



Diretoria de Distribuição e Comercialização

Estudo de Distribuição

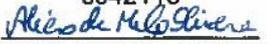
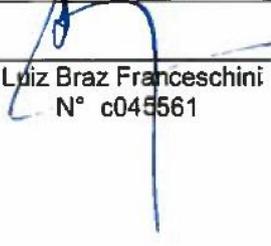
Caracterização de cargas potencialmente perturbadoras



Diretoria de Distribuição e Comercialização

Estudo de Distribuição

Caracterização de cargas potencialmente perturbadoras

Preparado	Verificado	Recomendado	Aprovado	ED-5.57
 Jorge Luiz Teixeira c042116  Alécio Melo de Oliveira c044869  Alvaro Paulino César c055423	 Carlos Alberto Monteiro Leitao c045463	 Luiz Braz Franceschini N° c045561	 Anderson Neves Cortez N° c041833	Dez/2016

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 OBJETIVO.....	3
3 PERTURBAÇÕES CONSIDERADAS NO MÓDULO 8 DO PRODIST	4
4 GESTÃO DA QUALIDADE DE PRODUTO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	4
5 CARGAS OU GERAÇÕES POTENCIALMENTE PERTURBADORAS	5
5.1 VARIAÇÕES ESPORÁDICAS NOS NÍVEIS DE TENSÃO.....	6
5.2 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO	10
5.3 DISTORÇÕES HARMÔNICAS	12
5.4 CINTILAÇÕES LUMINOSAS (EFEITO FLICKER)	16
5.5 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA GERAÇÃO (VTCD).....	19
6 QUADRO RESUMO	21
7 PROCEDIMENTO RECOMENDADO	22
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

A Resolução Normativa nº 728, de 21 de junho de 2016, inseriu alterações do Módulo 8 do PRODIST, com início de vigência em 1º de janeiro de 2017. Entre as principais alterações pode-se destacar a necessidade de realização de estudos específicos de qualidade da energia elétrica, no caso de acessante potencialmente perturbador, conforme mostrado a seguir:

“11.1 Os estudos específicos de qualidade da energia elétrica deverão avaliar o potencial impacto da conexão e operação do acessante.

11.1.1 É obrigatória a realização dos estudos no caso de acessante potencialmente perturbador.

11.1.2 A distribuidora deve definir os tipos de instalações elétricas potencialmente perturbadoras.

11.2 As conclusões dos estudos e/ou recomendações deverão constar no parecer de acesso.

11.3 Caso se verifique nos estudos específicos que há problema de qualidade da energia elétrica, a instalação dos equipamentos de correção ou outras adequações necessárias deverão ser providenciadas pelo acessante e/ou acessada.

11.4 Outros requisitos e procedimentos para fins de acesso ao sistema de distribuição deverão observar o Módulo 3 do PRODIST”

Portanto, conforme o item 11.1.2, a distribuidora deve definir os tipos de instalações elétricas potencialmente perturbadoras.

2 OBJETIVO

Para que uma determinada carga ou geração possa ser considerada potencialmente perturbadora ela deve possuir um conjunto de atributos que a caracterizem como tal, tais como o princípio de funcionamento, o porte e a localização. São também relevantes a robustez e a topologia da rede elétrica, bem como os critérios de limitação adotados.

Este documento tem por objetivo propor critérios para a caracterização das cargas e/ou gerações potencialmente perturbadoras, servindo de subsídio para a adequação dos procedimentos da Cemig D relativos às cargas ou equipamentos potencialmente perturbadores pertencentes aos acessantes da sua rede de distribuição.

As metodologias propostas baseiam-se em informações simples, disponíveis para as equipes de atendimento ao acessante, tais como a potência de curto circuito trifásica no ponto de conexão e a potência nominal das cargas.

Apenas nos casos em que os critérios de avaliação simplificados sejam violados serão recomendados estudos para a eventual atenuação ou correção dos distúrbios provocados nas instalações da rede elétrica da Distribuição.

3 PERTURBAÇÕES CONSIDERADAS NO MÓDULO 8 DO PRODIST

Pelo estabelecido na revisão 8 do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), vigentes a partir de 01/01/2017, os equipamentos potencialmente perturbadores poderão ser pertencentes a:

- a) consumidores de qualquer classe de tensão de distribuição;
- b) produtores de energia;
- c) distribuidoras;
- d) agentes importadores ou exportadores de energia elétrica;
- e) transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão – DIT;
- f) Operador Nacional do Sistema – ONS.

Conforme o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) - revisão 8, os aspectos considerados da qualidade do produto em regime permanente ou transitório são os seguintes:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;
- g) variação de frequência.

4 GESTÃO DA QUALIDADE DE PRODUTO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Na revisão nº8 do Módulo 8 do PRODIST, que deverá vigorar a partir de 01/01/2017, a ANEEL definiu limites globais para as distorções harmônicas, desequilíbrios e flicker no sistema de distribuição. Em todos os casos, é da Concessionária Distribuidora a responsabilidade pela gestão desses limites.

Para se avaliar o impacto da instalação do acessante no ponto de conexão na qualidade da energia elétrica deverão ser obrigatoriamente realizados estudos específicos de Qualidade de Energia Elétrica (QEE).

Esses estudos são necessários quando a qualidade do produto fornecido aos demais consumidores puder ser afetada pela conexão de uma nova carga ou geração, capazes de alterar os itens de qualidade do produto, no que se refere à tensão em regime permanente e aos fenômenos de distorções harmônicas, flutuações de tensão, desequilíbrios de tensão e variações de tensão de curta duração.

As conclusões desses estudos e/ou recomendações deverão constar no parecer de acesso.

Entretanto, caso sejam exigidos sem que as cargas sejam suficientes para afetar significativamente a qualidade de tensão da rede, tais estudos poderão onerar desnecessariamente os acessantes (consumidores ou geradores).

Com o objetivo de simplificar essa avaliação prévia, nesse trabalho são propostas metodologias simplificadas, capazes de fundamentar a análise dos possíveis impactos dos vários tipos de cargas perturbadoras, a partir de informações simples a respeito do sistema elétrico tais como a potência de curto circuito trifásica no ponto de conexão (SCC_{3f}) e a potência nominal das cargas.

Nos casos em que os critérios de avaliação simplificados sejam violados, as cargas serão reconhecidas como potencialmente perturbadoras e serão solicitados ao acessante estudos de impacto, definindo, se necessária, a atenuação ou correção dos distúrbios provocados nas instalações da rede elétrica da distribuição, conforme os critérios do PRODIST e da própria Distribuidora.

Em todos os casos em que as cargas forem reconhecidas como potencialmente perturbadoras, além dos estudos de impactos será necessária a realização de programas de medição antes e após a ligação da carga e dos dispositivos de mitigação que se fizerem necessários.

5 CARGAS OU GERAÇÕES POTENCIALMENTE PERTURBADORAS

São potencialmente perturbadoras as cargas ou gerações cuja operação possa afetar os itens de qualidade de produto da rede de distribuição, tais como:

- variações nos níveis de tensão da rede;
- elevações nos níveis de distorções harmônicas na tensão;
- desequilíbrio nas tensões da rede;
- flutuações no valor eficaz da tensão;
- variações de curta duração na tensão;
- variações de frequência.

A seguir listam-se algumas das principais cargas potencialmente perturbadoras, de acordo com os itens de qualidade:

Distorções harmônicas: Fornos elétricos a arco (tipo fusão, tipo panela ou fornos para ferroligas), fornos de indução em média frequência, motores controlados por inversores ou conversores, retificadores e conversores, geradores fotovoltaicos ou eólicos conectados por inversores, transformadores e reatores com núcleo saturado, compensadores estáticos de tensão e todas as cargas e equipamentos não lineares em geral.

Cintilação luminosa (flicker): Fornos elétricos a arco (com exceção de fornos a arco submerso), cargas com corrente continuamente variável, tais como laminadores, compressores de êmbolo, e processos de soldagem elétrica industrial. Deverão ser investigados os efeitos sobre a tensão de geradores fotovoltaicos com geração variável no tempo.

Desequilíbrios: cargas aleatórias tais como fornos elétricos a arco e cargas monofásicas ou bifásicas em geral. Ressalta-se que as causas mais frequentes de desequilíbrios nas redes mais frequentemente gerados na própria rede de distribuição.

Variações de Tensão de Curta Duração: São normalmente originadas na própria rede elétrica, mas também podem ser devidas a diversos outros fatores. Pode-se citar o desligamento súbito de geradores, a partida de motores de indução, a manobra de blocos de carga ou equipamentos tais como fornos elétricos e fornos de indução em geral, motores com carga variável, laminadores, quando provocam variações de tensão superiores a 10% da tensão em torno da nominal, com durações de 1 ciclo a 3 minutos.

Variações de tensão na rede: Geralmente têm amplitudes de até 10% em torno da tensão da rede. Normalmente são devidas a partidas de motores de indução, manobra de blocos de carga ou equipamentos tais como fornos elétricos e fornos de indução em geral, motores com carga variável, laminadores, desligamento súbito de geradores, aparelhos de raio x, linhas industriais de soldagem, e demais cargas com corrente variável ou temporária.

Variações de frequência: Na maior parte das vezes, nem as cargas nem a geração atendida pela rede de distribuição em alta ou média tensão possuem magnitude suficiente para provocar variações de frequência em regime permanente, a não ser em situações específicas, tais como a operação ilhada de partes da rede de distribuição. Por isso esse fenômeno merece tratamento específico, e foge aos objetivos desse trabalho.

5.1 VARIAÇÕES ESPORÁDICAS NOS NÍVEIS DE TENSÃO

Manobra de blocos de cargas, partidas de motores elétricos, chaveamento de bancos de capacitores ou reatores, rejeição de carga ou variações na potência de geradores são causas frequentes de variações indesejadas de tensão nos sistemas de distribuição.

Embora com amplitudes inferiores às variações caracterizadas como VTCD, essas perturbações, mesmo que de caráter esporádico, são normalmente mais frequentes que os VTCD, e podem afetar a qualidade de atendimento aos consumidores e operação do sistema de distribuição. Isso pode ocorrer no caso de cargas e equipamentos afetados pela amplitude da tensão, tais como os motores de indução, que convertem oscilações de

tensão em oscilações de corrente e de conjugado, às vezes com amplitude muito maior.

Essas perturbações tornam-se mais intensas quando a conexão de tais equipamentos ocorre em partes das redes eletricamente mais fracas em relação à magnitude das potências ativas e reativas envolvidas na conexão. Em alguns casos podem afetar o controle e a manutenção de perfis adequados na tensão na rede elétrica de distribuição.

Cabe ao planejamento da expansão evitar que essas variações assumam amplitudes excessivas, fazendo com que as cargas e gerações sejam conectadas a redes de capacidade elétrica compatível com o porte e as características da carga ou da geração, definindo, caso necessário, reforços no sistema elétrico para garantir esta condição.

Dessa forma, evita-se que as variações de tensão impostas à rede elétrica durante a operação ou manobra dessas cargas ou gerações atinjam níveis prejudiciais aos demais consumidores e à operação da rede elétrica.

Para isso, devem ser previamente definidos e observados os critérios para a conexão de acessantes e consumidores, constantes das normas de distribuição específicas.

Como critério de planejamento aplicável às manobras de carga, capacitores e reatores e na partida de motores, recomenda-se que na ligação ou desligamento desses equipamentos a variação de tensão imposta ao sistema de distribuição seja limitada a 5% da tensão nominal no ponto de conexão.

No caso de partida de motores de indução conectados em média tensão, essas variações devem ser limitadas a 5% da tensão nominal na área urbana. Na área rural a variação de tensão poderá chegar a 7,5% da tensão nominal, desde que não seja afetado o funcionamento dos demais consumidores ligados à rede elétrica.

No caso de conexão de geradores, a amplitude da variação de tensão provocada na rede de distribuição pela perda súbita da geração total da central geradora também não deverá exceder 5% da tensão nominal. Nesse caso será considerada nas simulações apenas a geração do acessante em análise, e desconsideradas as demais usinas porventura conectadas ao mesmo alimentador de distribuição. A amplitude da variação é avaliada não só no ponto de conexão, mas em todo o sistema elétrico de distribuição afetado.

Destaca-se que os níveis de potência reativa injetada ou consumida podem afetar a amplitude da variação. Assim, ajustes mais adequados dos níveis de tensão e da potência reativa nos pontos de controle podem amenizar essas variações.

A seguir são relacionadas as principais cargas, gerações e equipamentos potencialmente perturbadores, no tocante às variações provocadas na tensão.

Partida de motores elétricos

Devido às elevadas correntes de partida, os motores indução constituem uma das principais fontes de variações de tensão na rede elétrica. Na grande parte dos casos a amplitude dessas variações é inferior a 10% da tensão nominal da rede, e dessa forma, não podem ser classificadas como VTCD pela metodologia atual, estabelecida no Módulo 8 do PRODIST.

A amplitude das variações de tensão na partida de motores de indução será maior quando:

- Maior for a potência nominal dos motores;
- Maior for a relação entre corrente de partida e corrente nominal das máquinas;
- Menor for a capacidade de curto circuito no ponto de conexão do acessante.

Considerando os motores de indução em partida direta, a corrente de partida varia de 5 (motores de grande porte) a 8 vezes a corrente nominal (motores de pequeno porte). Considerando-se a tensão aproximadamente constante nos terminais, segue-se que a potência aparente na partida também varie de 5 a 8 vezes a potência aparente nominal dos motores.

Considerando-se uma variação de tensão na conexão durante a partida de 5%, segue-se que nos casos em que a potência nominal dos motores for maior que 1% da capacidade de curto circuito trifásico no ponto de conexão a partida direta poderá ocasionar a ultrapassagem do limite de 5% de variação de tensão.

Dessa forma propõe-se o seguinte critério de reconhecimento de motores como cargas potencialmente perturbadoras, com base na potência aparente nominal S_N e na potência de curto circuito trifásico no ponto de interligação com o sistema Cemig D, S_{CC} :

SE:

$$\frac{8 \cdot S_N}{S_{CC}} \cdot 100 \geq 5\%$$

Realizar estudos de partida de motores e, se necessário, definir os dispositivos adequados de partida.

Fornos a arco

Do ponto de vista da variação de tensão imposta à rede elétrica, o maior impacto devido à operação de um forno a arco ocorre na partida do forno, durante a fase de fusão, com curto circuito franco entre os eletrodos. Entretanto os limites estabelecidos em função do nível de cintilação luminosa na rede são muito mais restritivos que as variações de tensão na ligação do forno a arco.

A variação de tensão pode ser calculada de forma aproximada em função da potência de curto circuito do forno a arco e da potência de curto circuito trifásico no ponto de conexão do consumidor ou acessante com a concessionária. A potência de curto circuito do forno a arco deve ser informada pelo acessante (consumidor ou gerador).

Os níveis de curto-circuito máximos do forno podem ser calculados a partir dos parâmetros elétricos de sua rede de alimentação. Esse circuito inclui os seguintes

parâmetros:

- Impedâncias da rede elétrica do ponto de conexão com a rede de distribuição ao transformador do forno;
- Impedância de dispersão do transformador AT-BT do forno;
- Impedância dos condutores flexíveis de BT e dos eletrodos.

Nessas condições, o transformador de suprimento do forno deve ser considerado com o tape de maior tensão do secundário ligado. Quando não se dispuser dos parâmetros elétricos do circuito de média e baixa tensão do forno, uma estimativa do curto circuito trifásico (SCC_{eqf}) pode ser obtida em função da potência nominal do forno (S_N), conforme a expressão empírica a seguir:

$$SCC_{eqf} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot S_N$$

A variação de tensão causada pela entrada em operação do forno pode ser dada pela expressão:

$$\Delta V_{eqf} = \frac{SCC_{eqf}}{SCC_{3\phi}} \cdot 100$$

Entretanto, dentre as perturbações causadas pelos fornos a arco, a mais preocupante é a flutuação de tensão na rede elétrica, que por sua vez causa cintilação luminosa em uma faixa de frequência capaz de perturbar a visão humana (flicker). Muito mais que as variações de tensão na rede, na prática é esse efeito que vai predominar na caracterização de um forno elétrico a arco como carga potencialmente perturbadora.

Manobra de blocos de cargas

Manobra de blocos de carga ou equipamentos tais como fornos de indução ou cargas pouco comuns, tais como laboratórios de teste de capacidade de curto circuito, por exemplo, podem causar perturbações da tensão, quando a entrada ou saída desses blocos de carga.

Embora esse impacto possa ocorrer na alta tensão, dependendo das dimensões da carga, seu impacto é mais preocupante nas redes de distribuição de média tensão, devido aos problemas operativos que poderiam ser provocados no controle de perfil de tensão dos alimentadores, devidos a interações com o comportamento dos reguladores de tensão instalados nos alimentadores.

Em boa medida esses impactos podem ser estimados de forma simplificada com base na potência nominal dos blocos de carga a serem manobrados e a potência de curto circuito trifásica no ponto de conexão.

Como critério de avaliação do potencial de perturbação, recomenda-se a utilização do critério a seguir. Dessa forma, limita-se a variação de tensão devida à manobra de cada bloco de carga a 5% da tensão nominal no ponto de conexão. Esse critério aplica-se à manobra de qualquer bloco de carga que possa ocorrer no sistema elétrico.

SE:

$$\frac{P_N}{S_{CC}} \cdot 100 \geq 5\%$$

Realizar estudos de impacto da variação de tensão na rede.

5.2 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

Uma das principais fontes de desequilíbrios de tensão nas redes elétricas de distribuição é a distribuição desequilibrada de carga ente os alimentadores. Esse aspecto é ainda mais relevante no caso de sistemas de distribuição com grande número de cargas atendidas por ramais monofásicos, como é o caso de grande parte das redes rurais de distribuição na Cemig. Em menor escala também contribui para desequilíbrios na rede a não transposição de alimentadores, ao contrário do que ocorre nas redes de alta tensão.

Além dos desequilíbrios originados na própria rede elétrica, em certos casos podem ser originados de cargas desequilibradas. Tais cargas podem ser monofásicas ou bifásicas, ou cargas cujas correntes por fase apresentem comportamento aleatório, como ocorre com as correntes por fase de fornos elétricos a arco, por exemplo.

No Módulo 8 do PRODIST – revisão 8, o desequilíbrio de tensões é avaliado pelo parâmetro Fator de Desequilíbrio de Tensão (FD), definido de duas formas equivalentes. A primeira, proposta pela IEC e CENELEC, é a mais simples do ponto de vista formal.

$$FD_{\%} = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100$$

A segunda é uma expressão complexa, proposta pela Cigré, que produz resultados muito semelhantes à expressão anterior. O ponto de partida para o cálculo é o parâmetro β , calculado da seguinte forma:

$$\beta = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2)^2}$$

A partir do cálculo de β calcula-se o Fator de Desequilíbrio pela expressão:

$$FD_{\%} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

A segunda expressão permite o cálculo do Fator de Desequilíbrio de Tensão utilizando valores da tensão de fase, obtidos a partir de medições de tensão, ou a partir de resultados fornecidos por simulações de fluxo de carga trifásico, apropriados para redes

de distribuição. Ambos os parâmetros, entretanto, dependem de medição ou simulação.

O limite adotado para FD para a rede de distribuição é de 3%. Esse limite é superior ao anteriormente definido para a rede de distribuição, de 2%. Admitindo-se que o equilíbrio resultante de todas as cargas e do sistema de distribuição propriamente dito não é quadrático, propõe-se como valor limite para os consumidores desequilibrados o patamar de FD = 2%, considerado o limite por consumidor.

Para uma avaliação expedita do desequilíbrio provocado por uma carga desequilibrada propõe-se a utilização de um parâmetro simplificado, capaz de fornecer valores de FD próximos aos fornecidos pelas expressões fornecidas pelo PRODIST. Essas expressões exigem apenas o montante de cargas desequilibradas e o nível de curto-circuito no ponto de conexão.

Para cargas desequilibradas para 1 fase, propõe-se a seguinte expressão, considerando as tensões da rede iguais a 1,0 pu:

$$FD = \frac{\frac{1}{3} \frac{\Delta I_{apu}}{S_{CC_{pu}}}}{1 - \frac{1}{3} \frac{\Delta I_{apu}}{S_{CC_{pu}}}}$$

Supondo-se $\Delta S_{FN} \ll S_{CC_{3F}}$ e que $V_a = 1,0$ pu :

$$FD = \frac{\Delta S_{FN}}{S_{CC_{3\phi}}}$$

Quando se consideram cargas desequilibradas bifásicas o fator de desequilíbrio pode ser calculado da seguinte forma:

$$FD = \frac{\frac{\Delta S_{FF}(-30^\circ)}{S_{CC_{3\phi}}}}{V_{aN} - \frac{\Delta P_{FF}(+30^\circ)}{S_{CC_{3\phi}}}}$$

De forma análoga, supondo-se $\Delta S_{FF} \ll S_{CC_{3F}}$ e que $V_a = 1,0$ pu:

$$FD = \frac{\Delta P_{FF}}{S_{CC_{3\phi}}}$$

Nos casos práticos, no ato da informação sobre a carga, o fator de desequilíbrio pode ser calculado de forma aproximada para qualquer carga desequilibrada, seja uma carga de potência desequilibrada monofásica ou de potência desequilibrada bifásica. Em ambos os casos, o fator de desequilíbrio é calculado dividindo-se a potência desequilibrada pela potência de curto circuito. Calculado dessa forma aproximada, o Fator de Desequilíbrio é denominado pela literatura de Fator de Assimetria.

Como primeira forma de análise, recomenda-se que seja considerado como limite por consumidor o fator de desequilíbrio igual a 2%. Esse valor foi obtido considerando-se que o fator de Desequilíbrio total da rede resulta de uma combinação quadrática do desequilíbrio da nova carga e do desequilíbrio residual preexistente na rede. Supondo-se no limite que ambos sejam iguais, define-se o limite de 2,1%, arredondado para 2%.

Portanto, o procedimento simplificado para avaliação de desequilíbrio será:

SE:

$$\frac{\Delta S_{des}}{S_{cc}} \cdot 100 \geq 2\%$$

Realizar estudos de impacto dos desequilíbrios de tensão na rede.

5.3 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. São devidas à operação de cargas e equipamentos de características não lineares ligados ao sistema elétrico.

A fim de evitar que essas distorções afetem a qualidade da onda de tensão na rede e a qualidade do produto aos demais consumidores, bem como o funcionamento dos equipamentos da própria concessionária, a ANEEL, por meio Módulo 8 do PRODIST, estabelece limites globais a serem observados nas barras de todas as concessionárias de distribuição nacionais.

Esses limites se referem ao efeito combinado da operação conjunta de cargas e de equipamentos de comportamento não linear, já conectados à rede elétrica, e da carga potencialmente perturbadora, a ser conectada ao sistema de distribuição.

A revisão 8 do Módulo 8 do PRODIST, que deverá entrar em vigor a partir de 01/01/2017 efetuou uma série de alterações na terminologia e na metodologia de avaliação das distorções harmônicas.

Os limites foram estabelecidos considerando valores que possam ser ultrapassados por apenas 5% dos valores medidos em 1088 leituras válidas, obtidos conforme a metodologia de medição estabelecida no PRODIST. Os valores são mostrados na tabela a seguir.

Tabela 1 – Limites para distorção harmônica na rede de distribuição – Módulo 8 - PRODIST

Limites para distorção harmônica da tensão da rede				
Parâmetro	Descrição	Limites 95%		
		$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT (%)	Distorção harmônica total de tensão	10%	8,0%	5,0%
DTTP(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	2,5%	2,0%	1,0%
DTTi(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	7,5%	6,0%	4,0%
DTT3(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	6,5%	5,0%	3,0%

Esses limites se referem a valores verificáveis na rede de distribuição, resultantes da contribuição de todas as cargas e equipamentos não lineares conectados à rede. Em cada barra do sistema essa influência se deve ao efeito combinado das cargas perturbadoras conectadas localmente, bem como das fontes de distorções conectadas remotamente no sistema. São limites de caráter global, e só podem ser avaliados de forma incontestável por meio de medições antes e após a instalação da carga.

Por questões práticas, é mais adequado o controle preventivo do nível de distorções harmônicas presentes na rede, efetuado antes que as cargas sejam conectadas. Antes da implantação dos projetos, na fase de viabilidade econômica e financeira, é mais fácil a obtenção de recursos para as eventuais ações corretivas, cujos custos são, no geral, muito inferiores aos montantes envolvidos no financiamento.

Após a implantação, recursos para correção de qualidade vão ser debitados nas contas de despesa, e afetam diretamente a contabilização dos resultados financeiros do negócio. Assim, é muito mais difícil a obtenção de recursos.

Por isso são necessários estudos prévios bastante elaborados, que se exigidos de forma generalizada podem onerar desnecessariamente o cliente, consumidor ou acessante de um modo geral.

A fim de avaliar o potencial perturbador de determinada carga não linear, é conveniente o uso de um critério preliminar de avaliação, utilizando uma abordagem simplificada, e capaz de prever com bastante precisão o potencial perturbador da carga.

Assim, propõe-se como política a ser realizada pela Cemig, a adoção de critérios simplificados de identificação de cargas potencialmente perturbadoras por meio de análises simplificadas, mas com precisão suficiente para identificar as cargas não lineares que não representem riscos de provocar perturbações excessivas na rede elétrica. Dessa maneira, apenas as cargas com grande possibilidade de provocar distorções harmônicas significativas seriam examinadas por meio de estudos específicos. Nesse caso, a campanha de medições tem a função de comprovar a eficiência das ações mitigadoras.

Apesar de a regulamentação brasileira se basear na metodologia IEC, os critérios contidos no documento IEEE std. 519-1992, “*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*” permitem uma avaliação mais expedita do potencial de perturbação de uma carga não linear sem a necessidade de análises muito sofisticadas e estudos relativamente onerosos para o cliente.

Embora suas premissas sejam bastante diferentes das premissas do IEC, que serviram de base referencial para a elaboração dos textos dos critérios do PRODIST e PROCEDIMENTOS DE REDE, são de uso bastante prático para limitar perturbações devidas a cargas potencialmente perturbadoras.

Recomenda-se a utilização dos critérios de limitação do padrão IEEE, postos na 519-1992, como metodologia de abordagem inicial. Nesse caso, recomenda-se que os limites estabelecidos pela norma IEEE 519 sejam comparados com o somatório das correntes harmônicas informadas pelo acessante.

Casos esses limites sejam ultrapassados, a concessionária determinará ao cliente a realização de estudos de distorção harmônica para a instalação dos equipamentos de mitigação necessários. Independente da instalação ou não de filtros, a Concessionária deverá determinar a realização de campanhas de medição de distorção harmônica de tensão antes e após a conexão das cargas, em conformidade com os critérios, a metodologia e os procedimentos de medição expostos no PRODIST – Módulo 8, e pela ABNT.

A tabela seguinte mostra os limites de corrente harmônica por acessante para os acessantes interligados ao sistema de distribuição em média tensão da Cemig D. Nesta norma a grandeza TDD (Total Demand Distortion) é definida como a distorção harmônica total da corrente, em % da máxima demanda da corrente de carga correspondente à demanda máxima da carga. $Scc_{3\phi} P_{carga}$

Tabela 2 – Limites de corrente Harmônica por Consumidor (conforme norma IEEE 519 - 1992)

Limites por consumidor para distorção harmônica de Corrente $V \leq 34,5$ kV (Baseados na Norma IEEE - 519)						
$Scc_{3\phi} / P_{c \text{ não linear}}$	Valores percentuais das correntes harmônicas					TDD (%)
	$h \leq 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$h > 35$	
$k \leq 20$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 < k \leq 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 < k \leq 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 < k \leq 1000$	12	5,5	5	2	1	15
$k \geq 1000$	15	7	6	2,5	1,4	20

A aplicação dos critérios do IEEE requer o conhecimento da potência de curto circuito no ponto de conexão (PAC), do valor da carga não linear e do total das correntes harmônicas esperadas fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos não lineares.

O espectro de correntes harmônicas dos equipamentos deverá ser comparado com os limites estabelecidos pela norma IEEE. Caso sejam ultrapassados, efetuar estudos

específicos de distorções harmônicas, propondo a instalação de filtros, se necessário, e utilizando os critérios do PRODIST, Módulo 8, revisão 8.

Antes e após a instalação da carga com os eventuais dispositivos de atenuação o acessante deverá realizar medições conforme os procedimentos estabelecidos pelo PRODIST no Módulo 8.

Exemplo: Como aplicação dos critérios podemos considerar o caso seguinte:

Consumidor com demanda máxima contratada de 750 kW, fator de potência 0,92. Esse consumidor deverá instalar um forno de indução de média frequência com as características seguintes:

- Potência Nominal do forno de indução: 750 kW
- Demanda contratada: 750 kW
- Fator de Potência: 0,92
- Curto Circuito Trifásico : 24,4 MVA
- Frequência de alimentação: 60 Hz
- Frequência de alimentação do forno: 400 Hz
- Tensão nominal: 13,8 kV
- Perturbações geradas pela carga: É alimentada por um ciclo-conversor. No lado de 60 Hz, a conexão é feita através de um conversor de 6 pulsos. O fabricante forneceu o valor das correntes harmônicas em valores percentuais, tomando por base a fundamental.
- Relação MVAcc/MVA demanda : 35,36

Análise e conclusão

A relação entre a potência de curto circuito trifásica e a potência nominal da carga estão na faixa de 20 a 50. Para essa faixa de valores da relação de curto circuito os valores percentuais das componentes harmônicas em relação à fundamental estão mostrados no quadro seguinte.

Tabela 3 - Valores das componentes máximas de correntes harmônicas, em valores percentuais da nominal

Porcentagens de Harmônicos para Retificadores de 06 Pulsos 750 kW, fator de potência 0,8 (Dados do fabricante)									
Carga não Linear		Composição harmônica percentual da corrente							
Potência Nominal	Fator de Potência	5º	7º	11º	13º	17º	19º	23º	23º
750 kW	0,92	17,5%	11,0%	4,5%	2,9%	1,5%	1,0%	0,9%	0,8
IEEE	20<k<50	7,0%	7,0%	3,5%	3,5%	2,5%	1,0%	1,0%	1,0%

A comparação entre as duas tabelas mostra a violação dos critérios para os 5º e 7º e 11º harmônicos. Assim, recomenda-se a realização de estudos de distorções harmônicas recomendando, se necessária, a instalação de filtros para as componentes harmônicas geradas, tomando como base os critérios estabelecidos no PRODIST, Módulo 8, revisão 8 e os limites por acessante da Concessionária. Os parâmetros dos filtros deverão ser apresentados à Cemig, para conhecimento e análise. Para se avaliar a eficiência dos filtros

deverão ser realizadas medições de distorções harmônicas no ponto de conexão antes da ligação da carga, e após a ligação da carga e instalação dos filtros projetados.

5.4 CINTILAÇÕES LUMINOSAS (EFEITO FLICKER)

As flutuações de tensão se caracterizam pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea. Dentre as cargas capazes de provocar variações de tensão podem ser destacadas:

- Variações aleatórias - exemplo: fornos elétricos a arco;
- Variações repetitivas- exemplo: laminadores, máquinas de solda, laminadores, elevadores de minas e ferrovias;
- Variações esporádicas- exemplo: partida de motores, manobra de blocos de carga.

Alterações no valor eficaz da tensão provocam variações na potência fornecida às lâmpadas elétricas. Essas variações de potência provocam variações de luminosidade, ou efeito “flicker”. Dependendo das frequências presentes nas variações de luminosidade, pode ocorrer incômodo visual para as pessoas. Esse incômodo é mais pronunciado no caso de lâmpadas incandescentes, devido às características específicas dessas lâmpadas. Entretanto pode ocorrer, embora com intensidade menor, em outras espécies de lâmpada.

Os efeitos nos sistemas elétricos, decorrentes das flutuações de tensão são oscilações de potência e torque das máquinas elétricas, queda de rendimento dos equipamentos elétricos, interferência nos sistemas de proteção.

A regulação internacional para efeito flicker foi desenvolvida com foco exclusivo em lâmpadas incandescentes, que se tornaram obsoletas, e que atualmente não são sequer produzidas ou comercializadas no Brasil, a não ser em aplicações restritas. Os atuais modelos da avaliação de impacto de flicker no ser humano vêm sendo questionados pela comunidade técnica.

A metodologia adotada tanto no âmbito do IEC quando nos círculos influenciados pelas recomendações do IEEE se baseiam em estimativas dos parâmetros PST e PLT, que são estabelecidos conforme norma específica do IEC, a IEC 61000-4-15, “*Flickermeter – Functional and Design Specifications*”.

Esse documento determina como são medidos e calculados os valores de P_{ST} e P_{LT} , fatores de severidade probabilísticos, determinados a partir de estimativas normalizadas da percepção do incômodo instantâneo causado pelas flutuações luminosas em seres humanos.

Levam em consideração a amplitude e o espectro de frequências da variação, fornecendo uma indicação da intensidade do incômodo causado aos consumidores, mas os experimentos foram utilizados com lâmpadas incandescentes.

O parâmetro P_{ST} (fator de severidade “short-time”) é obtido da seguinte expressão, obtida por meio de análises estatísticas:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$$

Na equação o parâmetro P_{ST} se refere aos resultados das medições instantâneas da sensação de “flicker”, medidas por meio de instrumento adequado, construído de acordo com o procedimento estabelecido nas Normas IEC (International Electrotechnical Commission): IEC 61000-4-15 (“Flickermeter – Functional and Design Specifications”).

Esse procedimento é adotado no sistema elétrico brasileiro, considerando-se um período de amostragem de 10 minutos. Os índices 0,1, 1, 3, 10 e 50 referem-se aos valores de “flicker” ultrapassados por, respectivamente, 0,1%, 1%, 3%, 10% e 50% do tempo amostrado. O Pst fornece, portanto, uma avaliação estatística de um fenômeno aleatório.

O parâmetro P_{LT} , dá uma medida do comportamento da carga durante um período de 2 horas, e é calculado considerando 12 valores consecutivos de Pst (calculados em intervalos de 10 minutos). O parâmetro Plt (fator de severidade “long-time”) é obtido da seguinte expressão:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{i=12} (P_{sti})^3}$$

A não ser que se utilizem modelos de simulação altamente sofisticados, os valores de P_{LT} e P_{ST} só são obtidos por meio de medições. Entretanto, podem ser obtidos por meio de estimativas aproximadas em função das características da carga e da robustez do sistema elétrico. Esta é medida pelo nível de curto-circuito trifásico da rede, enquanto a primeira é representada por parâmetros empíricos, obtidos da experiência prática.

A Tabela seguinte fornece os limites a serem utilizados para a avaliação do desempenho do sistema de distribuição quanto às flutuações de tensão. Os limites se referem aos valores de P_{ST} excedidos apenas por 5% dos valores medidos, obtidos conforme metodologia estabelecida no PRODIST, Módulo 8. Nessa revisão do Módulo 8 não foram estabelecidos limites para o P_{LT} .

Tabela 4 - Limites para cintilação luminosa (flicker) na rede de distribuição – Módulo 8 - PRODIST

Limites de cintilação luminosa			
Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0\text{kV}$	$1,0\text{kV} < V_n < 69\text{kV}$	$69\text{kV} \leq V_n < 230\text{kV}$
Pst95%	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Considerando-se os consumidores de média e alta tensão, os principais causadores de cintilações luminosas são os fornos a arco, devido às características das flutuações de tensão que provocam na rede. Fornos elétricos a indução, resistivos, ou mesmo fornos a

arco submerso (fornos panela para refino, fornos elétricos a arco submerso para produção de ferroligas) não representam fontes preocupantes de flicker, a não ser que sejam instalados em sistemas de distribuição extremamente precários.

Com o tempo, foram sendo estabelecidos critérios empíricos para uma avaliação preliminar dos impactos dos fornos a arco na rede, em função da potência de curto-circuito trifásica da rede e das grandezas nominais dos fornos a arco e de suas características de operação.

Assim, os níveis de P_{ST} provocados na rede devidos à operação dos fornos pode ser calculado da seguinte forma, em função da potência de curto circuito equivalente do forno e da potência de curto circuito nominal da rede:

$$P_{st} = K_{st} \cdot \frac{S_{CC_{eqf}}}{S_{CC_{sist}}}$$

O parâmetro K_{st} varia de 0,65 a 0,85, e depende da forma de operação do forno. Por medida de segurança, dada a incerteza existente nas fases iniciais dos contatos, recomenda-se a adoção de um valor de K_{st} igual a 0,85. O P_{st} ser estimado da seguinte forma:

$$P_{st_{est}} = 0,85 \cdot \frac{S_{CC_{eqf}}}{S_{CC_{sist}}}$$

Para um único forno instalado, a potência de curto circuito do forno equivalente é igual à potência de curto circuito equivalente do forno, dada pela expressão empírica a seguir:

$$S_{CC_{eqf}} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot S_N$$

Na ocorrência de mais de um forno a arco alimentado pela mesma barra do sistema de distribuição, o efeito resultante não será necessariamente a soma dos impactos de cada forno sobre os níveis de flicker. O efeito combinado depende do nível de coincidência da operação dos fornos. De uma forma geral, o efeito flicker combinado pode ser estimado pela expressão a seguir.

$$P_{st_{eqv}} = \left(\sum_{i=1}^n P_{st_i}^m \right)^{1/m}$$

O parâmetro m é definido da seguinte forma:

- Fornos operando sempre de forma simultânea: $m = 1$
- Fornos operando eventualmente de forma simultânea: $m = 2$
- Fornos operando raramente de forma simultânea = 3
- Na falta de informações adicionais, adota-se $m=2$.

SE:
 $Pst_{equiv} \geq \text{limite PRODIST}$

Realizar estudos de impacto de cintilação luminosa (flicker) na rede e propor, se necessária, a instalação de equipamentos ou medidas mitigadoras.

O flicker também pode ser provocado na rede elétrica por cargas com variações repetitivas de corrente, tais como laminadores, soldas elétricas e compressores. Entretanto a metodologia utilizada para a avaliação do nível de flicker não se aplica a tais cargas. Cargas repetitivas requerem limites mais restritivos de tensão. Como critério simplificado para avaliação de cargas repetitivas, propõe-se a adoção da seguinte expressão para o estabelecimento de limites de tensão para cargas repetitivas:

$$V_{\%MAX} = \frac{15}{(3 + \sqrt{f})}$$

Essa expressão é utilizada para limitar variações de tensão devido a motores de indução com regime de partidas repetitivas. A frequência de variações de tensão f é dada em variações por minuto. Nesse caso, as variações de tensão seriam calculadas pela expressão:

$$\Delta V_{\%} = \frac{\Delta S_N}{S_{CC}} \cdot 100$$

5.5 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA GERAÇÃO (VTCD)

Variações de tensão de curta duração (VTCD) são conceituadas pelo PRODIST como desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos. Constituem-se a maior fonte de reclamações sobre qualidade de energia por parte dos clientes interligados ao sistema de distribuição.

Na verdade se referem a uma variada gama de variações na amplitude da tensão, com interrupções, afundamentos e elevações de tensão, momentâneas (duração de 1 ciclo a 3 segundos) ou temporárias (duração de 3 segundos a 3 minutos).

A tabela seguinte, extraída do PRODIST, Módulo 8, apresenta a classificação das VTCD adotada no Brasil, em valores pu da tensão de referência.

Tabela 5 – Classificação das Variações de tensão de Curta Duração na rede de distribuição – Módulo 8 - PRODIST

Variações de Tensão de Curta Duração - VTCD			
Classificação da VTCD	Denominação	Duração	Amplitude em relação à tensão de referência
Variação momentânea de tensão	Interrupção Momentânea de tensão - IMT	duração ≤ 3 segundos	amplitude $< 0,1$ pu
	Afundamento Momentâneo de tensão - AMT	1 ciclo \leq duração ≤ 3 segundos	$0,1$ pu $<$ amplitude $< 0,9$ pu
	Elevação Momentânea de tensão - EMT		amplitude $> 1,1$ pu
Variação Temporária de tensão	Interrupção Temporária de tensão - ITT	3 segundos $<$ duração < 3 minutos	amplitude $< 0,1$ pu
	Afundamento Temporário de tensão - ATT		$0,1$ pu $<$ amplitude $< 0,9$ pu
	Elevação Temporária de tensão - ETT		amplitude $> 1,1$ pu

Grande parte das VTCD é originada no próprio sistema elétrico, causadas por faltas nas linhas e instalações do sistema elétrico. Entretanto, em função das características da rede e das dimensões e características da carga, alguns tipos de VTCD podem ser provocadas por cargas na rede elétrica, tais como a partida de motores de indução, manobra de blocos de carga ou ligação de cargas e equipamentos de porte elevado em relação à robustez elétrica da rede no ponto de conexão da carga.

Uma boa medida da robustez elétrica do sistema de distribuição é a potência de curto circuito trifásica da rede da distribuidora no ponto de conexão da rede. Assim, uma estimativa preliminar da variação de tensão provocada na rede seria:

$$\Delta V_{\%} = \frac{S_N}{S_{CC_{3\phi}}}$$

Na expressão proposta S_N é a potência aparente da carga durante a ocorrência do VTCD e $S_{CC_{3\phi}}$ a potência de curto circuito trifásica na rede. Ressalta-se que as variações de tensão causadas por manobra de carga na rede são limitadas a 5%, conforme posto no item 6.2. O critério será:

SE:

$$\Delta V_{\%} \geq 10\%$$

Realizar estudos variações de tensão de curta duração na rede e propor as medidas mitigadoras, se necessárias

6 QUADRO RESUMO

Variações de tensão de curta duração (VTCD) são conceituadas pelo PRODIST como desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos. Constituem-se a maior fonte de reclamações sobre qualidade de energia por parte dos clientes interligados ao sistema de distribuição.

Tabela 6 – Critérios para avaliação do potencial de perturbações de qualidade de energia para cargas de distribuição

ANÁLISE DO POTENCIAL DE PERTURBAÇÃO DA QEE			
Impactos	Cargas	Parâmetros para avaliação	Critério de classificação
Distorções harmônicas	Motores controlados por inversores ou conversores, retificadores, conversores, fornos de indução em média frequência, fornos elétricos a arco, geradores fotovoltaicos ou eólicos conectados por inversores, transformadores e reatores com núcleo saturado, compensadores estáticos de tensão e todas as cargas e equipamentos não lineares em geral.	$SCC_{3\phi} / P_{c \text{ não linear}}$	Conforme tabela Std. IEEE 519 - 1992
Flicker	Fornos elétricos a arco (com exceção de fornos a arco submerso), laminadores, compressores de êmbolo, processos de soldagem elétrica industrial e cargas com correntes continuamente variáveis, gerações sujeitas a variações aleatórias.	Para fornos a arco $P_{st_{ext}} = 0,85 \cdot \frac{SCC_{ext}}{SCC_{int}}$ Para outras cargas $\Delta V_{\%} = \frac{\Delta S_N}{S_{CC}} \cdot 100$	Para fornos a arco $P_{st_{ext}} > \text{limite Prodinst}$ Outras cargas $V_{\%MAX} = \frac{15}{(3 + \sqrt{f})}$
Desequilíbrios	cargas aleatórias tais como fornos elétricos a arco; cargas monofásicas ou bifásicas em geral.	$FD = \Delta S_{des} / SCC_{3\phi}$	$FD > 2\%$
Variações nos níveis de Tensão	Motores de indução na partida, manobra de blocos de carga, manobra de fornos elétricos e fornos de indução, motores de carga variável, laminadores, geradores, aparelhos de raio x, linhas de soldagem e demais cargas com corrente variável ou temporária.	Partida de motores $\Delta V = \frac{8 \cdot S_N}{S_{CC}} \cdot 100$ Outras cargas $\Delta V = \frac{S_N}{S_{CC}} \cdot 100$	$\Delta V \geq 5\%$
Variações de tensão de curta duração - VTCD	Partida de motores de indução, manobra de blocos de carga, partida de fornos elétricos a arco e de fornos de indução, motores de carga variável, laminadores, geradores, aparelhos de raio x, linhas de soldagem e demais cargas com corrente variável ou temporária.	Partida de motores $\Delta V = \frac{8 \cdot S_N}{S_{CC}} \cdot 100$ Outras cargas $\Delta V = \frac{S_N}{S_{CC}} \cdot 100$	$\Delta V \geq 10\%$

7 PROCEDIMENTO PARA CARGAS POTENCIALMENTE PERTURBADORAS

Caso algum dos critérios de reconhecimento de cargas perturbadoras seja violado, as cargas serão consideradas potencialmente perturbadoras. Nesse caso deverão ser seguidos os seguintes passos:

- O acessante deverá realizar os estudos específicos que se fizerem necessários e propor a instalação de equipamentos de atenuação requeridos;
- A Cemig deverá analisar os estudos, propondo alterações se necessário;
- Após o aceite dos estudos de qualidade, a Cemig deverá anexar o estudo de QEE e suas conclusões ao parecer de acesso;
- Em todos os casos em que as cargas forem reconhecidas como potencialmente perturbadoras, será necessária a realização de programas de medição antes e após a ligação da carga e dos dispositivos de mitigação que se fizerem necessários.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL - Resolução Normativa nº 728, de 21 de junho de 2016.
- [2] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica – Revisão 8.
- [3] CPFL – Norma Técnica GED 10099- Requisitos para Conexão de Cargas Potencialmente Perturbadoras ao Sistema Elétrico da CPFL
- [4] Paulillo, Gilson; Teixeira, Mateus; Bacca; Ivandro e Carvalho Filho, José Maria de. Variações de tensão de curta duração - Curso de qualidade de energia – Capítulo V - Parte I. http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-88_Fasciculo_Cap-V-Qualidade-de-energia.pdf
- [5] Paulillo, Gilson; Teixeira, Mateus; Bacca; Ivandro e Carvalho Filho, José Maria de. Variações de tensão de curta duração - Curso de qualidade de energia – Capítulo V - Parte II. http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-89_Fasciculo_Cap-VI-Qualidade-de-energia.pdf
- [6] Paulillo, Gilson; Teixeira, Mateus. Flutuações de tensão - Curso de qualidade de energia – Capítulo VII. http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-90_Fasciculo_Cap-VII-Qualidade-de-energia.pdf
- [7] IEEE – Recommended Practices and Requirements for harmonic Control in Electrical Power Systems – IEEE Std. 519 – 1992.
- [8] Cai, R.; Blom, J.H.; Myrzik, J.M.A.; Kling, W.L. New flicker weighting curves for different lamp types based on the lamp light spectrum - 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power 2008 (ICHQP), Sept. 28 2008-Oct. 1 2008 , Wollongong, NSW.
- [9] Sollero, Raul Balbi ; Ross, Ricardo Penido D. ; Lima, Antônio G. Garcia ; Varricchio, Sergio Luiz; Valvano, Eliane ; Assis, Tatiana Mariano Lessa de . Modelagem de Fornos a Arco Para Estimativa de Flutuação de Tensão –XV SNTPEE – Grupo X – Nova Iguaçu – 1999.
- [10] WEG - Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção. <http://ecatalogo.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portuques-br.pdf>
- [11] CPFL - Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução – Orientação técnica – Campinas, 10/08/2000.