

# COMPARATIVO DOS DISTURBIOS CAUSADOS NA REDE DE ALIMENTAÇÃO PELO SISTEMA DE AR CONDICIONADO TIPO *SPLIT INVERTER* EM RELAÇÃO AO *SPLIT* CONVENCIONAL

Tiago Godoi Bueno Costa <sup>1</sup>

Fabiana Florian <sup>2</sup>

Cristiano Minotti <sup>3</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é comparar os distúrbios causados na rede elétrica de alimentação em virtude do funcionamento de condicionadores de ar *split* dos tipos convencional e *inverter*, no contexto da qualidade de energia elétrica, avaliando o consumo, qualidade de energia elétrica e os impactos causados pela presença de componentes harmônicas e potência reativa na rede elétrica, ocasionando interferências de funcionamento em outros equipamentos. Foi realizada pesquisa bibliográfica com foco em distúrbios causados na rede de alimentação pelo sistema de ar condicionado *split inverter* em relação ao *split* convencional. Análises preliminares constataram que o aparelho do tipo *inverter* injeta na rede de alimentação um fluxo de potência reativa e de componente harmônico, sendo similar ou maior do que o fluxo de potência ativa consumida, contribuindo negativamente para os índices de qualidade de energia.

**Palavras-chave:** *Ar Condicionado split, Ar Condicionado split Inverter, Inversor de Frequência, Qualidade De Energia, Componentes Harmônicas, Economia de Energia Elétrica.*

**Abstract:** *The objective of this work is to compare the disturbances caused in the power grid due to the operation of split and conventional air conditioners, in the context of the quality of electric energy, evaluating the consumption, quality of electric energy and the impacts caused by presence of harmonic components and reactive power in the electrical network, causing interferences of operation in other equipment. Preliminary analyzes have shown that the inverter type injects a reactive power and harmonic component into the supply network, being similar to or greater than the active power flow consumed, contributing negatively to the energy quality indices.*

**Key-words:** *Split Air Conditioner, Split Inverter Air Conditioner, Frequency Inverter, Energy Quality, Harmonic Components, Electrical Energy Saving.*

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara – Uniara – Araraquara – SP  
E-mail: tiagogbc@hotmail.com

<sup>2</sup> Coorientadora, Docente do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara – Uniara – Araraquara – SP - E-mail: fflorian@uniara.com.br

<sup>3</sup> Orientador, Docente do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara – Uniara – Araraquara – SP - E-mail: cristiano\_uniara@yahoo.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a qualidade da energia elétrica tem apresentado níveis diferentes em relação ao considerado como ideal. Isto é resultado de um aumento expressivo na quantidade de cargas não lineares conectadas ao sistema de fornecimento de energia elétrica. As cargas não lineares podem, por sua vez, causar grandes interferências no sistema elétrico de energia, comprometendo o funcionamento e até mesmo a integridade física dos componentes eletrônicos internos de outros equipamentos eletro eletrônicos conectados no mesmo sistema de alimentação de energia, principalmente sendo aqueles com tecnologia mais moderna e tendo a presença da eletrônica de potência no circuito, que geralmente são os equipamentos que mais sofrem interferência no funcionamento, pois são mais sensíveis à qualidade da tensão de alimentação[1].

Com a evolução da eletrônica de potência foi possível flexibilizar o funcionamento e aumentar a gama de funcionalidades em vários equipamentos elétricos e eletroeletrônicos, e uma das aplicações da eletrônica de potência que é encontrada hoje no mercado é o ar condicionado *split Inverter*, sendo uma versão mais atual do seu antecessor, o *split* convencional.

O ar condicionado *split inverter* é dotado de um retificador de onda completa com capacitor para conexão do sistema de alimentação elétrica que por sua vez é conectado a um inversor de frequência. O inversor de frequência possibilita a variação da velocidade de funcionamento do compressor da unidade condensadora, logo oferece uma refrigeração mais rápida, mantendo-a constante e com pouca oscilação de temperatura e oferecendo economia no consumo de energia elétrica [2].

Pelas características do circuito de entrada do inversor de frequência, este causa distúrbios e interferências no barramento elétrico, resultando em vários problemas. O objetivo deste trabalho é comparar os distúrbios causados na rede elétrica pelo funcionamento do aparelho de ar condicionado *split* do tipo convencional e *inverter*, no contexto da qualidade de energia elétrica, avaliando o consumo, a qualidade de energia entregue e os impactos causados pela presença de componentes harmônicas e potência reativa na rede elétrica, ocasionando interferências no funcionamento de outros equipamentos, e bem como na questão de faturamento normatizado pelas concessionárias. Em relação ao *inverter* o chaveamento para o acionamento do compressor do ar condicionado convencional causa distúrbios na linha de alimentação, mesmo que por curto período. Em contrapartida os múltiplos chaveamentos causados pelo inversor de frequência causam maiores níveis de harmônicas na rede, o que pode interferir diretamente no funcionamento de outros equipamentos mais sensíveis conectados à mesma linha de alimentação.

Neste contexto, a qualidade da energia elétrica residencial tem se tornado cada vez mais importante, sendo que sua ausência, poderão então até ocasionar danos em outros equipamentos mais sensíveis.

Apesar das vantagens sobre a economia de energia oferecida pelo funcionamento do ar condicionado *inverter*, esses distúrbios que são causados durante o seu funcionamento poderão levar os órgãos regulamentadores num futuro próximo a avaliar o contexto energético geral para novas condições na modalidade de fornecimento de energia, e talvez até rever as normas atuais, a fim de melhorar a qualidade da energia elétrica no âmbito residencial e comercial, já que o controle de qualidade de energia é obrigatória na modalidade industrial.

A instalação de filtros de componentes harmônicas pode ser uma possibilidade para reduzir e controlar os valores da distorção harmônica causada pelo funcionamento do ar condicionado *split inverter*. A presença do filtro no circuito evitaria que as componentes harmônicas circulem pelo barramento elétrico. O filtro a ser aplicado deve ser analisado e

dimensionado de acordo com a necessidade, podendo ser ativo ou passivo conforme melhor atender a necessidade da aplicação [14].

## **2. AR CONDICIONADO *SPLIT INVERTER* E CONVENCIONAL**

Atualmente a eletrônica de potência vem sendo aplicada em um dos eletrodomésticos que cada vez mais vem se tornando popular nas residências: o ar condicionado *split*. Dentre as opções, há o modelo *inverter*, dotado de um inversor de frequência, que permite variações na velocidade do compressor rotativo da unidade condensadora, conforme a necessidade de refrigeração do ambiente. Com o inversor de frequência, o compressor rotativo do aparelho permite a capacidade de alcançar a temperatura desejada em menor tempo e mantê-la constante, com baixa variação no consumo de energia. A economia do ar condicionado *inverter* é em torno de 40% [1] até 60% dependendo a marca e modelo se comparado com o modelo convencional [2]. O sistema *inverter* tem por característica no seu funcionamento uma menor oscilação na temperatura, resultando em mais economia em comparação ao convencional [4], proporcionando também maior conforto aos usuários [5]. Entretanto, o custo do sistema do ar condicionado *inverter* é superior ao modelo convencional, devido a tecnologia empregada para as características já citadas. Além disto, o ar condicionado utiliza gás de refrigeração ecológico como o R-410A, que não faz emissão de CFC (Clorofluorcarbono), sendo um dos responsáveis pelas agressões na camada de ozônio [6].

O nível de ruído ocasionado durante o funcionamento do *inverter* é inferior se comparado ao funcionamento do *Split* convencional. Devido as variações de velocidade que possibilitam o compressor operar em baixa rotação quando atinge a temperatura desejada, o inversor de frequência reduz potencialmente o ruído do compressor. Com essas características o *split inverter* tem assumido a preferência por parte dos consumidores nas aplicações residenciais e comerciais, resultando em parcela significativa de carga no sistema elétrico de potência [2].

Compreende-se que a presença da eletrônica aplicada no ar condicionado *split inverter* pode influenciar diretamente na alteração da medição dos valores da energia elétrica reativa excedente pois, em tese, a injeção de reativo capacitivo no barramento contribui para a variação no fator de potência registrado a cada hora. Devido a essas características encontram-se na literatura duas vertentes a serem analisadas: a primeira é de que maneira e o quão considerável será a influência destes distúrbios no sistema elétrico; a segunda está propensa para o método de medição de componentes harmônicas, potência reativa e conseqüentemente o valor do fator de potência por parte dos medidores eletrônicos de faturamento quando existe a presença de cargas com forte característica não-linear [3].

## **3. COMPARATIVO DO CONSUMO DOS DOIS MODELOS**

Na década de 1970, os compressores rotativos e semi-rotativos tinham forte predominância na indústria de refrigeração, sendo aplicado nos refrigeradores domésticos e até em câmaras frigoríficas. Na época com o aumento do preço dos combustíveis e a pressão cada vez maior para o uso racional de energia elétrica, foi necessário encontrar alternativas de compressores de alta eficiência. Deste modo com o passar dos anos, houve um grande avanço na tecnologia envolvida na fabricação e na composição dos compressores resultando em equipamentos mais eficientes e com menor consumo de energia. Atualmente o compressor de sistema rotativo (*scroll*) tem predominado no mercado de condicionadores de ar, tendo como benefício baixo ruído durante o funcionamento e tem maior durabilidade em relação ao compressor rotativo [15].

Os aparelhos de ar condicionado tem se tornado cada vez mais eficientes tanto no aspecto energético, quanto na eficiência em refrigeração. Com tecnologias mais recentes, foi possível desenvolver aparelhos cada vez mais compactos, versáteis e silenciosos [8]. Além disto, com o avanço e desenvolvimento da eletrônica de potência foi possível obter mais versatilidade no funcionamento do compressor rotativo, com o uso do inversor de frequência.

Através da tecnologia *inverter*, o compressor rotativo da unidade externa funciona apenas na velocidade necessária para obter o aquecimento ou resfriamento do ambiente onde se encontra a unidade interna, tendo por resultado uma baixa oscilação de temperatura.

A unidade externa suporta temperaturas extremas, tendo uma operação regular, sem causar picos de energia elétrica, e a temperatura desejada do ambiente é alcançada mais rapidamente do que em comparação com o *split* convencional [7].

A Figura 1 mostra a dinâmica durante o funcionamento do compressor do modelo *split inverter* em relação ao *split* convencional, a dinâmica do compressor tem relação direta com variação da temperatura do ambiente.

Figura 1. Gráfico da dinâmica do compressor em relação à temperatura do ambiente.

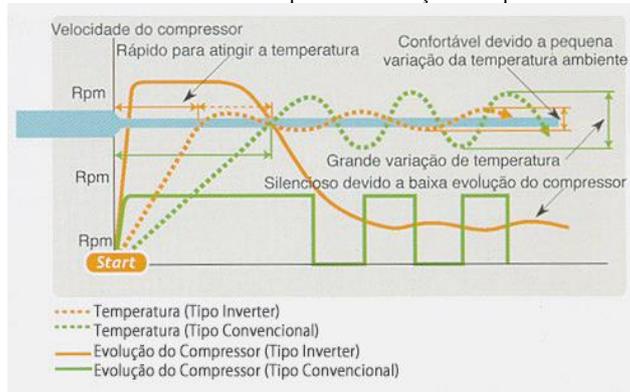


Figura 1- Fonte: Fujitsu sistemas de condicionamento de ar [7].

O Quadro 1 apresenta um comparativo entre as características do modelo *inverter* e do modelo convencional quanto a (o): controle de temperatura, consumo de energia, operação, nível de ruído. Destaca-se neste comparativo que o controle de temperatura é a característica mais importante por proporcionar mais conforto.

Quadro 1: Comparativo entre sistema inverter e Convencional

|                         | <b><i>Inverter</i></b>   | <b>Convencional</b>   |
|-------------------------|--|---|
| Controle de temperatura | Atinge rapidamente a temperatura desejada.   | É necessário algum tempo para atingir a temperatura desejada.                                 |
|                         | Temperatura desejada é mantida constante com pouca oscilação   | A temperatura ambiente oscila (+/-2°C) próximo a temperatura desejada.                        |
| Consumo de energia      | Até 40% menor que o convencional.  | Maior consumo elétrico.   |
|                         | Alta eficiência e economia de energia.   |   |
| Operação                | Compressor opera variando a rotação em função da temperatura desejada.   | Compressor liga ou desliga para manter a temperatura ambiente próxima a temperatura desejada. |
|                         | Aumento gradativo na rotação do compressor evitando picos de energia.  | Compressor com partida direta, picos de energia.  |
| Nível de ruído          | Menor que o convencional.  | Nível de ruído normal do sistema.   |
|                         | Com a temperatura estabilizada, o compressor opera em baixa rotação, reduzindo mais ainda o ruído da condensadora. | Compressor liga e desliga.  |

Fonte: Fujitsu sistemas de condicionamento de ar [7].

## 4. COMPARATIVO DOS DISTÚRBIOS CAUSADOS NA REDE ELÉTRICA DURANTE O FUNCIONAMENTO DOS DOIS MODELOS

### 4.1 Faturamento de Energia reativa Excedente no Sistema Elétrico Brasileiro No Brasil

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável por normatizar o setor elétrico no Brasil e qualifica os consumidores de energia elétrica em 2 grupos distintos, sendo Grupo A e B, e, para esses grupos, são estabelecidas normas de consumo. As condições gerais de fornecimento de Energia Elétrica são determinadas pela Resolução Normativa n 414, de 2010 [9].

O artigo 95 da Resolução Normativa nº414/2010, p. 69 estabelece que “O fator de potência de referência “ $f_R$ ”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, 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 de unidades consumidoras do grupo A, incluídas aquelas que optarem por faturamento com aplicação da tarifa do grupo B nos termos do art. 100.” (Resolução Normativa nº414, 2010, p. 70) [9]

“Art. 96. - Para unidade consumidora que possua equipamento de medição apropriado, incluída aquela cujo titular tenha celebrado o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição - CUSD, os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as seguintes equações:” (Resolução Normativa nº414, 2010, p. 70-72) [9]

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

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

Sendo:

- ERE: 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\$);
- EEAMT: 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;
- VRERE: valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatthora (R\$/MWh);
- DRE(p): valor, por posto tarifário “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\$);
- PAMT: 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 tarifário “p” no período de faturamento, em quilowatt (kW);
- VRDRE: valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário 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 tarifário “p”;
- T: indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;
- p: indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia;
- $n_1$ : número de intervalos de integralização “T” do período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta;
- $n_2$ : número de intervalos de integralização “T”, por posto tarifário “p”, no período de faturamento. (Resolução Normativa nº414, 2010, p. 70-72) [9].

Portanto, por mais que o valor a ser pago seja referente ao Reativo Excedente, este é proporcional ao montante da energia elétrica Ativa medida no intervalo de tempo referente à medição e a relação do fator de potência de referência com o fator de potência da unidade consumidora.

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 “ $f_T$ ” 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 [3].

Conforme apresentado, devido à natureza eletrônica do ar condicionado com tecnologia *inverter*, compreende-se que o mesmo pode influenciar de forma direta na medição dos valores da energia elétrica reativa excedente, em princípio, a injeção de reativo de característica capacitiva contribui para a alteração do fator de potência registrado a cada hora [3].

#### 4.2 Distorções Harmônicas no Sistema Elétrico

Conforme a ANEEL, em 2008, o documento “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, está dividido em módulos, sendo que entre os 9 módulos publicados, o 8º módulo, refere se a Qualidade da Energia Elétrica [11], onde o mesmo apresenta valores de referência para Distorções Harmônicas de Tensão-DHT no sistema elétrico de distribuição (Tabela 1)

Tabela 1. VALORES DE REFERÊNCIA DE DHT

| Tensão Nominal do Barramento                  | Distorção Harmônica Total de Tensão [%] |
|---|---|
| $V_n \leq 1 \text{ kV}$                       | 10                                      |
| $1 \text{ kV} \leq V_n \leq 13,8 \text{ kV}$  | 8                                       |
| $13,8 \text{ kV} \leq V_n \leq 69 \text{ kV}$ | 6                                       |
| $69 \text{ kV} \leq V_n \leq 138 \text{ kV}$  | 3                                       |

Fonte: ANEEL, página 23 [11]

Para a unidade consumidora de energia elétrica do grupo A (alta tensão), a tensão recebida é igual ou superior a 2,3 kilovolts (kV), e o grupo B (baixa tensão) recebe tensão inferior a 2,3 kV [10].

Para medições específicas na alimentação do equipamento, foram utilizados aparelhos de alta confiabilidade [3], sendo eles:

- Analisador de Energia, Harmônicas e Oscilografia de Perturbações. RMS Marh 21

Segundo fabricante do equipamento, trata-se de um

“Registrador digital portátil e robusto, trifásico, programável, destinado ao registro de tensões, correntes, potências, energia, harmônicas e oscilografia de perturbações em sistemas elétricos de geração, consumo e distribuição assim como circuitos de alimentação de máquinas elétricas em geral.” [12].

Figura 2. RMS Marh 21



Fonte: RMS [14].

- Analisador de Energia Fluke 434 série II

Segundo o fabricante do equipamento,

“trata-se de um analisador energia, tendo por algumas funções avaliar e mensurar componentes harmônicas presentes no circuito elétrico, energia reativa, fator de potência entre outras funções referentes a qualidade de energia [13].”

Figura 3. Analisador de Energia Fluke 434 série II



Fonte: Fluke [13]

Com esses dois equipamentos foi possível medir e registrar as grandezas inerentes à qualidade de energia na entrada de alimentação do equipamento a ser analisado (sistema de ar condicionado *split*, tipos convencional e *inverter*).

## 5. MEDIÇÕES E RESULTADOS

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é analisar os distúrbios causados na rede elétrica como componentes harmônicas, potência reativa e o fator de potência, tendo o auxílio dos equipamentos o Analisador de Energia Fluke 434 série II e o Analisador de Energia, Harmônicas e Oscilografia de Perturbações RMS Marh 21, durante o funcionamento do ar condicionado *split inverter* em comparativo com o *split* convencional, onde é possível encontrar com facilidade nas unidades consumidoras dos grupos A e B.

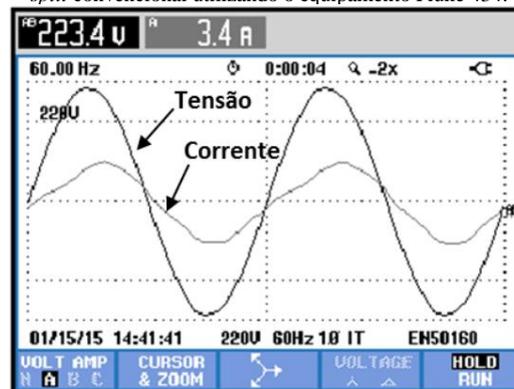
Os equipamentos que foram submetidos aos testes foram: Aparelhos de ar condicionado *split* de 9.000BTU/h com alimentação de 220V sendo um com tecnologia *inverter* e o outro convencional [3].

As medições foram realizadas analisando a forma de onda de tensões, corrente, potência reativa e Ativa e também o fator de potência dos dois aparelhos de ar condicionado.

### 5.1 Ar condicionado *split* Convencional

Durante o funcionamento foi possível analisar as formas de ondas da tensão e de corrente elétrica demonstrado na Figura 4, referente ao circuito de alimentação *split* convencional.

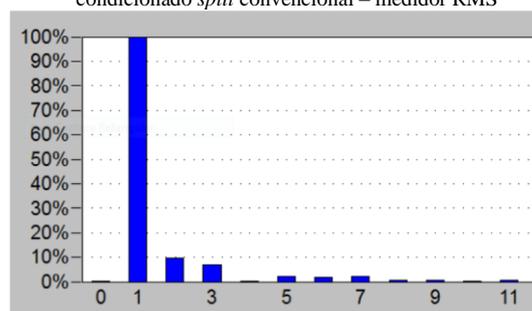
Figura 4. Forma de onda de tensão e corrente do *split* convencional utilizando o equipamento Fluke 434.



Fonte: SANTILIO [3]

Analisando-se a Figura 4 é possível notar que a forma de onda de tensão é muito próxima ao formato de uma senóide. Com o auxílio do RMS Marh21 é possível analisar que a forma de onda da corrente demonstrou uma distorção harmônica total (DHT), como mostra o espectro harmônico da corrente da Figura 5.

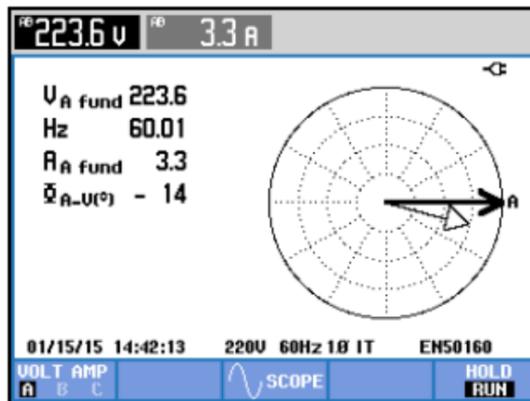
Figura 5. Espectro harmônico da corrente do ar condicionado *split* convencional – medidor RMS



Fonte: SANTILIO [3]

A Figura 6 apresenta o diagrama fasorial da tensão e corrente do circuito elétrico onde alimenta o *split* convencional durante os testes, sendo possível verificar que corrente está atrasada em relação à tensão. O diagrama foi obtido através do equipamento Fluke 434.

Figura 6. Diagrama fasorial. Captura de tela do Fluke 434.



Fonte: SANTILIO [3]

Os cálculos mostrados nas equações 3, 4 e 5 comprovam os dados apresentados na Figura 6 e 7.

$$P = \frac{(V * A)}{1000} = \frac{(223.6V * 3.3A)}{1000} = 0,737kW \quad (3)$$

$$S = \frac{P}{\text{Cos}(\phi)} = \frac{0,737}{\text{Cos}(-14)} = 0,759 \text{ kVA} \quad (4)$$

$$f_p = \frac{P}{Q} = \frac{0,737}{0,759} \approx 0,97 \quad (5)$$

Sendo:

- P = Potência Ativa (W);
- S = Potência Aparente (VA);
- $f_p$  = Fator de Potência;
- $\phi$  = Ângulo de fase.

A Figura 7

...mostra que o fluxo das potências ativas e reativas no barramento caracteriza uma absorção de 700W de potência Ativa e 200VAr de potência reativa indutiva da rede de energia elétrica da concessionária [3],

e

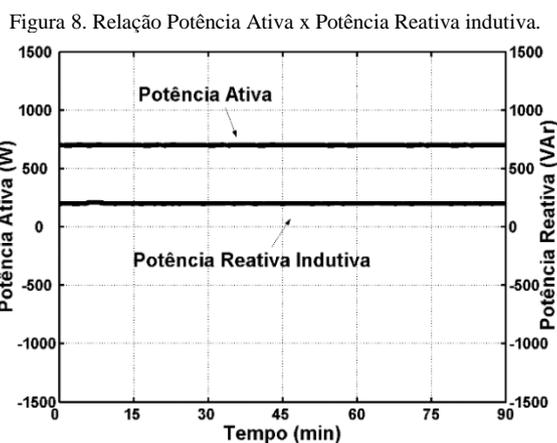
ilustra também a diferença entre o fator de deslocamento, que representa o cosseno do ângulo da tensão e corrente em 60 Hz (DPF), cujo valor é 0,97, e o fator de potência (PF) que leva em conta todas as frequências presentes na forma de onda da corrente, sendo este de valor igual a 0,96 [3].

Figura 7. Característica de potência reativa indutiva absorvida do sistema elétrico pelo *split* convencional (captura de tela do Fluke 434).



Fonte: SANTILIO [3]

Na Figura 8 é possível analisar a quantidade de energia Ativa e reativa presente no barramento elétrico durante o funcionamento do ar condicionado *split* convencional. A energia Ativa consumida pelo equipamento é de aproximadamente 700W, e a energia reativa Indutiva é de 200VAR.



Fonte: SANTILIO [3]

## 5.2 Ar condicionado *split* Inverter

Este subitem analisa as características referente a qualidade de energia e do fluxo de reativo no sistema de alimentação elétrica do aparelho de ar condicionado *split inverter*.

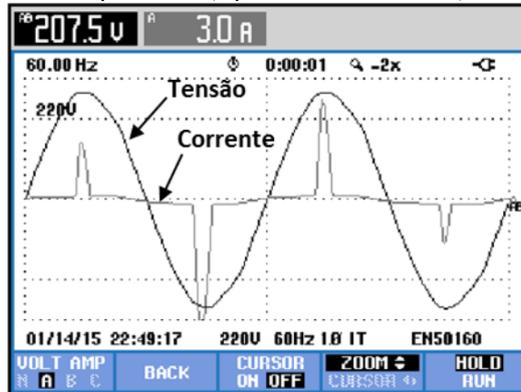
A distorção de forma de onda é relacionada com harmônica quando a deformidade da onda se apresenta de forma semelhante em cada ciclo da frequência Fundamental. Este tipo de deformação pode ser ocasionada por aparelhos que apresentam relação não linear entre tensão e corrente, como por exemplo, cargas eletrônicas que produzem descontinuidades na corrente devido ao chaveamento do sistema [16].

Cargas conectadas ao sistema de alimentação que possui característica não linear, apresenta variações ao longo do tempo produzindo assim distorções variáveis no tempo, podendo resultar no aparecimento de frequências inter-harmônicas [17], conforme é possível analisar a forma de onda de corrente apresentada na Figura 9.

Ainda com a utilização do Analisador de Energia Fluke 434, conforme verifica-se na Figura 9, é possível identificar as formas de onda de tensão e corrente solicitado pelo aparelho *split inverter* ao sistema elétrico. A forma de onda da tensão não apontou proporções de distorções harmônicas significativas. No entanto, a forma de onda de corrente se apresentou uma grande presença de inter-harmônicos e harmônicos de sequências negativas, positivas e

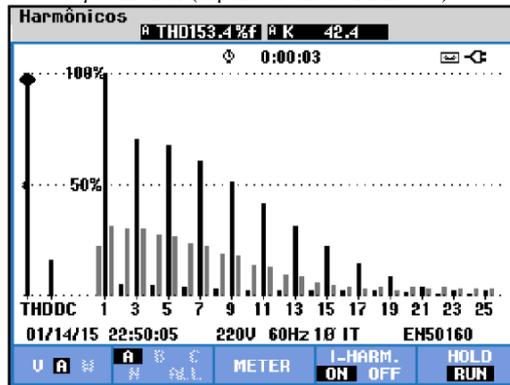
zero, totalizando uma Distorção de Corrente Total (DTH) de 153,4% conforme o espectro harmônico de corrente da Figura 10.

Figura 9. Formas de ondas da tensão e corrente do *split* inverter (captura de tela do Fluke 434).



Fonte: SANTILIO [3]

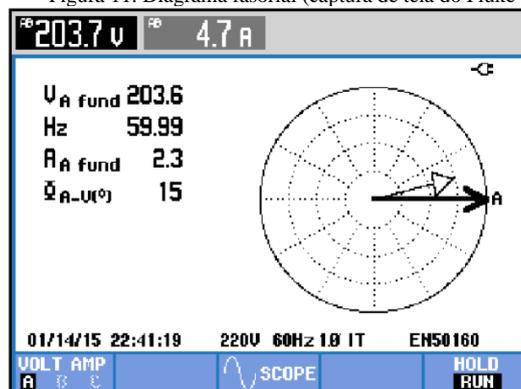
Figura 10. Espectro harmônico de corrente do *split* inverter (captura de tela do Fluke 434).



Fonte: SANTILIO [3]

A Figura 11 ilustra o diagrama fasorial entre a tensão e a corrente, nota-se que a corrente está adiantada em relação à tensão, logo sendo de característica capacitiva o ar condicionado *split*, comprovado pelo símbolo do capacitor exibido na Figura 12.

Figura 11. Diagrama fasorial (captura de tela do Fluke 434).



Fonte: SANTILIO [3]

Analisando-se a Figura 12,

Observa-se que o fluxo das potências ativas e reativas no barramento que alimenta o ar condicionado *inverter* caracteriza uma absorção de 460W de potência Ativa e uma injeção de 760VAR de potência reativa capacitiva na rede de energia elétrica da concessionária. A Figura 10 ilustra também a diferença entre o fator de deslocamento, que representa o cosseno do ângulo da tensão e corrente em 60 Hz (DPF), cujo valor é 0,99, e o fator de potência (PF) que leva em conta todas as frequências presentes na forma de onda da corrente, sendo esta de valor bem menor e igual a 0,52 [3].

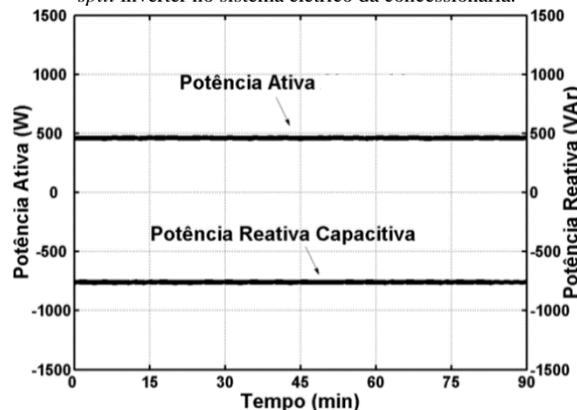
Figura 12. Indicação da característica de potência reativa capacitiva injetada no sistema elétrico da concessionária pelo *split inverter* (captura de tela do Fluke 434).



Fonte: SANTILIO [3]

A potência Ativa absorvida e a potência reativa injetada no circuito elétrico é ilustrada na Figura 13, sendo possível verificar que a potência Ativa absorvida é bem menor em relação a potência reativa injetada.

Figura 13. Potência Ativa e potência reativa capacitiva injetada pelo *split inverter* no sistema elétrico da concessionária.



Fonte: SANTILIO [3]

## 6. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES

Com os resultados apresentados das ilustrações das imagens em relação a qualidade de energia, observou-se que o aparelho de condicionador de ar *split inverter* oferece uma grande distorção harmônica de corrente, sendo em torno de 153,4%, sendo expressivamente maior do que a distorção causada pelo *split* convencional. Por conta dessas características, o valor eficaz pode sofrer um aumento significativo em consequência da presença das harmônicas, sendo

resultado do funcionamento do ar condicionado *split inverter*. Outro ponto a ser considerado é a presença de harmônicas de sequência zero que pode ocasionar uma adição de corrente de neutro do circuito elétrico, sendo altamente indesejável a presença dessa corrente adicional já que não gera trabalho. A presença dessa corrente, também oferece problemas em equipamentos elétricos, como por exemplo nos transformadores de distribuição da companhia de energia, onde as características de potência são comprometidas ao ponto de causar uma elevação da potência aparente do equipamento resultando em elevação no custo da distribuição de energia elétrica.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qualidade de energia em relação a injeção de potência reativa capacitiva no barramento, pode haver um benefício no uso por parte do ar condicionado *split inverter*, podendo oferecer um aumento do fator de potência nas dezoito horas correspondente ao horário indutivo, onde é exigido pela norma que o fator de potência mínimo seja igual ou superior a 0,92 indutivo, tendo assim uma redução do excedente de energia reativa tarifada pelas concessionárias dos consumidores do grupo A. Em contra partida, no horário complementar sendo as seis horas é exigido que o fator de potência seja igual ou superior a 0,92 do tipo capacitivo, e justamente pela característica capacitiva do *split inverter* pode ocasionar um aumento do excedente da energia reativa tarifado nas unidades consumidoras do grupo A.

## 7. CONCLUSÃO

Neste artigo foi analisado a influência dos equipamentos de ar condicionado *split* convencional e do modelo *inverter* no âmbito da qualidade de energia e interferências no sistema de tarifação dos grupos A e B durante o funcionamento destes equipamentos. A capacidade de refrigeração dos aparelhos submetidos aos testes é de 9000 BTU/h. Observando-se os dados apresentados, o ar condicionado do tipo *inverter*, conforme esperado, apresentou grande característica não linear, pertinente ao inversor de frequência utilizado no acionamento do motor do compressor. Devido a não linearidade, provocou uma elevada distorção de corrente, conseqüentemente a presença das harmônicas de sequência zero, positivas e negativas, podendo alterar negativamente o valor eficaz das correntes, e as fases do barramento e no condutor de neutro, devido ao fluxo das harmônicas de sequência zero.

Deste modo, os sistemas de distribuição de alimentação elétrica dos grupos A e B, que tem em sua composição grandes cargas de característica eletrônica, deve ser constantemente monitorada para avaliar a presença das correntes de múltiplas frequências em circulação no barramento elétrico, a fim de avaliar condições de aquecimento dos condutores.

Observou-se que o ar condicionado do tipo *inverter*, gera um fluxo de energia reativa de característica capacitiva sendo injetada no barramento de alimentação da concessionária, o que pode favorecer para a alteração do fator de potência das unidades consumidoras conectadas no mesmo barramento.

A aquisição do condicionador de ar do tipo *inverter* tem se tornado comum pelos consumidores que fazem parte dos grupos A e B, sendo indicado pela sua maior eficiência elétrica no âmbito da energia Ativa. Mas, o *split inverter* pode oferecer mais prejuízos ao sistema elétrico do que o *split* convencional.

Desta forma, fica evidente a necessidade de realizar mais estudos mais profundos sobre filtros e métodos para reduzir as influências causadas de forma negativa durante o funcionamento do ar condicionado *inverter*, além de se os métodos empregados pelos medidores de energia elétrica que realizam os cálculos de fator de potência e potências reativas, estão adequados para o novo cenário elétrico que vem sendo formado, devido à presença crescente de cargas de forte característica não linear nos pontos consumidores dos grupos A e

B, e que pode estar passando despercebido pelo “olhar” técnico, podendo gerar distúrbios em uma escala prejudicial em um futuro próximo.

Outro ponto observado e não menos importante é que por consequência dessa nova característica que tem se tornado cada vez mais presente nos sistemas Elétricos de Potência, que é cada vez mais intensa a presença das cargas não-lineares, seja necessária uma revisão nas normas que tangem os critérios de qualidade de energia.

## REFERÊNCIAS

- [1] DUGAN, R. C.; McGranaghan, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W.. **Electrical Power Systems Quality**. 2. ed. Usa: Mcgraw-Hill, 2003.
- [2] TAVARES, C. E.; REZENDE, P. H. O.; OLIVEIRA, J. C.. **Uma Análise Comparativa de Condicionadores de Ar no contexto da Qualidade e da Racionalização da Energia Elétrica**; X CBQEE – X Conferência Brasileira Sobre Qualidade da Energia Elétrica, Araxá-MG, 2013.
- [3] SANTILIO, F. P.; VASCONCELLOS, A. B.; SILVA, R. P. B.; *SCHLISCHTING. M. W.*, **Estudo do Fluxo de Reativo dos Condicionadores de Ar Split Convencional e Inverter no Barramento das Unidades Consumidoras e da Concessionária**; Cuiabá-MT, 20XX.
- [4] DASSOT, Roy J., **Princípios de Refrigeração**; Hemus livraria editora, 1980.
- [5] NETO, G. P. D.; LIMA, G. B.; BOSSA, V. F.; FREITAS, L. C. G.; TAVARES, C. E., **Proposta de Mitigação das Distorções Harmônicas Geradas por Condicionadores de Ar Inverter Através do Retificador Híbrido – Análise Computacional**. Uberlândia-MG, 2014
- [6] BOSSA, V. F.; TAVARES, C. F.; REZENDE, P. H. O.; GONDIM, I. N., **Proposta de Modelagem de Condicionador de Ar Inverter, Visando Estudos de Desempenho Frente a Distúrbio da Qualidade de Energia Elétrica**; XII CEEL – Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica. Uberlândia/MG, 2014.
- [7] Fujitsu General do Brasil LTDA. **Tecnologia Inverter**. Disponível em: <https://www.fujitsu-general.com/br/products/tecnologiainverter.html>. Acesso em: 22 out. 2018
- [8] REZENDE, P. H. O., **Uma Proposta de Modelagem de Condicionadores de Ar Split Visando a Análise de Pedidos de Ressarcimento por Danos Elétricos**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia/MG. 2012.
- [9] ANEEL. **Resolução Normativa nº414**. 9 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0>. Acesso em: 25 de nov. 2018
- [10] ANEEL. Resolução Normativa nº 414, **Direitos e Deveres do Consumidor de Energia Elétrica**, Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, página 05. 2009. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/folder\\_perguntas%20e%20respostas\\_414\\_final.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/folder_perguntas%20e%20respostas_414_final.pdf). Acesso em: 25 de nov. 2018
- [11] ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST)**, Módulo 8, Janeiro de 2015. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9). Acesso em: 25 de nov. 2018.
- [12] RMS Sistemas Eletrônicos. **MARH-21 993PT - Analisador de Energia, Harmônicas e Oscilografia de Perturbações**. Disponível em: <http://www.rms.ind.br/produtos/marh-21-993pt--analisador-de-energia,-harmonicas-e-oscilografia-de%20A0perturbacoes/6>. Acesso em: 31 mai. 2018.
- [13] FLUKE. **Analisador de Energia Fluke 434 série II**. Disponível em: <http://www.fluke.com/fluke/brpt/ferramentas-de-qualidade-de-energia/logging-power-meters/fluke-434-series-ii-energy-analyzer.htm?pid=73937>. Acesso em: 01 jun. 2018.

- [14] AMARAL, T., **Correção de fator de potência e harmônicas em instalações elétricas**. Disponível em: <https://www.abb-conversations.com/br/2015/10/correcao-de-fator-de-potencia-e-harmonicas-em-instalacoes-eletricas/>. Acesso em: 22/10/2018.
- [15] GOMES, A. R., **Análise Comparativa de Mecanismos de Compressão Para Aplicação em Refrigeração Doméstica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC. 2006
- [16] PHIPPS, J. K.; NELSON, J. P.; SEN, P. K., “**Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems**”, *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 30, no. 2, March/April 1994, pp. 476-485
- [17] POMILIO, J. A.; DECKMANN, S. M., "Efeito Flicker produzido pela **Modulação Harmônica**". SBQEE'97 - *Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica*, Nov. 1997, São Lourenço, MG.