâmpadas colocadas em paralelo com o motor foi menor que 30 unidades, tais cargas causaram um aumento da potência reativa, ou seja, as lâmpadas tornaram o conjunto de cargas ainda mais indutivo.

Porém, simultaneamente, ocorreu um aumento no fator de potência, que pode ser explicado devido ao acréscimo da potência ativa, que ocorreu com uma taxa de crescimento maior que da potência reativa. Após adicionar a 30ª lâmpada, as medições tornaram-se incompatíveis, sendo que alguns medidores informaram que o conjunto estava indutivo,

enquanto outros mostravam que era capacitivo. Especificamente, no caso do Fluke, o mesmo não indicava nenhuma das duas opções. A estabilidade retornou somente quando foi adicionada a 38ª lâmpada, onde todos os aparelhos de medição apresentaram que o sistema estava capacitivo.

Após esta etapa, o sistema tornou-se cada vez mais capacitivo, tornando-se estável, não tendo mais alterações no sinal da potência reativa da carga. Além disso, houve também a limitação da quantidade de lâmpadas disponíveis no laboratório e, por isso, a medição foi finalizada com 48 lâmpadas.



Figura 9. Comportamento da potência reativa do sistema.

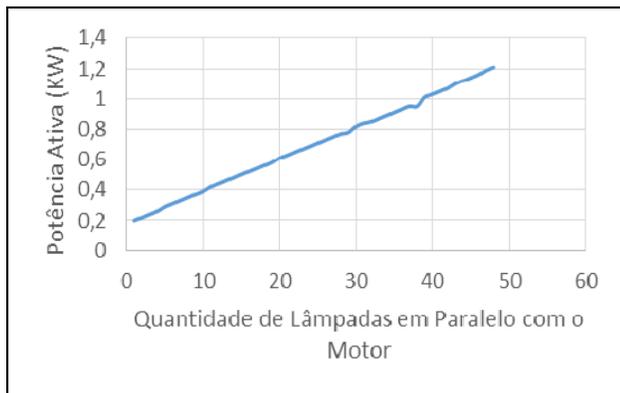


Figura 10. Curva da potência reativa em função do número de LFCs.

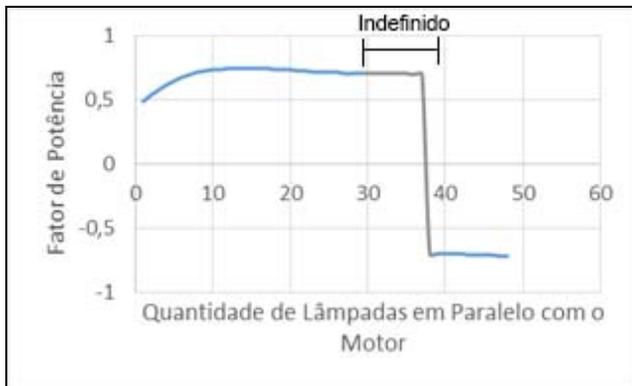


Figura 11. Curva do fator de potência em função do número de LFCs.

A Fig. 12 mostra que a característica do conjunto era indutiva até a 29ª lâmpada e, quando se adicionou a 38ª

lâmpada, o analisador registrou um fluxo de potência capacitiva, como aparece na Fig. 13. Entretanto, no intervalo entre as lâmpadas 29ª a 38ª, o analisador de energia não identificou a carga nem como capacitiva, nem como indutiva, como ilustrado na Fig. 14, a título de exemplo.



Figura 12. Grandezas elétricas medidas do motor em paralelo com 29 LFCs.

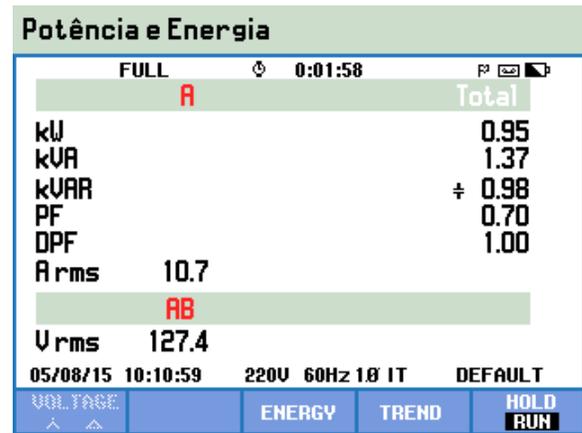


Figura 13. Grandezas elétricas medidas do motor em paralelo com 38 LFCs.

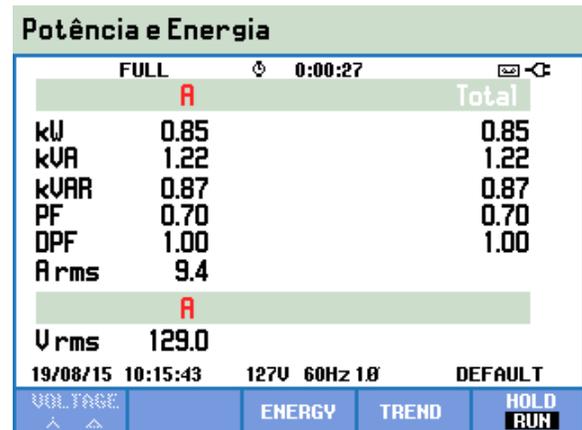


Figura 14. Grandezas elétricas medidas do motor em paralelo com 32 LFCs.

Conforme a Fig. 15, a Fig. 16 e a Fig. 17, observou-se que essa indefinição na potência reativa (nem capacitiva e nem indutiva), no intervalo entre a 29ª e a 38ª lâmpada, está relacionada com o ângulo entre a tensão e a forma de onda

fundamental da corrente, ou mais precisamente, com a imprecisão do sinal deste ângulo. Percebe-se que, quando o analisador de energia está medindo uma potência reativa indutiva (até a 29ª lâmpada), o diagrama fasorial está indicando um ângulo negativo, como mostra a Fig. 15, demonstrando o atraso da corrente, em relação à tensão. Mas, no momento em que o medidor passa a sinalizar uma carga capacitiva, o ângulo torna-se positivo (ainda que pequeno, em módulo), conforme a Fig. 16, o que mostra o adiantamento do sinal da corrente, em relação à tensão.

Entretanto, no intervalo entre as lâmpadas 29ª e 38ª, há uma indefinição, que ocorre no analisador de energia, onde o ângulo citado é zero – como demonstrado na Fig. 17 – ou tão próximo deste valor que o medidor não consegue medir com precisão. Desta forma, o aparelho não consegue identificar qual o sinal do ângulo e, assim, também não diferencia a carga entre capacitiva ou indutiva.

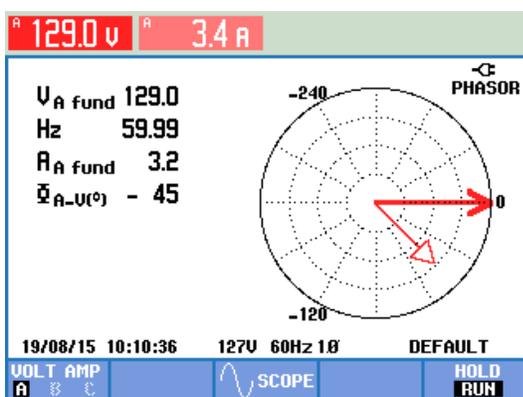


Figura 15. Diagrama fasorial do motor em paralelo com 29 LFCs.

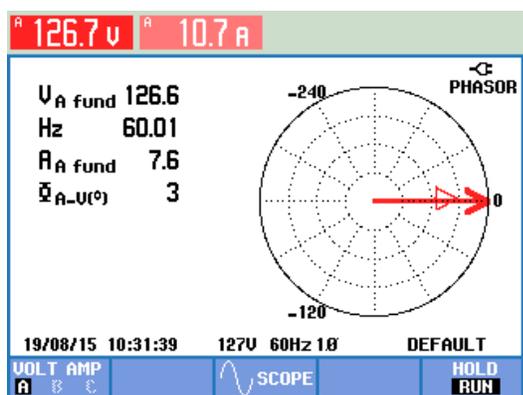


Figura 16. Diagrama fasorial do motor em paralelo com 38 LFCs.

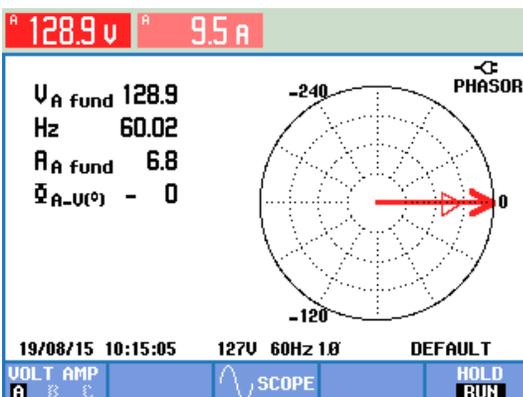


Figura 17. Diagrama fasorial do motor em paralelo com 32 LFCs.

A medição indica que uma LFC injeta um fluxo de potência reativa capacitiva, isso quando ela está conectada separadamente (sem o motor em paralelo). Entretanto, quando a carga luminosa é conectada ao conjunto, observa-se que o acréscimo de lâmpadas em paralelo com o motor ocasiona sempre um aumento no módulo da potência reativa.

Ou seja, até a 29ª lâmpada, o acréscimo das cargas luminosas causa um aumento na potência reativa indutiva. Assim, para o sistema de medição, é como se a lâmpada possuísse uma característica predominantemente indutiva. Porém, após a 38ª lâmpada, a potência reativa capacitiva torna-se maior com a adição de lâmpadas, isto é, o sistema de medição detecta que a mesma carga luminosa, nesta ocasião, tem um perfil de carga capacitiva. Portanto, é inegável que a distorção causada pela carga não linear influencia diretamente na medição da potência reativa e, consequentemente, no cálculo do fator de potência, o que irá interferir no faturamento das unidades consumidoras atendidas no Grupo A.

Verifica-se então que, quando há distorções harmônicas no sistema, no que tange a medição da energia elétrica, é inconveniente classificar a potência reativa e o fator de potência entre indutivo e capacitivo, uma vez que tais distorções interferem diretamente no valor destas grandezas, e esta não é ocasionada por elementos armazenadores de energia (indutor ou capacitor). Isso demonstra que o método atual utilizado pelo sistema de medição – através do ângulo entre a forma de onda da tensão e a forma de onda fundamental da corrente – para verificar se a carga que está sendo mensurada tem predominância indutiva ou capacitiva, é incongruente.

Em relação à tarifação, para consumidores do Grupo A, há uma parcela na qual é cobrado o excedente de reativo e, para isso, há uma diferenciação do reativo indutivo e capacitivo, em função do horário da cobrança. Entretanto, se as cargas de uma unidade consumidora forem predominantemente não lineares, as parcelas referentes à energia elétrica reativa excedente (Ere) e à demanda de potência reativa excedente (Dre) estarão sendo afetadas, não somente pelos elementos armazenadores de energia (indutor e capacitor), mas também devido a distorção harmônica presente no sistema, como foi citado no parágrafo anterior. Além disso, percebe-se que, na presença de cargas não lineares, é incoerente fazer a diferenciação entre o fator de potência capacitivo – no período de 6 (seis) horas consecutivas, a critério da distribuidora, entre 23h 30min e 6h e 30min, e fator de potência indutivo – no período complementar, uma vez que a distorção harmônica influencia significativamente nestas grandezas.

Ainda há muito o 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 foi 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. Entretanto, para os aparelhos de medição utilizados atualmente, nota-se que um conjunto de lâmpadas fluorescentes compactas consegue realizar a correção do fator de potência de uma carga indutiva.

V. CONCLUSÕES

Os dados expostos nesse artigo revelam o efeito que as cargas não lineares ocasionam na qualidade da energia elétrica de um barramento e a interferência que pode ocorrer no faturamento de tal grandeza, principalmente no que tange à medição da potência reativa e a classificação entre indutiva ou capacitiva. O experimento foi realizado em laboratório utilizando 48 lâmpadas fluorescentes compactas, conectadas em paralelo com um motor de indução monofásico.

Verificou-se também que, diante o atual sistema de medição de energia elétrica para fins de faturamento, foi possível realizar a compensação da potência reativa indutiva do motor, através das LFCs, sendo que após a ligação em paralelo das 48 cargas luminosas, o conjunto ficou com predominância capacitiva. Entretanto, a medição apresentou determinadas incoerências. Primeiramente, constatou-se uma mudança abrupta no perfil da carga vista pelo sistema. Além disso, observou-se que a distorção causada pela carga não linear ocasionou sempre um aumento no módulo da potência reativa, independente se o medidor indicasse que o sistema estava capacitivo ou indutivo.

As contradições em relação à medição da potência reativa causam impactos na tarifação, já que as parcelas referentes à energia elétrica reativa excedente (Ere) e à demanda de potência reativa excedente (Dre) utilizam o fator de potência para o cálculo e este é influenciado diretamente pelas distorções harmônicas. Assim, é de suma importância o desenvolvimento de estudos que analisem as diversas teorias de potência existentes, identificando qual apresenta um melhor significado físico das grandezas em questão e evitando assim as incoerências que a medição apresenta atualmente.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. B. Galhardo e J. T. Pinho. "Mutual Influence Between Harmonics and Nonlinear Loads." *IEEE Latin America Transaction*, Vol. 6, No. 7, Dezembro de 2008.
- [2] C. F. Nascimento, E. A. Belati, A. B. Dietrich, H. Faria e A. Goedtel. "Evaluating Harmonic Voltage in Electric Distribution System due to Six-Pulse Static Power Converters." *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 12, No. 6, Setembro de 2014.
- [3] M. F. OLIVEIRA E J. A. VILELA. "Active Filters for Harmonic Current Compensation in Low-Voltage Grid." *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 13, No. 5, Maio de 2015
- [4] A. S. Cerqueira, C. A. Duque, M. V. Ribeiro e R. M. Trindade. "Sistema Digital de Detecção e Classificação de Eventos de Qualidade de Energia." *IEEE Latin America Transaction*, Vol. 4, No. 5, Setembro de 2006.
- [5] ANEEL. "PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica", 2010.
- [6] ANEEL. "Resolução Normativa nº 414, de 9 de Setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica". Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa. Brasília, Setembro de 2010.
- [7] I. N. Santos, J. C. Oliveira e S. F. Silva. "Critical Evaluation of the Performance of the Method of Harmonic Power Flow to Determine the Dominant Source of Distortion."
- [8] ANEEL. "Nota Técnica nº 0083/2012 – SRD/ANEEL". Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica. Brasília, Junho de 2012.

[9] J. E. V. Fassarella, M. Z. Fortes, A. P. Frago e G. M. Tavares. "Analysis and Suggested Solution of Power Quality Problems in Lighting Laboratory." *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 12, No. 6, Setembro de 2014.

[10] W.A. Souza, F. P. Marafão, E. V. Liberado, I. S. Diniz e P. J. A. Semi. "Power Quality, Smart Meters and Additional Information from Different Power Terms." *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 13, No. 1, Janeiro de 2015.

[11] FLUKE. "Manual do Usuário. Analisadores de Qualidade de Potência e Energia Trifásicos." Fluke Corporation, Janeiro de 2012.

[12] A. F. H. Nohra, H. Y. Kanaan e K. Al-Haddad. "A Four-Leg Active Power Filter for Harmonic Mitigation and Reactive Power Compensation in Unbalanced Loads Systems using CFL Technology."

[13] A. F. H. Nohra, H. Y. Kanaan e K. Al-Haddad. "A Study on the Impact of a Massive Integration of Compact Fluorescent Lamps on Power Quality in Distribution Power System."



Roberto Perillo Barbosa da Silva, nascido em 29/08/1984 em São Bernardo do Campo-SP, é engenheiro eletricista (2009) e administrador (2011) pela Universidade Federal de Mato Grosso, e mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos (2011) pela Universidade Estadual de Campinas. Foi, de 2010 a 2014, engenheiro e coordenador de projetos na área de Gestão de Sustentabilidade, no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). Atualmente é professor assistente da Universidade Federal de Mato Grosso. Suas áreas de interesse são: eficiência energética, qualidade da energia elétrica e fontes de energia.



Vinicius Henrique Farias Brito nasceu em Rondonópolis MT, graduando de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Mato Grosso, e realiza pesquisa na área de Qualidade de Energia.



Etiane Oliveira Ponciano de Carvalho iniciou sua graduação em Engenharia Elétrica em 2013 pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Atualmente é aluna intercambista na Universidade do Missouri (MU), Columbia, Missouri, Estados Unidos. Suas pesquisas se concentram na área de qualidade de energia.



Matheus Martins David nasceu na cidade de Jauru, MT, é graduando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e realiza pesquisa na área de Qualidade de Energia Elétrica.



Mateus Siqueira Quinalia nasceu no estado de Goiás, atualmente é graduando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Suas pesquisas se concentram na área de qualidade de energia elétrica e simulações computacionais.



Luiz Carlos Pereira da Silva, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás (1994), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1997) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade estadual de Campinas (2001). Atualmente é professor associado ms5.2 da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica. Recebeu o prêmio de excelência acadêmica Zeferino Vaz da UNICAMP em 2012.