

XII-032 - QUALIDADE DE ENERGIA E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE EM INSTALAÇÕES TÍPICAS DO SANEAMENTO

Nilson Alves de Moura ⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista na Superintendência de Produção de Água da Metropolitana- MA-Sabesp; Mestrando do PPGEE –Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica- POLI USP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, nº300 – Pinheiros - São Paulo – SP- Brasil. CEP: 05429010 - Fone (11)33889644 E-mail: nilsonmoura@sabesp.com.br.

RESUMO

O trabalho trata da relação entre qualidade de energia elétrica e seus efeitos em equipamentos de proteção e controle, além dos dispositivos de potência que compõe instalações elétricas presentes nas instalações do saneamento.

Dentre os vários problemas que compõe o universo dos distúrbios, serão tratados dois deles: harmônicos e desequilíbrio de tensão, bem como as origens e as consequências nas instalações e sistemas das estações.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de energia, distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, afundamentos de tensão, confiabilidade, eficiência, estações elevatórias.

INTRODUÇÃO

O desafio da universalização do saneamento no país é urgente. São muitos os brasileiros que ainda sofrem sem água encanada na torneira e com esgoto a céu aberto. Para mudança desta realidade, não há dúvida é essencial montagem de estruturas como estações de tratamento de água e esgoto, estações elevatórias. Portanto será necessário uso de energia elétrica para ajudar nesta tarefa. Entretanto o desafio não é apenas este: é comum instalações das estações de saneamento estar em situação de sucateamento, gerando gastos com energia, manutenção de equipamentos velhos. Logo é urgente que programas de eficiência cheguem ao setor de saneamento.

A operação de sistemas de saneamento exige uso intensivo de energia elétrica, sendo necessário o cumprimento de dois aspectos para que os serviços de saneamento sejam prestados com qualidade : de um lado garantias de qualidade de fornecimento por parte das concessionárias de energia e de outro, cuidados essenciais quanto ao uso final do insumo. Estes dois aspectos compõe o universo dos distúrbios na qualidade de energia, demonstrando que a responsabilidade pela qualidade de energia é de responsabilidade não só da concessionária, mas também dos consumidores. Dependendo do porte do consumidor e as características de suas cargas, tal interação torna-se mais intensa, e o consumidor pode gerar sérios distúrbios na qualidade da rede, prejudicando demais clientes.

Quando distúrbios passam a ser recorrentes nas estações, certamente os índices de confiabilidade e eficiência são prejudicados. Como exemplo citamos os prejuízos à eficiência dos motores de indução trifásicos se alimentados em condições de desbalanceamento de tensões; a geração de distorções harmônicas quando do uso conversores de frequência para controle de motores, tendo como consequência desligamentos indevidos, sobreaquecimento de equipamentos, dentre outros.

Desta forma é objetivo principal deste trabalho apresentar uma análise entre a relação dos distúrbios na qualidade de energia e suas consequências em instalações típicas do saneamento: elevatórias e estações de tratamento de água e esgoto. Os fenômenos que pioram a qualidade de energia são inúmeros, e este trabalho focará as discussões em torno de dois distúrbios: o desequilíbrio de tensão e as distorções harmônicas. Também, serão citadas as atuais normas que tratam do tema.

CONCEITOS GERAIS SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA

O termo qualidade de energia engloba uma série de fenômenos, que de forma resumida, caracterizam interrupção do serviço ou alterações na magnitude, frequência e forma dos sinais, que deveriam ser senoidais, de corrente e tensão dos sistemas elétricos em suas etapas de geração, transmissão distribuição e uso final.

A avaliação de distúrbios da qualidade é complexa pois tais fenômenos podem ocorrer de forma simultânea nas partes que integram o sistema elétrico, ou mesmo dentro das instalações dos consumidores que apresentam intenso uso de cargas não lineares, geralmente não apresentando seu tratamento de maneira simples.

Os principais fenômenos associados à distorção dos sinais senoidais, de forma resumida são mostrados na figura 1, na qual observamos os seguintes fenômenos: a: sinal senoidal; b: Transitório impulsivo; c: transitório oscilatório; d: afundamento de tensão; e: interrupção; f: sobretensão; g: harmônico; h: corte de tensão; i: ruídos e j: interharmônicos.

Como se podem observar os distúrbios ocorrem afetando a amplitude e a frequência do sinal.

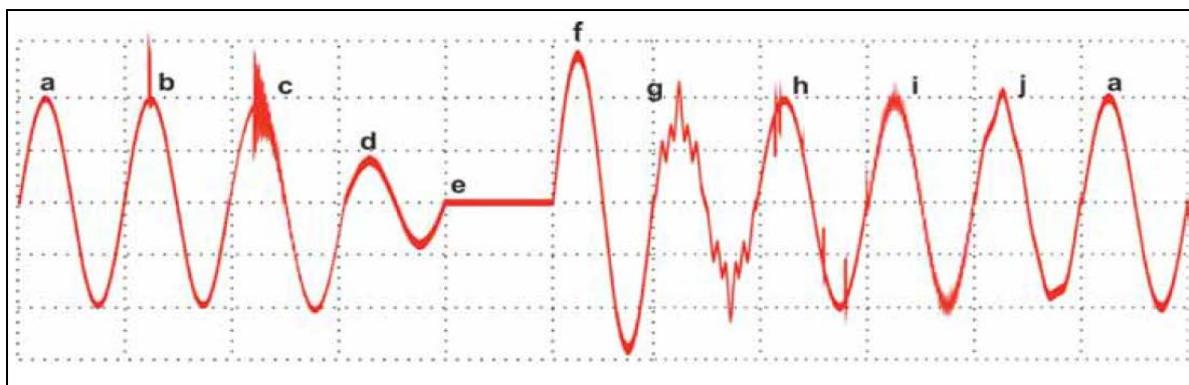


Figura 1: principais fenômenos que distorcem sinal senoidal.

No **Brasil**, distribuidoras e consumidores conectados em qualquer classe de tensão de distribuição tem como principal documento de referência o Módulo 8 do PRODIST da ANEEL, que trata da qualidade de energia, congregando os conceitos de qualidade do serviço e qualidade do produto.

A qualidade do serviço refere-se à interrupção do fornecimento, sendo avaliado de acordo com os índices de caráter individual – DIC, FIC, DMIC e DICRI – e do conjunto de unidades consumidoras que compõe um conjunto elétrico - DEC, FEC.

A qualidade do produto estabelece padrões para regime permanente e regime transitório em relação à deformação do sinal senoidal. Incluem-se em regime permanente os seguintes fenômenos: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos; desequilíbrio de tensão; flutuação de tensão; variação da frequência; no regime transitório, para tempos inferiores a 3 minutos, os fenômenos são classificados como variação de tensão de curta duração – VTDC em duas situações: variação momentânea de tensão e variação temporária de tensão.

Ressalta-se que a responsabilidades para a manutenção dos padrões de qualidade de energia não é uma obrigação exclusiva da concessionária, sendo o consumidor também responsável, em especial consumidores de grande porte, como é o caso das instalações de saneamento. Estas apresentam uso de motores, que podem contribuir, para o afundamento de tensão na partida, distorções harmônicas de corrente por conta do uso de conversores.

PRINCIPAIS DISTÚRBIOS QUE AFETAM AS INSTALAÇÕES.

De maneira geral as instalações estão expostas a vários tipos de distúrbios. Neste artigo serão tratadas as distorções harmônicas e desequilíbrio de tensões, justificadas pela grande quantidade de conversores de frequência usados em todo tipo de estação e o desequilíbrio por conta de ser comum na entrada destas instalações encontrarem-se tal problema, pois a maioria delas é conectada em redes de distribuição de baixa ou

média tensão, que também suprem muitos usuários residenciais caracterizando cargas mono e bifásicas, acentuando o desequilíbrio de cargas.

DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A compreensão do que é um sinal harmônico é facilitada, antes com o entendimento do que é um sinal que não apresenta distorção harmônica. O sinal da figura 2, à direita, é do tipo senoidal puro, apresentando íntegros seus aspectos de amplitude, frequência e período. A maior parte dos equipamentos dos sistemas elétricos até algum tempo eram projetados para funcionarem levando-se em conta este tipo de sinal. Decorrente disto todos os aspectos relacionados à operação em regime permanente, como rendimentos, dissipação de calor entre outros levavam em conta esta premissa, a dos sinais de tensão e corrente senoidais.

Quando o sinal senoidal passa a ser deformado conforme mostra a figura 1, à esquerda, é dito que o sinal apresenta distorção harmônica que é caracterizado por uma sobreposição de outros sinais senoidais, de frequências maiores, múltiplas da frequência fundamental do sinal original. Por meio da obtenção da série de Fourier deste sinal é possível avaliar a amplitude dos sinais associados à frequência fundamental e às frequências múltiplas, que é chamado de espectro harmônico.

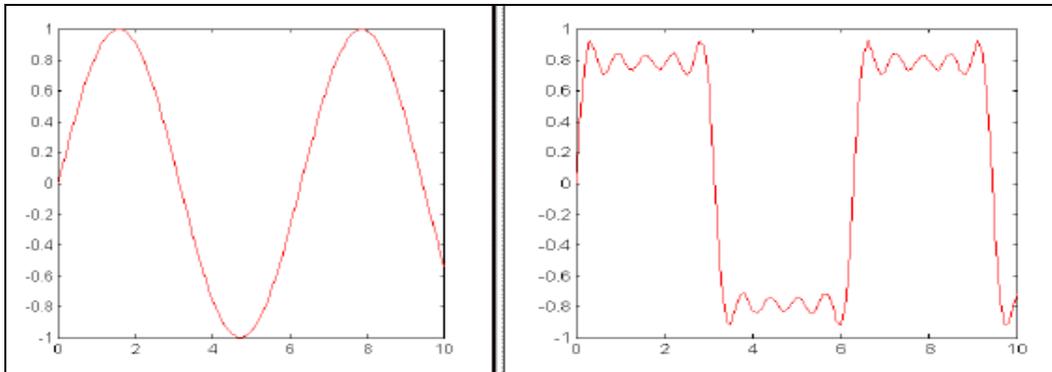


Figura 2: À esquerda: sinal senoidal, à direita sinal distorcido.

Outro conceito importante é a sequência do sinal associado a cada frequência. A sequência pode ser positiva, negativa e de zero; que são denominações oriundas da teoria de Fortescue, que decompõe sistemas trifásicos desequilibrados em diagramas de sequência. Nos sistemas elétricos a frequência fundamental é de 60 Hz e apresenta sequência positiva. Na prática sequências positiva são somadas vetorialmente, assim como as de sequência negativa; as de sequência zero são somadas algebricamente. Como exemplo, um motor de indução alimentado por harmônicas de 3ª ordem tende a acelerar o motor e de 5ª ordem tende a frear o mesmo. A figura 3 apresenta um resumo relacionando os conceitos de frequência, ordem e sequência.

Ordem	Frequência (Hz)	Sequência
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
n	$n * 60$	—

Figura 3- Ordem, frequência e sequência das harmônicas.

A avaliação das distorções é avaliada por meio das equações abaixo. São representados valores de distorção total em relação ao sinal fundamental e distorção harmônica total em relação ao sinal total.

$$TDHf = \frac{\sqrt{h_2^2+h_3^2+h_4^2 \dots h_n^2}}{h_1} \times 100\% \quad \text{Equação 1}$$

$$TDHr = \frac{\sqrt{h_2^2+h_3^2+h_4^2 \dots h_n^2}}{\sqrt{h_1^2+h_2^2+h_3^2+h_4^2 \dots h_n^2}} \times 100\% \quad \text{Equação 2}$$

Em que h_1 é o valor do sinal da frequência fundamental; $h_2 \dots h_n$ são valores dos sinais para cada uma das harmônicas; TDHf é a distorção harmônica total em relação a frequência fundamental, e TDHr é a distorção harmônica total em relação ao sinal considerando todas harmônicas.

No Brasil a ANEEL, por meio do módulo 8 do PRODIST, atualmente apresenta limites desejáveis em relação à distorção total de tensão (DTT), cujo os valores são mostrados na figura 4. Estes limites são aplicáveis no PCC – ponto de conexão comum, que é o ponto de entrega da concessionária ao consumidor. DTT95% indica que 5% das 1008 leituras permaneceram acima do valor DTT%. Outra importante referência que trata do assunto é IEEE Std 519-2014.

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _p 95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTT ₁ 95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT ₃ 95%	6,5%	5,0%	3,0%

Figura 4- Limites desejáveis estabelecidos pela ANEEL. Tabela extraída do Módulo 8 do PRODIST.

Como consequência qualquer sistema elétrico ou máquina submetido a este tipo de sinal apresentará perdas associadas à esta deformação. A existência do problema não necessariamente implica na impossibilidade de convívio com o mesmo, pois isso depende dos níveis em que se encontram tais distorções e onde elas estão agindo dentro das instalações ou sistemas elétricos. A análise criteriosa de cada caso é essencial para se tomar uma decisão em relação às distorções.

ORIGEM DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A distorção harmônica nas indústrias tem como principal fonte o uso de cargas não lineares, que diferentemente das cargas lineares compostas por resistores, indutores e capacitores que apesar de provocarem aumento defasagem nos sinais de corrente e tensão, não os deformam tais sinais. Este tipo de carga faz uso principalmente de retificadores a diodo e retificadores controlados, equipamentos chaveados, dentre outros.

Nas instalações de saneamento, água ou esgoto, o uso de conversores de frequência é intenso, sendo este considerado como a principal fonte de harmônicos de corrente na instalação. A adoção deste equipamento no setor permite a flexibilização de vários processos, como o controle de vazão por meio do monitoramento de pressões.

Apesar de tais equipamentos apresentarem notáveis resultados, em relação a controle de processos, a aplicação do mesmo exige algumas considerações adicionais, se comparadas à situações de acionamento de motores em que não são usados. Diante deste contexto são tratadas neste item algumas considerações sobre problemas que podem vir a surgir nas instalações por conta de seu uso.

A discussão em relação ao uso do inversor será pautada no diagrama da figura 7. Nele há uma representação de acionamento de motores, por meio de dispositivos diferentes: inversor e softstater; a alimentação é realizada em média tensão, com uso de transformador de potência, além da possibilidade do uso de gerador, que será tratado com mais detalhes no item Desafios Futuros, pois seu uso apresenta algumas peculiaridades quando submetido à alimentação de cargas não lineares.

INTERAÇÃO ENTRE INVERSOR-MOTOR E A INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Os inversores de frequência apresentam, de forma resumida, três estágios: retificador, link dc e o inversor. O retificador é responsável por converter a tensão alternada de entrada em sinal pulsante, quase contínuo. A próxima etapa, o link dc, é responsável por filtrar o sinal pulsante, gerando um sinal praticamente contínuo. A partir deste ponto entra em operação a etapa do inversor que deve converter o sinal contínuo em sinal alternado. Portanto o motor tem em seus terminais tensão chaveada em alta frequência, de formato quadrado e corrente alternada quase senoidal, com frequência fundamental à da rotação desejada para o controle do motor. A figura 5 mostra as três etapas citadas acima e os sinais na saída do conversor. Para o controle da etapa de saída, é usado controle do tipo PWM, modulação por largura de pulso. Este controle é responsável por atender de forma constante a relação V/f, atender requisitos de tensão e corrente de saída mesmo com variações na tensão de entrada. Quando é necessário o controle de cargas de porte elevado e simultaneamente atenderem baixos níveis de distorções harmônicas, são usados os inversores multinível com as topologias NPC – Neutral Point Clamped e a outra são a Cascata (cascaded inverters).

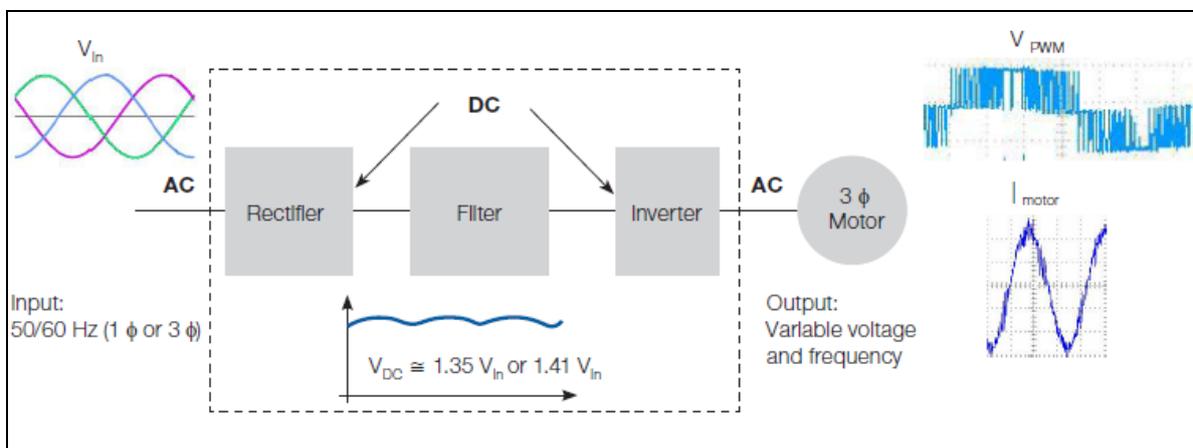


Figura 5- Composição conversor de frequência e suas formas de onda de saída.

Outro ponto de atenção na interação diz respeito ao comprimento do cabo, que pode ter aumentado os níveis da tensão nos terminais motor devido às características que o cabo assume, comportando-se como uma linha de transmissão, com parâmetros longitudinais formados pela resistência e pela reatância indutiva e por parâmetros transversais, no caso parâmetros de efeito de reatância capacitiva. Estes elementos reativos, a cada pulso do chaveamento armazenarão mais energia, que então é descarregada nos terminais do motor. A figura 6 ilustra a o efeito descrito. Há também perdas devido ao efeito pelicular.

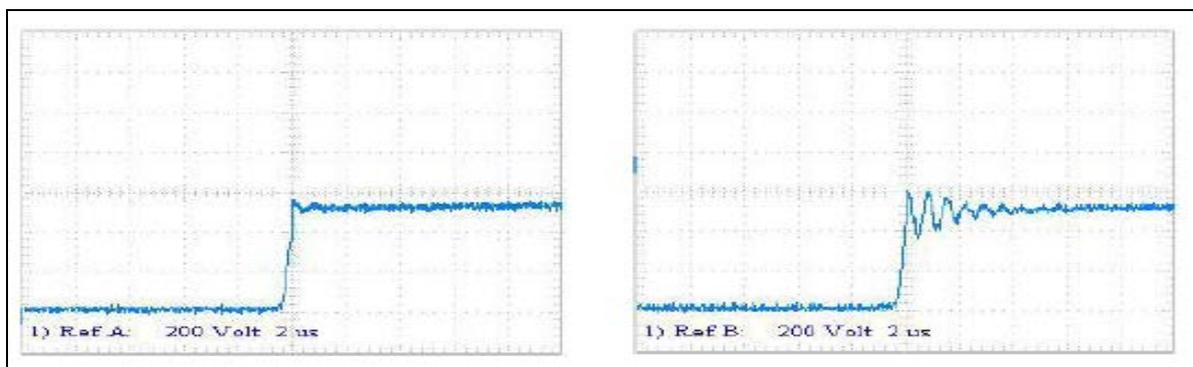


Figura 6- Aumento de picos de tensão no motor devido ao comprimento do cabo. Lado direito: saída do inversor. Lado esquerdo: 200 m de comprimento.

Em relação ao motor importantes considerações devem ser observadas. As características de desempenho são alteradas, diminuindo sua eficiência, principalmente nas baixas rotações, em que se perde parte da ventilação. É muito comum em salas que abrigam motores alimentados controlados por inversores terem projetos para ventilação dedicados. Em geral aumenta-se as perdas no ferro e no cobre, pois há circulação de correntes adicionais pelo motor, além perdas por comutação. Estes itens somados não apresentam para a maioria dos projetos inviabilidade de implementação, face os ganhos proporcionados pelos controles de processo que eles proporcionam. Tais itens devem sim, ser motivo de avaliação para garantir plenas condições de uso dos equipamentos evitando desgastes prematuros e aumento de perdas, além de geração de problemas para outros pontos da instalação.

A conexão de inversores em barramentos como mostrado no diagrama da figura 7, pode apresentar alguns problemas para a instalação como um todo. Caso tenha-se a configuração como é apresentada, há a possibilidade de existência de correntes harmônicas por conta dos inversores, que via de regra na baixa tensão são inversores de 6 pulsos, promovendo principalmente harmônicas de 5ª e 7ª ordem. Os outros dois motores necessitarão de correção de fator de potência. Cuidados especiais devem ser considerados para a instalação dos bancos de capacitores para a correção do fator de potência. Dependendo dos níveis das harmônicas é desaconselhável a instalação no barramento de baixa tensão, sendo ideal migrar esta instalação para a média tensão, pois neste caso o transformador funcionará em parte com um filtro. Deve-se ressaltar que, em função das amplitudes das harmônicas a correção do fator de potência por meio de capacitores não funcione, sendo necessária a instalação de filtros. Ainda para a mesma configuração citada acima, porém para uma instalação com porte maior, com motores de media tensão, é aconselhável o uso de inversores de 12 ou mais pulsos, que certamente terão a geração de harmônicas minimizadas e a correção do fator de potência fica mais simples.

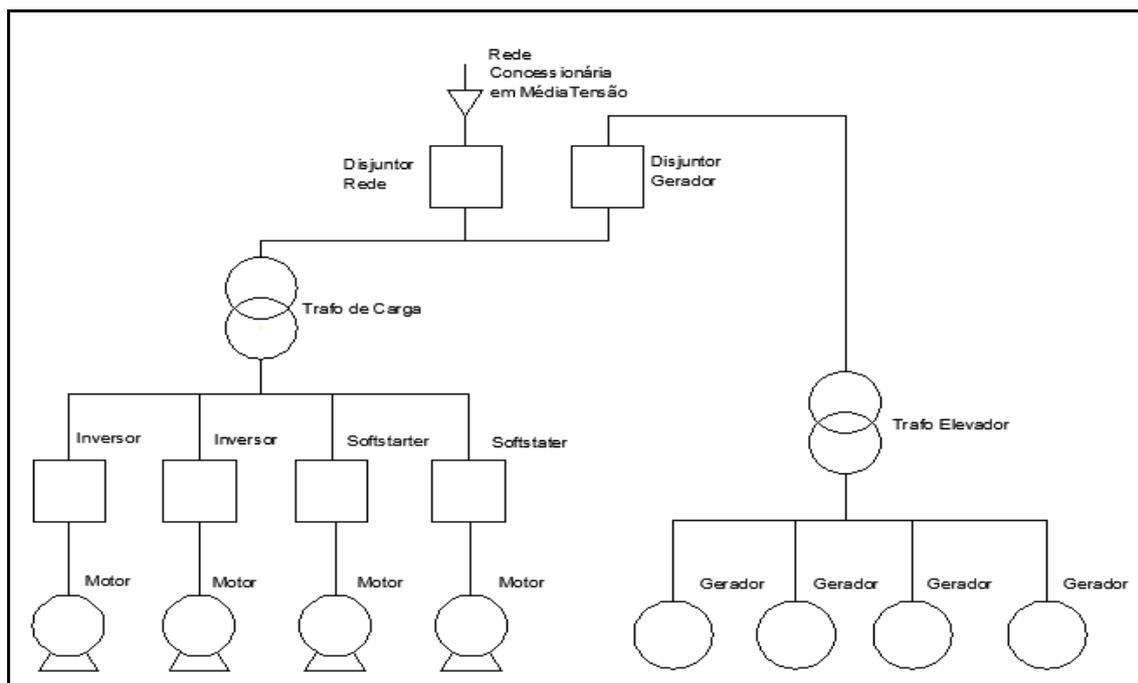


Figura 7- Diagrama unifilar genérico de uma estação elevatória.

A alteração do fator de potência por conta da presença de harmônicos acontece pelo fato das frequências múltiplas da fundamental gerarem uma “potencia distorcida”. De acordo com a referência 13, uma das formas de medição deste efeito adicional é a adição de um eixo perpendicular ao tradicional triângulo das potências. Numa situação convencional, em que o triângulo é formado apenas por valores na frequência de 60 Hz o valor do cálculo do fator de potência com as harmônicas é distinto. Tem-se de acordo com a equação abaixo a redefinição de potencia aparente (S) e do fator de potência. Em relação à tradicional fórmula, há a existência do termo adicional, elevando o valor da potencia aparente. A figura 8 mostra o tetraedro das potências, demonstrando claramente a inserção da componente D, devido às harmônicas.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad \text{Equação 3}$$

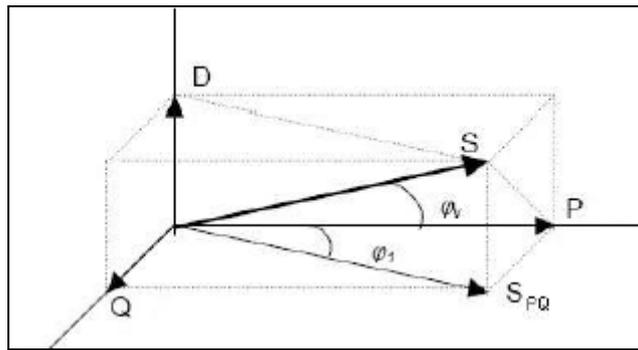


Figura 8- Tetraedro das potências.

Sendo S a potência aparente considerando os efeitos das harmônicas; Q a potência reativa; P potência ativa e D a potência de distorção devido às harmônicas.

Outro equipamento que pode ser severamente afetado na instalação é transformador. Um dos efeitos mais notados decorrentes dos efeitos das harmônicas é o efeito térmico, em especial as perdas no cobre, pois os efeitos das correntes harmônicas se elevam considerando a relação $R \cdot I_h^2$. Além disso, as perdas por Foucault e as perdas adicionais também serão elevadas ao quadrado.

A decomposição das correntes distorcidas e a avaliação da amplitude das mesmas são associadas às perdas do transformador estão relacionadas por meio do fator K. Há outro padrão de avaliação estabelecida pela norma C57.110-2008 da IEEE, que leva em conta apenas distribuição das frequências das harmônicas, diferente do cálculo do fator K que considera também a amplitude das correntes. Na prática é comum ver nos catálogos de fabricantes a menção ao fator K

Em relação às ações mitigadoras exige-se cautela quanto à escolha da melhor solução. No geral as soluções são baseadas no uso de filtros passivos, filtros ativos e uso de transformadores defasadores. Especificação de equipamentos merece especial atenção, caso sejam usados inversores de frequência, principalmente a escolha do transformador, que geralmente devem possuir fator K elevado.

A ação das harmônicas pode piorar a confiabilidade da instalação. No geral os equipamentos destinados à proteção de ação direta passam a dissipar mais energia, mudando o ponto de operação dos mesmos, levando a desarmes indesejáveis e a conseqüente parada de equipamentos e sistemas. É o caso de relés térmicos, disjuntores e fusíveis. Os dispositivos de ação indireta também podem operar indevidamente, pois os mesmos analisam sinais de maneira indireta, oriundos de transformadores de corrente e tensão, precisam possuir sistemas de medição baseados no conceito true rms. Ainda assim, em alguns casos, como por exemplo da necessidade de paralelismo entre gerador e rede da concessionária, a manobra talvez não se concretize por conta da falta de sincronismo. Nos casos em que mesmo com níveis dentro de faixas tolerantes para a sincronização, é desejável avaliar eventuais saltos de tensão e corrente devido a sobreposição de sinais em que ao menos um deles está distorcido devido a harmônica.

DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

O desequilíbrio de tensão é um distúrbio caracterizado pela alteração nas magnitudes das tensões trifásicas de um sistema, e/ou alteração no padrão de defasagem angular fasorial, que é de 120° . Atualmente são usados quatro métodos para avaliação dos desequilíbrios, sendo eles o método NEMA, o método IEEE, o método das componentes simétricas e o método CIGRÉ. Estes dois últimos apresentam os mesmos resultados, porém o método CIGRÉ apresenta uma formulação matemática fazendo uso das tensões de linha. Abaixo as equações com os dois métodos, a equação 4 usa o método das componentes simétricas e equações 5 e 6 usam método CIGRÉ.

$$FD(\%) = \frac{V}{V_+} \times 100 \quad \text{Equação 4.}$$

$$FD(\%) = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad \text{Equação 5.}$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \text{ Equação 6.}$$

Em que V^- , V^+ são as magnitudes das tensões eficazes de sequência negativa e positiva na frequência fundamental, V_{ab} , V_{ac} , V_{bc} são as tensões eficazes da rede, na frequência fundamental.

No Brasil a ANEEL adota como critério o método das componentes simétricas e o método CIGRÉ, estabelecendo os limites desejáveis de acordo com a tabela da figura 9, retirada do site da entidade, em que o indicador FD95% significa que 5% das 1008 leituras superaram FD%.

Indicador	Tensão nominal	
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$
FD95%	3,0%	2,0%

Figura 7: Valores do fator de desequilíbrio indicados como desejáveis pela ANEEL.

Nas estações elevatórias, os motores de indução são os principais equipamentos afetados pelos desequilíbrios, apresentando em geral funcionamento inadequado, diminuição da eficiência e comprometimento da vida útil. A piora destes parâmetros se dá por conta da existência de tensões de componentes de sequência negativa que originarão correntes e campos magnéticos com sentido de giro contrário campo fundamental.

A referência 11 apresenta um estudo avaliando um motor de 5cv submetido à níveis de desequilíbrio de 1%, 2% e 5% revelando como consequência aumento do desequilíbrio de correntes, diminuição da velocidade e perda de torque, inclusive apresentando oscilações.

Já a referência 2, apresenta uma relação entre desequilíbrio de tensão e diferentes perfis de torque. É desenvolvido no trabalho equação de torque considerando o desequilíbrio, adicionando-se o circuito de sequência negativa à análise conjunta do circuito de sequência positiva. Foram avaliadas mudanças no torque e escorregamento para um motor de 25 hp nas condições de operação de carga com torque constante, linear e quadrático, sendo que para motor com carga constante a perda de torque foi mínima para desbalanceamentos variando de 1% a 20% e perdas de cerca de 6% para os de torque do mesmo nível de desequilíbrio. Tratando-se do escorregamento os piores resultados foram obtidos com carregamentos constantes, linear e quadrático respectivamente. Como consequência direta destes resultados, há o aumento das potências ativa e reativa, tornando o motor mais ineficiente e sobrecarregado. Também foram avaliados motores de até 1000 hp, com perfil de carga constante, mostrando que tais perdas são maiores nos motores de porte menor. A figura 10, retirada do artigo mostra tal comparativo.

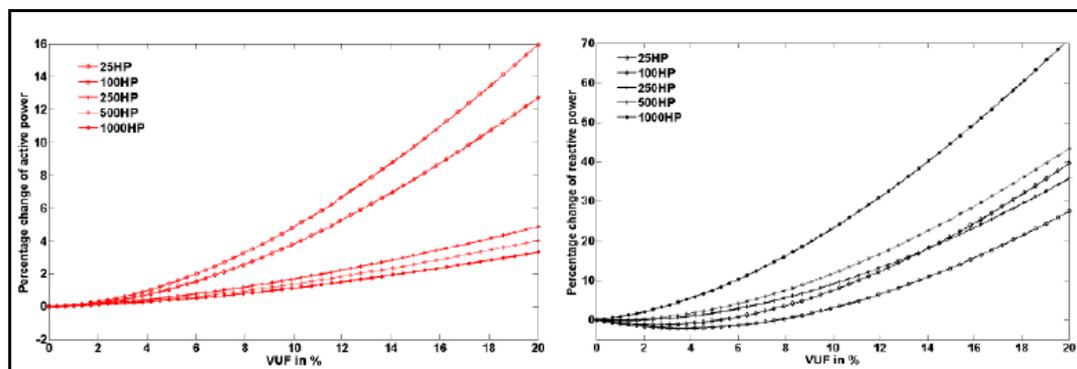


Figura 8: Variação das potências ativa e reativa de acordo com porte do motor.

Em geral as instalações apresentam como cargas motores trifásicos, não gerando desequilíbrios. Desta forma a principal fonte de desequilíbrio é a concessionária de energia, devendo ser motivo de avaliação periódica o desequilíbrio das tensões de fornecimento.

As causas do desequilíbrio são diversas, por exemplo: elevada número de cargas monofásicas, linhas de transmissão não transpostas e assimétricas. Uma prática comum, quando desequilíbrios são prejudiciais ao pleno funcionamento das instalações, em especial de grande porte, é o uso de reguladores de tensão monofásicos, geralmente instalados nas redes de distribuição das concessionárias.

DESAFIOS FUTUROS

Os geradores assumem especial papel em sistemas de abastecimento de grande porte, principalmente nos casos de necessidade de aumento da capacidade hidráulica da estação, porém sem possibilidade de aumento de demanda da concessionária (legislação atual limita em 2500 KW fornecimento em média tensão), além da oferta do gás natural. Para casos como estes, os geradores serão utilizados em paralelismo permanente. Problemas na qualidade de energia do lado concessionária, em especial distorções harmônicas, desequilíbrios de tensão excessivos afundamentos poderão dificultar o paralelismo. Nas operações ilhadas, quando usados exclusivamente nas interrupções de energia da concessionária, é essencial que o gerador esteja apto a atender instalações com altos índices de harmônicos.

Outra situação, que vem se apresentando como promissora para as companhias de saneamento é a possibilidade de geração de energia e sua exportação para rede da concessionária. São os casos de geração distribuída, fazendo-se uso de geração fotovoltaica, bomba funcionado com turbina, dentre outras tecnologias. Mais uma vez a questão da qualidade de energia é essencial para a exportação dos excedentes para concessionária, além de manter a plena confiabilidade da estação.

CONCLUSÕES

O artigo apresentou de forma abreviada questões da qualidade de energia, com foco nas harmônicas e no desequilíbrio de tensões. O tema apresenta elevada complexidade do ponto de vista teórico e prático. É comum inclusive numa mesma instalação a presença de mais de um distúrbio, amplificando gastos com energia, diminuindo a vida útil de máquinas e equipamentos, além de piorar a confiabilidade da estação.

De maneira mais ampla é desejável aos profissionais do setor de saneamento, que questões relacionadas à qualidade de energia traduzem-se, por um lado na piora da qualidade dos serviços prestado à população e perdas econômicas para quem presta os serviços. Por outro lado, o tema apresenta extrema relevância no que diz respeito ao uso final de energia, um dos temas mais tratados nos projetos de eficiência energética. Quantificar perdas e vida útil de equipamentos é essencial para viabilidade de muitos projetos.

Por fim o artigo apresentou os desafios com a possibilidade de aproveitamento do gás natural, em especial, centros urbanos, para uso em geradores, além da possibilidade de geração distribuída. Nestes casos, o conhecimento das dificuldades impostas pela piora na qualidade de energia é essencial para tomada de decisões, como negociações com concessionária de energia, adoção de filtros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 8 – Revisão 8 .Qualidade da Energia Elétrica.
2. Aree, Pichai. Effects of Unbalanced Voltage On Induction Motor Operating Points Under Different Load Torque Profiles. Department of Electrical Engineering, Thammasat University, Pathumthani, Thailand.. 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), *Chiang Mai, 2016, pp. 1-4.*
3. Ching-Yin Lee. Effects of Unbalanced Voltage on the Operation Performance of a Three-phase Induction Motor. Department of Electrical Engineering National Taipei University of Technology. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 2, June 1999
4. Fluke – Applications Notes: How adjustable speed drives affect power distribution.
5. Gomes, Heber Pimentel. Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética. 1ª Edição. 366p. João Pessoa. Editora Universitária/UFPB, 2010.
6. IEEE Std519 – 2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.
7. Moreno, Hilton. Harmônicas nas instalações elétricas. Causas, Efeitos e Soluções. PROCOBRE.

8. Moura, Gustavo Nikolaus Pinto de. A Relação Entre Água e Energia: Gestão Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água das Companhias de Saneamento Básico do Brasil. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2010.
9. Padua, Marcelo S. et al . Metodologia para identificação do componente fundamental da tensão da rede baseada no algoritmo recursivo da TDF. Sba Controle & Automação, Natal, v. 18, n. 3, p. 381-396, Sept. 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo>. Acesso em 29 de maio 2017.
10. Paulilo, Gilson. Conceitos gerais sobre qualidade de energia. Revista O Setor Elétrico. Edição 84. Fascículo Qualidade de Energia.
11. Paulo Henrique Oliveira Rezende, Milton Itsuo Samesima. Efeitos do Desequilíbrio de Tensões de Suprimentos nos Motores de Indução Trifásico. Disponível em www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4473/11857
12. S. M. Deckmann e J. A. Pomilio. Curso Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica. DSCE – FEEC – UNICAMP.
13. Suhett, Marcos Riva. Análise De Técnicas De Medição De Potência Reativa Em Medidores Eletrônicos. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação - UFRJ. 2008
14. WEG-Technical guide: Induction motors fed by PWM frequency inverters