



Diretoria de Distribuição e Comercialização

Estudo de Distribuição





Critérios e procedimentos para análise e correção dos impactos devidos à conexão de cargas e equipamentos potencialmente perturbadores



Diretoria de Distribuição e Comercialização

Estudo de Distribuição

Crítérios e procedimentos para análise e correção dos impactos devidos à conexão de cargas e equipamentos potencialmente perturbadores

Preparado	Verificado	Aprovado	ED - 5.58
 Jorge Luiz Teixeira Nºc042116  Alécio Melo de Oliveira Nºc044869	 Carlos Alberto Monteiro Leitão Nºc045463	 Luiz Braz Franceschini Nº c045561	ED - 5.58 ÔUT/2018

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 OBJETIVOS	6
3 APLICAÇÃO	6
4 PREMISSAS.....	7
5 SEQUÊNCIA DE AÇÕES PARA AUTOPRODUTORES E PRODUTORES INDEPENDENTES	7
6 SEQUÊNCIA DE AÇÕES PARA CONSUMIDORES.....	8
7 CARGAS OU GERAÇÕES POTENCIALMENTE PERTURBADORAS	10
8 LIMITES GLOBAIS E POR ACESSANTE.....	11
8.1 VARIAÇÕES ESPORÁDICAS DE TENSÃO	12
8.2 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO	14
8.3 DISTORÇÕES HARMÔNICAS	16
8.4 CINTILAÇÕES LUMINOSAS (EFEITO FLICKER)	19
8.5 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA GERAÇÃO (VTCD).....	23
8.6 LIMITES POR CONSUMIDOR – QUADRO RESUMO.....	25
9 ESTUDOS DE IMPACTOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	26
9.1 RELATÓRIO DE IMPACTO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO - RISD.....	27
9.2 ESTUDOS ESPECÍFICOS PARA VARIAÇÕES ESPORÁDICAS DE TENSÃO.....	28
9.3 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO	31
9.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS	32
9.5 CINTILAÇÕES LUMINOSAS (EFEITO FLICKER)	37
9.6 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA GERAÇÃO (VTCD).....	39
10 CONCLUSÕES E QUADRO RESUMO	40
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

No Módulo 8 do PRODIST se aborda a questão da Qualidade de Energia Elétrica sob os aspectos da qualidade do serviço, relativa aos indicadores de continuidade do fornecimento de energia, e da qualidade do produto, relacionada à qualidade da onda e adequação da tensão aos requisitos dos consumidores.

A qualidade do produto, objeto desse trabalho, é associada à conformidade e à permanência das propriedades da onda de tensão em cada uma das três fases da rede elétrica, bem como à adequação das características da tensão alternada fornecida face aos requisitos da carga.

Quanto mais constante a amplitude das ondas trifásicas de tensão, quanto mais essa onda aproximar-se de uma senoide perfeita, mais equilibradas as fases e mais constante a frequência, melhor será a qualidade da tensão, e melhor será a qualidade da energia.

Entretanto não basta que as tensões fornecidas sejam três senoides absolutamente puras e equilibradas. Se os valores eficazes e a frequência das tensões não se mostrarem adequadas aos valores requeridos pelas cargas, instalações e equipamentos que integram o sistema elétrico interligado, o próprio funcionamento da rede poderá ser afetado, e a qualidade comprometida.

Portanto, além das dimensões de conformidade e permanência, o conceito de qualidade do produto, considerado aqui como a qualidade da energia, pressupõe a adequação das características da tensão da rede aos requisitos operativos das cargas e equipamentos.

Todos os componentes da rede elétrica apresentam, em menor ou maior grau, comportamentos variáveis, não lineares e desequilibrados.

Como os sistemas reais têm impedâncias finitas e não lineares, suas tensões sempre serão afetadas pelas cargas e equipamentos que alimentam. Por outro lado, um sistema absolutamente perfeito deveria ter impedâncias lineares e quase nulas, o que seria técnica e economicamente impraticável.

O que se espera de um sistema elétrico é que os aspectos relevantes para a qualidade de energia, os itens de qualidade, sejam mantidos dentro de determinados limites, capazes de assegurar o bom funcionamento da rede, equipamentos e cargas a ela conectados.

O Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST revisão 10) elenca os itens mais relevantes da qualidade do produto:

- tensão de regime permanente;
- fator de potência;
- nível de distorção harmônica;
- nível de desequilíbrios de tensão;
- ocorrência e amplitude das flutuações de tensão;
- ocorrência, amplitude e duração das variações de tensão de curta duração;
- ocorrência e amplitude das variações de frequência.

Entendem-se como potencialmente perturbadoras as cargas, equipamentos ou gerações cuja operação possa afetar a qualidade da tensão na rede de distribuição, ou seja, afetar os itens relevantes da qualidade do produto, em regime permanente ou transitório, com tal amplitude que possa comprometer os níveis de qualidade da rede.

Pelo estabelecido no Módulo 8 do PRODIST, os equipamentos potencialmente perturbadores poderão ser pertencentes a:

- Consumidores de qualquer classe de tensão de distribuição;
- Centrais geradoras de energia;
- Distribuidoras;
- Agentes importadores ou exportadores de energia elétrica;
- Transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão – DIT;

Considerando o sistema Cemig D, mostram-se mais preocupantes os equipamentos e instalações pertencentes aos consumidores e centrais geradoras de energia, e, em menor escala, a distribuidoras e transmissoras com interface com a rede elétrica de distribuição desta Concessionária.

A Resolução Normativa ANEEL nº 728/2016, vigente desde 1º de janeiro de 2017, inseriu várias alterações do Módulo 8 do PRODIST, em sua revisão 8, dentre as quais se destacam a necessidade de realização de estudos específicos de qualidade da energia elétrica, no caso de acessantes potencialmente perturbadores, e o estabelecimento de limites para vários itens de qualidade de tensão. Acrescente-se que as revisões 9, e 10 do mesmo documento, em vigor desde 01/01/2018, mantiveram todas as alterações inseridas pela REN 728/2016.

No item 11.1.2 do mesmo documento determina-se que “*a distribuidora deve definir os tipos de instalações elétricas potencialmente perturbadoras*”.

Atendendo a essa determinação regulatória, A Cemig D estabeleceu critérios para a determinação das cargas potencialmente perturbadoras no Estudo de Distribuição ED-5.57, “*Caracterização de Cargas Potencialmente Perturbadoras*”.

Uma vez que as cargas e equipamentos a serem instalados sejam considerados como potenciais perturbadores, conforme os itens 11.1 e 11.1.1 do Módulo 8, foi tornada obrigatória a realização de estudos específicos de qualidade, para se avaliar o potencial de impacto da conexão e operação do acessante sobre o sistema de distribuição e definição das soluções de mitigação das possíveis perturbações.

Nos itens 11.2 e 11.3 da mesma resolução determinou-se que “*as conclusões dos estudos e/ou recomendações deverão constar no parecer de acesso*” e que “*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*”.

Assim, se as perturbações forem originárias da rede de distribuição, caberá à Concessionária efetuar os estudos específicos necessários, bem como toda a gestão operativa para adequar a amplitude, frequência e duração desses impactos a níveis

compatíveis com os estabelecidos pelo regulador, ou no caso desses limites não terem sido ainda estabelecidos, reduzi-los a valores compatíveis com a operação adequada da rede elétrica e o atendimento aos usuários em condições adequadas.

Quando os distúrbios provierem de instalações, cargas ou equipamentos do acessante gerador, a este caberá realizar os estudos específicos de perturbações afetos à qualidade de energia elétrica, bem como a proposição e instalação de dispositivos, instalações e ações no sentido restringir as perturbações a valores e intensidades conformes aos limites do Módulo 8 do PRODIST.

Da mesma forma, caberá ao acessante gerador a realização das campanhas de medições com e sem a atuação das cargas ou equipamentos perturbadores, para avaliar os impactos destes sobre a qualidade de energia no ponto de conexão. No caso de não haverem limites estabelecidos, essas perturbações deverão ser atenuadas de forma a não interferirem no comportamento de equipamentos e instalações ligadas à rede elétrica.

Cabe à Concessionária analisar os estudos realizados pelo acessante gerador e avaliar a adequação das ações, obras, dispositivos e instalações destinadas à atenuação das perturbações causadas pelas cargas ou equipamentos perturbadores, bem como acompanhar as campanhas de medição dos efeitos perturbadores da carga sobre a rede.

No tocante aos consumidores potencialmente perturbadores, a responsabilidade de elaboração desses estudos é da Distribuidora. Considerando isso, a Cemig D elaborará tais estudos, concedendo ao consumidor o direito de contestá-los por meio de estudos equivalentes. Se aprovados pela Concessionária, suas recomendações e soluções técnicas substituirão as anteriormente feitas pela Cemig D.

Os critérios estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST se referem aos níveis globais de distorção presentes na rede, resultantes da contribuição de várias cargas e dos equipamentos da própria concessionária.

Por isso deverão ser estabelecidos limites aplicáveis a cada acessante isoladamente, de forma a permitir que o efeito resultante das perturbações geradas por vários acessantes não supere os limites estabelecidos no PRODIST para a rede como um todo.

É importante destacar que a rede de distribuição em alta tensão conecta-se à Rede Básica, o que a torna sujeita aos limites estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS.

Portanto, os limites por acessante deverão considerar não só os limites estabelecidos pelo PRODIST como também manter a compatibilidade entre os limites globais praticados na Distribuição em alta tensão e os limites globais praticados em alta tensão no sistema interligado – SIN.

Esse estudo se propõe a oferecer às equipes técnicas da Cemig D e dos acessantes um referencial teórico mínimo, para direcionar esses estudos e subsidiar as equipes técnicas da concessionária e acessantes na avaliação dos estudos específicos de perturbação.

Para isso propõe um roteiro padronizado de estudos de impactos das cargas e equipamentos considerados potencialmente perturbadores ao sistema elétrico.

Esses estudos deverão ser apresentados à concessionária de forma padronizada, constituindo um Relatório de Impactos no Sistema de Distribuição – RISD.

Para a execução do RISD caberá a Concessionária o fornecimento das informações necessárias para a realização dos estudos. O RISD deverá conter:

- Resultados da avaliação de potencial perturbador da carga, emitida pela Cemig D.
- Relação dos estudos de impacto necessários, emitida pela Cemig D.
- Estudos realizados pelo acessante.
- Equipamentos, instalações e ações necessárias para a limitação das perturbações propostos pelo acessante.

2 OBJETIVOS

Este documento tem por objetivos:

- Propor critérios para a análise e avaliação dos impactos das cargas, gerações, equipamentos e instalações potencialmente perturbadoras, servindo de subsídio para a adequação das normas da Cemig D para conexão de consumidores e geradores de energia em média e alta tensão, e observando a necessidade de compatibilizar os níveis de distorção presentes na rede de distribuição Cemig D aos limites globais do ONS e aos requisitos do Módulo 8 do PRODIST, conforme versão vigente desde 01/01/2018.
- Oferecer um referencial teórico mínimo para direcionar a realização dos estudos de impacto e subsidiar as equipes técnicas da concessionária na avaliação dos estudos de perturbação elaborados pelos acessantes e elaboração do RISD - Relatório de Impactos no Sistema de Distribuição.
- Subsidiar o estabelecimento de um processo estruturado para análise, medição e correção dos impactos provocados na rede de distribuição devido à conexão de cargas, gerações, equipamentos ou instalações perturbadoras ao sistema de distribuição da Cemig D.

3 APLICAÇÃO

Este documento aplica-se aos equipamentos potencialmente perturbadores pertencentes a consumidores e produtores de energia de média e alta tensão, bem como outras distribuidoras e transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão – DIT, conectadas ao sistema de distribuição da Cemig D.

Dentre os aspectos da qualidade do produto em regime permanente ou transitório são considerados a tensão em regime permanente, as distorções harmônicas, os desequilíbrios, variações e flutuações de tensão, incluindo as variações de tensão de curta duração e as variações de frequência da rede, devidas à conexão de equipamentos potencialmente perturbadores ao sistema de distribuição em média e alta tensão.

4 PREMISSAS

Na elaboração desse documento foram tomadas como premissas:

1. *Atendimento aos limites de qualidade de tensão determinados no Módulo 8 do PRODIST, revisão Nº 8, vigente desde 01/01/2017.*
2. *Estabelecimento pela Cemig D de limites por acessante, de forma a manter os níveis de qualidade da rede compatíveis com os limites determinados no Módulo 8 do PRODIST.*
3. *Adequação dos níveis de compatibilidade do PRODIST aos do Procedimentos de Rede do ONS, conforme estabelecido no Submódulo 2.8, Módulo 2 dos Procedimentos de rede do ONS, e Módulo 3 do PRODIST.*

5 SEQUÊNCIA DE AÇÕES PARA AUTOPRODUTORES E PRODUTORES INDEPENDENTES

Conforme o item 5.2.3, seção 3.2, Módulo 3 do PRODIST, o paralelismo das instalações do acessante com o sistema da Cemig D não pode causar problemas técnicos aos demais acessantes e ao sistema de distribuição acessado.

Para isso, no caso de autoprodutores e produtores independentes, deve ser seguido o seguinte encaminhamento para identificação, análise, implantação de soluções e medições de perturbações provocadas por cargas e equipamentos potencialmente perturbadores:

1. *O acessante informará à Cemig D as cargas potencialmente perturbadoras, conforme critérios contidos no Estudo de Distribuição ED-5.57, "Caracterização de cargas potencialmente perturbadoras".*
2. *A Cemig D avaliará o potencial de perturbação das cargas, com base nos critérios contidos no ED 5.57, e determinará, conforme a necessidade técnica, os estudos específicos a serem realizados pelos produtores independentes e autoprodutores, conforme detalhado neste documento.*
3. *Os produtores independentes e autoprodutores efetuarão os estudos específicos determinados pela Cemig D e indicarão as ações para correção das perturbações, bem como o projeto dos equipamentos que se mostrarem necessários para a atenuação das perturbações potenciais identificadas pela Cemig D. Esses resultados deverão ser apresentados à Cemig D na forma de um RISD – Relatório de Impactos Sobre o Sistema de Distribuição.*
4. *A Cemig D analisará o Relatório de Impactos Sobre o Sistema de Distribuição – RISD, podendo aprová-lo ou sugerir alterações nos estudos e soluções apresentadas. Caso não aprovado, após as adequações realizadas o RISD deverá ser reencaminhado para a aprovação pela Cemig D, em prazo compatível com o prazo para emissão do parecer de acesso. Caso a não solução das pendências implique em impedimento para a emissão do Parecer de Acesso, o processo de obtenção de acesso poderá ser suspenso, nos termos do item 4.5, seção 3.1, do Módulo 3 do PRODIST.*

5. *Após aprovar o RISD, a Cemig D informará ao acessante, que por sua vez, procederá o projeto, especificação e instalação dos equipamentos de atenuação que se fizerem necessários. Caberá à Cemig D a realização de ações, obras e adequações em sua rede, desde que ressarcidas pelo acessante as eventuais despesas e investimentos decorrentes dessas adequações.*
6. *Antes e após a entrada em operação das instalações do acessante, objeto dos estudos específicos, deverão ser realizadas campanhas de medição pelo acessante, conforme os procedimentos constantes dos módulos 5 e 8 do PRODIST.*

6 SEQUÊNCIA DE AÇÕES PARA CONSUMIDORES

Essa categoria inclui os consumidores com e sem geração, participantes ou não do sistema de compensação de energia.

Conforme o Módulo 8 do PRODIST, caso as cargas ou equipamentos dos consumidores sejam definidos pela Cemig D como potencialmente perturbadores, torna-se obrigatória a realização de estudos especializados, devendo as conclusões e recomendações produzidas por esses estudos serem incorporadas ao Parecer de Acesso ou documento equivalente.

Segundo o Módulo 3 do PRODIST, a Cemig D deve realizar estudos para avaliar as possíveis perturbações causadas em seu sistema de distribuição pela ligação de cargas ou equipamentos potencialmente perturbadores pertencentes a consumidores, e indicar ao consumidor os equipamentos de mitigação a serem instalados, ou as ações, obras e adequações a serem efetuadas com essa finalidade.

O consumidor deve se responsabilizar pelos custos decorrentes da implementação das ações de mitigação e pela instalação dos equipamentos necessários para a preservação dos limites estabelecidos para os itens de qualidade da energia elétrica definidos no Módulo 8 do PRODIST, ou que venham a ser estabelecidos em regulamentação específica, devendo a implementação das ações e a instalação de equipamentos serem aprovadas pela Cemig D.

Assim, a instalação dos equipamentos de correção, obras ou adequações para a solução dos problemas de qualidade de energia deverá ser providenciada pelo acessante ou acessada (dependendo, naturalmente, de qual seja o agente causador, Cemig D ou consumidor).

Esse entendimento é baseado estritamente nas regras estabelecidas nos Módulos 3 e 8 do PRODIST, após a publicação da Resolução Normativa 728/2016.

Entretanto, no caso de questionamento pelo consumidor da metodologia, dos resultados e das conclusões dos estudos técnicos, a Cemig D faculta ao consumidor elaborar por sua

conta estudos específicos independentes que, uma vez por ela aprovados, substituirão as recomendações e conclusões técnicas relativas à atenuação ou correção das possíveis perturbações definidas anteriormente pela concessionária.

A seguir se apresenta a sequência de ações para a atenuação dos possíveis impactos de cargas ou equipamentos de consumidores sobre os limites de qualidade de energia estabelecidos pela ANEEL para a rede elétrica de distribuição:

- 1. Caracterizados os consumidores como potencialmente perturbadores, a Cemig D realizará estudos e definirá ações, obras e instalações de equipamentos de atenuação capazes de garantir a manutenção dos itens de qualidade de energia dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL, em tempo compatível com os prazos do processo de fornecimento do Parecer de Acesso ou documento equivalente.*
- 2. Caso o consumidor discorde dos resultados e recomendações técnicas estabelecidas pela Cemig D a partir dos estudos de qualidade por ela efetuados, poderá realizar, por sua própria conta, estudos e análises especializadas de forma a contestar os resultados dos estudos elaborados originalmente pela concessionária.*
- 3. A Cemig D deverá disponibilizar as informações e dados necessários para a realização dos estudos a serem realizados pelo consumidor.*
- 4. Esses estudos deverão integrar o Relatório de Impactos no Sistema de Distribuição – RISD, que será apresentado à Cemig D para aprovação, reprovação ou recomendação de alterações, complementações ou ajustes que considerar necessários.*
- 5. Efetuadas as correções sugeridas, o consumidor deverá reapresentar o RISD à Cemig para aprovação.*
- 6. Após a aprovação, o consumidor deverá desenvolver as ações, executar as obras e instalar os equipamentos de atenuação necessários para garantir o atendimento aos requisitos de qualidade estabelecidos pelo Regulador.*
- 7. Em todos os casos, deverão ser realizadas campanhas de medição dos itens de qualidade relativos às perturbações potencialmente provocadas pelas cargas e equipamentos do acessante, antes e após a implantação da carga ou geração, conforme determinado pela Concessionária, com base neste documento e nos procedimentos do PRODIST.*

7 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. A seguir listam-se algumas das principais cargas potencialmente perturbadoras, conforme o tipo de perturbação provocado na rede.

- **Distorções harmônicas (devidas a cargas e equipamentos não lineares)**
 - fornos elétricos a arco (tipo fusão, panela ou fornos para ferroligas);
 - fornos de indução em média frequência;
 - motores controlados por inversores ou conversores;
 - retificadores e conversores;
 - geradores fotovoltaicos
 - geradores eólicos conectados por inversores;
 - transformadores e reatores com núcleo saturado;
 - compensadores estáticos de reativo;
 - cargas e equipamentos não lineares em geral.
- **Cintilação luminosa – flicker (devidas a cargas com correntes variáveis)**
 - fornos elétricos a arco (com exceção de fornos a arco submerso);
 - laminadores,
 - compressores de êmbolo
 - plantas de soldagem elétrica industrial;
 - Geradores eólicos
 - Geradores fotovoltaicos.
- **Desequilíbrios**
 - cargas aleatórias tais como fornos elétricos a arco e cargas monofásicas ou bifásicas em geral.
 - as causas mais frequentes de desequilíbrios nas redes mais frequentemente gerados na própria rede de distribuição.
- **Variações de Tensão de Curta Duração:**
 - Amplitudes iguais ou maiores que 10% em torno da tensão da rede.
 - São normalmente originadas na própria rede elétrica, mas também podem ser devidas a diversos outros fatores;
 - 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 de carga variável;
 - laminadores.
- **Variações de tensão na rede:**
 - Amplitudes de 5% até 10% em torno da tensão da rede.

- 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 de carga variável;
- laminadores.

- **Variações de frequência:**

- Manobra de grandes blocos de carga ou grandes blocos de geração conectados ao sistema de distribuição em alta tensão
- Normalmente nem as cargas nem a geração atendida pela rede de distribuição em alta ou média tensão possuem magnitude suficiente para provocar variações relevantes de frequência nas redes elétricas, a não ser em situações especiais, tais como a operação ilhada de partes da rede de distribuição.

8 LIMITES GLOBAIS E POR ACESSANTE

O Módulo 8 do PRODIST estabelece limites para distorções harmônicas, desequilíbrio e cintilações luminosas a serem observados no sistema de distribuição.

Resultam, portanto, do impacto simultâneo de várias cargas e equipamentos perturbadores interligados ao sistema elétrico.

A vantagem dos limites globais é a possibilidade de serem medidos. Assim, os impactos de determinada carga perturbadora podem ser avaliados por meio de campanhas de medição realizadas antes e após a ligação destas. Entretanto representam sempre o efeito combinado das cargas e equipamentos já ligados e dos equipamentos e cargas do novo acessante.

A principal limitação à aplicação desses limites ocorre na fase de planejamento, quando ainda está em curso a formatação técnica e financeira dos empreendimentos, pois a avaliação dos impactos sobre os limites globais só é possível após a implantação das cargas e equipamentos potencialmente perturbadores.

Entretanto, é justamente na fase de planejamento que é mais fácil se viabilizar recursos para a instalação dos equipamentos de atenuação.

Após a entrada em operação do acessante, a instalação de equipamentos ou adequações nas instalações para mitigação das perturbações encontra maior resistência por parte dos clientes, pois os custos decorrentes serão incorporados ao fluxo de caixa e não aos investimentos.

Portanto, a política mais acertada é viabilizar a correção das perturbações ainda na fase de planejamento.

Para isso, nesse trabalho são propostos limites por acessante, a serem considerados no ponto de conexão deste com a rede elétrica da Cemig D. Quando não houver simultaneidade entre as perturbações devidas a várias cargas e os do novo acessante, os limites individuais serão iguais aos limites globais.

Os limites por acessante serão utilizados na elaboração dos estudos para avaliação das perturbações e dimensionamento dos equipamentos para mitigação que se fizerem necessários, cujas conclusões e recomendações deverão integrar o Parecer de Acesso ou documento equivalente, conforme determinado no PRODIST.

Para as medições antes e após a conexão das cargas ou gerações perturbadoras, já com os equipamentos de atenuação de perturbações instalados, deverão ser tomados como referência os limites globais bem como a metodologia de medição do Módulo 8 do PRODIST.

No caso de conexão em barras de alta tensão, os limites por acessante deverão assegurar a observação dos limites do PRODIST e dos Procedimentos de Rede do ONS.

Nos Procedimentos de Rede são definidos limites globais (aplicáveis ao efeito resultante de todas as fontes de perturbação) e os limites individuais (aplicáveis apenas aos impactos das fontes de perturbação do acessante). Todos os agentes conectados ao sistema interligado operado pelo ONS, incluindo as distribuidoras, devem acatar os limites individuais.

Os limites individuais aplicados às distribuidoras conectadas ao sistema interligado nacional são muito rigorosos em relação aos limites estabelecidos pelo PRODIST, além de estes dois conjuntos normativos adotarem metodologias independentes, principalmente no caso das distorções harmônicas.

A solução mais adequada para esse conflito é a compatibilização dos níveis globais de perturbação admitidos no SIN (Procedimentos de Rede) e nas redes de distribuição (PRODIST), ou seja, compatibilizarem-se os limites globais das duas instâncias reguladoras.

Para isso os limites por acessante propostos para a rede de distribuição de alta tensão desta Concessionária devem atender simultaneamente os critérios do ONS e do PRODIST.

Os limites por acessante propostos para conexões em média tensão devem atender unicamente aos critérios do PRODIST. Conexões de qualquer tensão em DIT – Demais Instalações de Transmissão – devem atender apenas aos critérios dos Procedimentos de Rede (ONS).

8.1 VARIAÇÕES ESPORÁDICAS DE TENSÃO

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

Quando a frequência dessas variações for da ordem de apenas algumas vezes ao dia, podem ser caracterizadas como esporádicas. Embora com amplitudes inferiores a 10% da tensão nominal, essas perturbações, mesmo que esporádicas, são muito mais frequentes que os VTCD, e podem afetar a qualidade da energia fornecida aos consumidores, do

próprio acessante cujos equipamentos as produzem, assim como a operação do sistema de distribuição.

Isso pode ocorrer no caso de cargas e equipamentos sensíveis à amplitude da tensão, tais como motores de indução, os quais convertem oscilações de tensão em oscilações de potência e conjugado.

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

A curva de limitação de cintilação proposta pela IEC (curva 3) limita essas variações de tensão em 3%, conforme mostrado em Dekmann e Pomílio, pg. 4 [6]. Esse valor destoa do limite adotado historicamente pela Cemig D, de 5% em torno da tensão nominal, e aplicado para análise de impactos da manobra de equipamentos tais como bancos de capacitores e reatores.

Tal procedimento utiliza uma metodologia desenvolvida para avaliar a cintilação luminosa e não variações de tensão. Sua aplicação na avaliação de variações esporádicas de tensão pode gerar análises e conclusões inadequadas, conduzindo o acessante ou a concessionária à adoção de ações dispendiosas e desnecessárias, penalizando excessivamente acessantes, a Concessionária e a sociedade como um todo.

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 adequados para a conexão de acessantes e consumidores, constantes das normas de distribuição específicas.

Como critério de limitação de variações esporádicas de tensão, propõe-se:

- A operação das cargas não deverá acarretar níveis de tensão na rede de distribuição fora dos limites críticos de tensão estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST.
- A variação de tensão imposta ao sistema de distribuição de alta tensão deverá ser limitada a 5% da tensão nominal no ponto de conexão de média ou alta tensão.
- No caso de cargas ou equipamentos 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.
- No caso de geradores, os níveis de potência reativa injetada ou consumida podem afetar a amplitude da variação. Assim, ajustes adequados dos controles de tensão e potência reativa nos pontos de controle podem amenizá-las.
- A amplitude da variação é avaliada não só no ponto de conexão, mas em todo o sistema elétrico de distribuição afetado.
- Para variações esporádicas de tensão os limites globais são iguais aos limites por acessante.

8.2 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

Desequilíbrios de tensão são variações desiguais na amplitude ou fase das tensões trifásicas, em geral causadas pela conexão de cargas mono ou bifásicas em sistemas trifásicos, ou pela alimentação de ramais monofásicos a partir dos troncos trifásicos.

Cargas trifásicas desbalanceadas ou aleatórias de grande porte também produzem desequilíbrios, bem como a não transposição de alimentadores, ao contrário do que ocorre nas redes de alta tensão.

No caso específico da Cemig D, uma das principais fontes de desequilíbrios de tensão nas redes elétricas de distribuição é a distribuição desigual de cargas entre os alimentadores e o grande número de ramais monofásicos rurais.

Além dos desequilíbrios originados na própria rede elétrica, em certos casos podem ser originados da planta de acessantes possuidores de cargas desequilibradas monofásicas ou bifásicas, ou mesmo cargas trifásicas com correntes aleatórias, tal como ocorre em fornos elétricos a arco, por exemplo.

O impacto mais significativo dos desequilíbrios de tensão acontece em motores de indução trifásicos, amplamente utilizados na indústria, nos quais a componente de sequência negativa pode acarretar alterações indesejadas no conjugado eletromagnético, elevação das perdas e sobreaquecimento no rotor e na armadura das máquinas.

No Módulo 8 do PRODIST, 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.

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

Os termos V_2 e V_1 são respectivamente as componentes de sequência negativa e positiva

das tensões da rede em coordenadas simétricas.

A segunda é uma expressão complexa, proposta pela Cigré, que produz resultados equivalentes aos da expressão anterior.

O ponto de partida para o cálculo é o parâmetro β , calculado da seguinte forma, a partir das tensões de linha da rede:

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

A partir 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 linha, obtidos a partir de medições de tensão, ou a partir de resultados fornecidos por simulações de fluxo de carga trifásico. Ambos os parâmetros, entretanto, dependem de medição ou simulação.

Essas formas de cálculo são as mesmas propostas nos Procedimentos de Rede de ONS.

O limite adotado pelo PRODIST para o FD para a rede de distribuição em média e alta tensão é de 2%, que corresponde ao valor máximo tolerado de desequilíbrio no sistema.

No Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede são estabelecidos dois limites, ambos aplicáveis aos barramentos de fronteira.

O primeiro é o limite global para o fator de desequilíbrio é de 2%, e considera o efeito combinado de todos os acessantes que contribuem com o desequilíbrio. O segundo é denominado limite individual, com um FD igual a 1,5%, aplicável à cada acessante da rede básica individualmente.

Nos casos em que as tensões de sequência negativa variarem de forma intermitente e repetitiva, nos Procedimentos de Rede permite-se ultrapassar os limites especificados em até o dobro, desde que a duração cumulativa das tensões de sequência negativa, acima dos limites contínuos estabelecidos, não ultrapasse 5% do período de monitoração.

Admitindo-se que o equilíbrio resultante de todas as cargas e do sistema de distribuição propriamente dito não seja linear, propõe-se como valor limite para os consumidores desequilibrados o patamar de FD = 1,5%, considerado o limite por consumidor, mesmo valor recomendado pelo Procedimento de Rede, permanecendo o limite global para o valor de FD igual a 2,0%.

A aplicação desse limite nas redes de média e alta tensão da distribuição apresenta uma boa margem de segurança em relação ao limite global estabelecido no PRODIST. Nas redes de AT assegura a compatibilidade entre os limites do Procedimento de Rede e do PRODIST, uma vez que o limite global nas duas instâncias regulatórias é o mesmo.

8.3 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Distorções harmônicas são deformações nas formas de onda das tensões e correntes devidas à operação de cargas e equipamentos de características não lineares.

Para evitar que essas distorções afetem excessivamente a qualidade da onda das tensões na rede, a ANEEL, por meio Módulo 8 do PRODIST, estabeleceu limites para distorções harmônicas, a serem observados nas barras de todas as concessionárias nacionais de distribuição. Esses limites referem-se ao efeito combinado da operação simultânea de cargas e equipamentos não lineares já conectados à rede elétrica e ainda a sê-lo.

A revisão 8 do Módulo 8 do PRODIST alterou a terminologia e a metodologia de avaliação das distorções harmônicas, estabelecendo como referências os indicadores DTT , DTT_p , DTT_i , DTT_3 , para os harmônicos de ordem 2 a 40.

Esses limites foram estabelecidos considerando valores que possam ser ultrapassados por apenas 5% dos valores medidos em 1008 leituras válidas, obtidos conforme a metodologia de medição estabelecida no PRODIST. Os valores são mostrados 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%

São limites de caráter global, e devem-se ao efeito combinado de todas as cargas perturbadoras conectadas, local ou remotamente, ao sistema de distribuição. Com o uso desses limites o efeito de uma carga perturbadora só poderá ser avaliado por meio de medições antes e após a instalação da carga. Não podem ser utilizados em estudos na fase de emissão do Parecer de Acesso, conforme estabelecido no PRODIST.

O ONS, no submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede, estabeleceu limites globais para distorções harmônicas, que se aplicam ao efeito resultante da contribuição simultânea de todas as cargas e equipamentos não lineares ligados à Rede Básica ou às DIT, e os limites individuais, aplicáveis a cada acessante individualmente.

Os limites globais podem ser inferiores e superiores. A tabela a seguir, extraída do submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede apresenta os limites globais inferiores. São

consideradas as harmônicas até a ordem 2 a 50.

Tabela 2 – Limites globais inferiores de tensão em porcentagem da tensão fundamental - ONS

Limites Globais Inferiores de Distorção Harmônicas de Tensão - ONS							
V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)
3,5, 7	5%	2,4,6	2%	3,5, 7	2%	2,4,6	1%
9,11,13	3%	≥8	1%	9,11,13	1,5%	≥8	0,5%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
≥27	1%			≥27	0,5%		
DTHT95%=6%				DTHT95%=3%			

Os limites superiores são obtidos multiplicando-se os limites inferiores por um fator igual a 4/3. Os valores dos limites inferiores estão mostrados a seguir.

Tabela 3 – Limites globais superiores de tensão em porcentagem da tensão fundamental - ONS

Limites Globais Inferiores de Distorção Harmônicas de Tensão - ONS							
V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)
3,5, 7	6,67%	2,4,6	2,67%	3,5, 7	2,67%	2,4,6	1,33%
9,11,13	4,00%	≥8	1,33%	9,11,13	2,0%	≥8	0,67%
15 a 25	2,67%			15 a 25	1,33%		
≥27	1,33%			≥27	0,67%		
DTHT95%=8%				DTHT95%= 4%			

O único termo passível de comparação com os limites do PRODIST é o DTHT95%, que corresponde ao DTT. Os valores globais de DTT estabelecidos no PRODIST para média tensão (< 69kV) correspondem aos limites superiores estabelecidos nos Procedimentos de Rede: 8%.

Para a alta tensão (≥ 69 kV), onde é maior a interface com a Rede Básica e com as DIT, os limites globais superiores postos nos Procedimentos de Rede (4%) são mais rigorosos que os limites postos pelo PRODIST (5%).

A partir dos limites globais inferiores, o ONS estabeleceu os limites de distorções harmônicas por acessante.

Tabela 4 – Limites individuais de tensão em porcentagem da tensão fundamental - ONS

Limites Individuais de Distorção Harmônicas de Tensão - ONS							
13,8 kV \leq V < 69 kV				V \geq 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)	Ordem	Valores (%)
3 a 25	1,5%	2 a 50	0,6%	3 a 25	0,6%	2 a 50	0,3%
≥ 27	0,7%			≥ 27	0,4%		
DTHT95%=3%				DTHT95%= 1,5%			

Esses limites devem ser atendidos por todos os acessantes à Rede Básica e às DIT, incluindo as distribuidoras. São extremamente rigorosos em relação aos limites aplicados pelo PRODIST à rede de distribuição.

Ressalta-se que os limites estabelecidos para a Rede Básica e para as barras de fronteira referem-se a barras com níveis de curto circuito em geral muito superiores aos níveis de curto circuito usuais nas barras de distribuição de alta tensão.

Os limites estabelecidos no PRODIST para a distribuição são mais adequados a barras com menores níveis de curto circuito, de uma forma geral muito mais sensíveis à presença de cargas não lineares. Ressalta-se que a interface entre as redes de distribuição e a Rede Básica no sistema elétrico Cemig D se dão quase totalmente na rede de alta tensão, embora eventualmente possam ocorrer nas barras de média tensão das DIT.

As diferenças entre os limites e entre o tipo de parâmetros utilizados como critérios de limitação dificultam o estabelecimento de limites capazes de atender simultaneamente limites do PRODIST e dos Procedimentos de Rede.

Nesse trabalho são propostos limites individuais, por cada acessante, baseados nos limites globais estabelecidos no PRODIST.

Além dos limites por acessante, os estudos deverão também considerar os impactos na barra de interligação com a Rede Básica ou de uma DIT eletricamente mais próxima do ponto de conexão da rede de distribuição. Esse procedimento deverá ser adotado para o caso de um acessante ligado à rede de distribuição em alta tensão, ou a um alimentador de média tensão suprido por meio de uma DIT.

Os limites individuais para a distribuição são definidos considerando-se uma saturação de 50% dos limites de distribuição estabelecidos no PRODIST devidos à distorção residual, presente na rede de distribuição, supondo-se uma combinação quadrática dos parâmetros de distorção residual e devido às novas cargas perturbadoras. A próxima tabela mostra os limites obtidos:

Tabela 5 – Limites individuais para distorção harmônica na rede de distribuição – Critérios Cemig D – baseados nos limites globais do Módulo 8 - PRODIST

Limites individuais para distorção harmônica da tensão da rede			
Parâmetro	Descrição	Limites 95%	
		1,0kV ≤ Vn < 69kV	69kV ≤ Vn < 230kV
DTT (%)	Distorção harmônica total de tensão	6,0%	3,5%
DTTP(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	1,4%	0,7%
DTTi(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	4,2%	2,8%
DTT3(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	3,5%	2,1%

Portanto, para a avaliação das distorções harmônicas potenciais de uma carga utilizando-se esses critérios, deverá ser seguindo o seguinte procedimento:

1. Estudo dos impactos no ponto de conexão, utilizando os limites individuais para a rede de distribuição da Cemig D;
2. Estudo complementar dos impactos no ponto de fronteira com a Rede Básica, para o caso de consumidores de alta tensão (≥ 69 kV), com base nos limites individuais e utilizando a metodologia recomendada pelo ONS.
3. Estudo de impacto no ponto de fronteira com a Rede Básica, para o caso de consumidores de média tensão (< 69 kV) conectados a alimentador suprido por barra de média tensão de uma DIT, utilizando os limites individuais do ONS.

8.4 CINTILAÇÕES LUMINOSAS (EFEITO FLICKER)

As flutuações de tensão caracterizam-se por variações aleatórias, repetitivas ou esporádicas do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea. Dentre as cargas capazes de provocar essas variações de tensão destacam-se:

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

Quando uma carga ou geração varia de forma repetitiva ou aleatória ocorre um padrão semelhante nas tensões do ponto de conexão. Essas variações podem afetar o comportamento de outras cargas ou equipamentos, especialmente as mais sensíveis às variações do valor eficaz da tensão. Nesse caso podem ocorrer oscilações de potência e torque das máquinas elétricas, com queda de rendimento dos equipamentos elétricos, interferência nos sistemas de proteção.

Alterações no valor eficaz da tensão provocam variações na potência fornecida às lâmpadas elétricas, que por sua vez provocam variações de luminosidade. Quando o espectro de frequências dessas variações de luminosidade apresenta componentes no intervalo de 1 até 25 Hz, podem tornar-se perceptíveis ao olho humano e, dependendo da

combinação de frequência e amplitude nessas variações, pode ocorrer incômodo visual para pessoas (efeito flicker).

Esse incômodo era mais pronunciado no caso de lâmpadas incandescentes, não mais comercializadas no Brasil. Entretanto pode ocorrer, com intensidade menor, em outros tipos de lâmpadas.

Conforme trabalhos experimentais de Chmielowiec [13], as lâmpadas incandescentes, halogêneas, fluorescentes e a LED apresentam respostas de frequência distintas. Dessa forma, os níveis de flicker medidos por meio do flickermeter atual, construídos conforme as especificações da IEC, poderão ser superiores aos níveis de flicker efetivamente provocados com o uso de lâmpadas fluorescentes e a LED, que não utilizam o efeito térmico como gerador de luminosidade.

A despeito dessas considerações, a forma de avaliação do Pst considerada na regulação brasileira (PRODIST e ONS) tomam por base o atual padrão IEC.

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 fornos a arco submerso (fornos panela para refino do aço ou fornos para produção de ferroligas) não representam fontes preocupantes de flicker, a não ser que estejam conectados a barras com níveis de curto circuito excessivamente reduzidos em relação às dimensões da carga do forno.

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.

A severidade de cintilação é uma representação quantitativa do incômodo visual percebido pelas pessoas expostas ao fenômeno de cintilação em lâmpadas incandescentes. Levam em consideração a amplitude e o espectro de frequências da variação, fornecendo uma indicação da intensidade do incômodo causado aos consumidores.

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 de 10 minutos. Portanto o P_{st} é 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 P_{st} (calculados em intervalos de 10 minutos). O parâmetro Plt (fator de severidade “long-time”) é obtido da seguinte expressão:

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

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

Limites de Cintilação Luminosa (95%)			
Indicador	Tensão nominal		
P_{ST} 95%	$V_n \leq 1,0\text{kV}$	$1,0\text{kV} < V_n < 69\text{kV}$	$69\text{kV} \leq V_n < 230\text{kV}$
	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Os limites estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS são bastante distintos dos estabelecidos no PRODIST, tanto nos valores quanto na estrutura. O ONS considera dois tipos de limite, os limites globais, que representam o nível de perturbação admitido nas barras da rede básica e o limite individual, aplicável para um único acessante. Além disso, considera dois índices de severidade, o P_{ST} e P_{LT} , ao contrário do PRODIST, que considera apenas o limite para P_{ST} .

Para os indicadores de severidade P_{ST} e P_{LT} foram definidos um limite global inferior e um limite global superior. Esses valores são expressos em função dos limites globais para tensão secundária de distribuição 220 V. Para que sejam aplicáveis em 127 V os flickermeters deverão ser configurados para essa tensão. Os valores dos limites globais estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 7 - Limites globais para cintilação luminosa na Rede Básica – submódulo 2.8 – Procedimento de Rede

Limites Globais de Cintilação Luminosa (95%)		
	P_{ST}	P_{LT}
Limite Global Inferior	1 pu / FT	0,8 pu / FT
Limite Global Superior	2 pu / FT	1,6 pu / FT

O parâmetro FT é o fator de transferência aplicável entre o barramento da rede básica ou barramento dos transformadores de fronteira, e o barramento de baixa tensão de distribuição eletricamente mais próximo. Esse parâmetro representa a atenuação, verificada empiricamente, entre os níveis de flicker no ponto de conexão da carga com a rede básica e a barra de tensão secundária da distribuição. Na tabela a seguir são apresentados os fatores de atenuação estabelecidos nos Procedimentos de Rede para os vários níveis de tensão da Rede Básica.

Tabela 8 – Fatores de Transferência – submódulo 2.8 – Procedimento de Rede

Fatores de Transferência – FT (Procedimentos de Rede do ONS)	
Tensão nominal do barramento ≥ 230 kV	0,65
69 kV \leq Tensão nominal do barramento < 230 kV	0,80
Tensão nominal do barramento < 69 kV	1,0

Quando aplicados os fatores de transferência, os limites estabelecidos no PRODIST para os valores de flicker situam-se entre os limites globais mínimos e máximos estabelecidos no Procedimentos de Rede, documento emitido pelo ONS mas também aprovados pela ANEEL. Como as duas regulamentações consideram os limites para 95% das medições, esses valores podem ser comparados. A tabela seguinte apresenta os dois limites estabelecidos para os valores de P_{ST} na rede elétrica para a média e alta tensão.

Tabela 9 – Comparação dos Limites globais para cintilação luminosa na rede de distribuição – PRODIST – Módulo 8 e Rede Básica – submódulo 2.8 – Procedimento de Rede

Comparação entre limites de flicker do PRODIST e dos Procedimentos de Rede			
Tensão nos Barramentos	PRODIST	Procedimento de Rede	
		Mínimo	Máximo
$1,0$ kV $< V_n < 69$ kV	1,5	1,0	2,0
69 kV $\leq V_n < 230$ kV	2,0	1,25	2,5

A comparação entre os dois valores mostra que os limites do PRODIST assumem valores intermediários entre os limites máximo e mínimo do ONS. Nos Procedimentos de Rede não se define o caráter dos limites máximo e mínimo. Entretanto, para a definição dos limites individuais, aplicáveis no ponto de conexão de cada acessante da rede básica, o que inclui as distribuidoras, o ONS toma como referência os limites inferiores, conforme mostrado na tabela seguinte. Esses limites individuais foram definidos considerando uma saturação de 80% dos limites globais.

Tabela 10 - Limites individuais para cintilação luminosa na Rede Básica – submódulo 2.8 – Procedimento de Rede

Limites Individuais de Cintilação Luminosa (95%)		
Limite Individual	P_{ST}	P_{LT}
	0,8 pu / FT	0,6 pu / FT
69 kV \leq Tensão nominal do barramento < 230 kV	1,0	0,75
Tensão nominal do barramento < 69 kV	0,8	0,6

Esses limites deverão ser atendidos individualmente no ponto de conexão de todos os acessantes à Rede Básica e aos barramentos de conexão das DIT. Portanto, aplicam-se às distribuidoras. Constata-se uma divergência significativa entre os limites individuais dos Procedimentos de Rede e os limites admitidos na rede de distribuição. Entretanto, o próprio Operador Nacional do Sistema admite essa divergência, uma vez que estabeleceu um limite global inferior e um limite global superior.

Os limites individuais do ONS mostram-se excessivamente restritos em relação aos níveis postos no PRODIST, que por sua vez apresentam valores intermediários em relação aos níveis globais do ONS.

Considerando a necessidade de se atender simultaneamente os limites globais do ONS e os limites do PRODIST para a rede de distribuição propõe-se como limites por acessante aplicáveis ao sistema de distribuição da Cemig D os seguintes valores, nos quais considerou-se o mesmo valor de saturação dos Procedimentos de Rede do ONS, embora tenham sido adotados como referência os valores do PRODIST.

Tabela 11 - Limites para cintilação luminosa (flicker) na rede de distribuição Cemig D

Limites Individuais de Cintilação Luminosa (95%) na rede de distribuição Cemig D		
Indicador	Tensão nominal	
	13,8kV \leq Vn < 69kV	69kV \leq Vn < 230kV
P_{ST} (95%)	1,2 pu	1,6 pu

8.5 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 12 – 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	0,1pu $<$ 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		0,1pu $<$ amplitude $< 0,9$ pu
	Elevação Temporária de tensão - ETT		amplitude $> 1,1$ pu

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

VTCD originados por ocorrências no sistema de distribuição da Cemig D não são factíveis de uma modelagem e previsão de forma sustentada, uma vez que estas se apresentam como anomalias operacionais e não fazem parte do escopo operativo das cargas em foco [ref.22]. O acompanhamento e gestão dos impactos devidos a esse tipo de VTCD deverão ser realizados conforme critérios e procedimentos definidos pelas equipes responsáveis por esse processo na Empresa.

Apenas os VTCD devidos à operação de cargas e equipamentos de usuários da rede elétrica são objeto desse trabalho. Como se trata de variações devidas à manobra de cargas e equipamentos, sua frequência tende a ser muito superior à frequência de ocorrência de afundamentos originados na rede elétrica de distribuição.

Uma boa medida da robustez elétrica do sistema de distribuição é a potência de curto circuito trifásica da rede elétrica no ponto de conexão da rede. Assim, o ED-5.57 propõe a seguinte forma de avaliação da variação de tensão provocada na rede:

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

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 é:

SE:	$\Delta V_{\%} \geq 10\%$
Realizar estudos variações de tensão de curta duração na rede e propor as medidas mitigadoras para reduzi-las a valores inferiores a 5%.	

8.6 LIMITES POR CONSUMIDOR – QUADRO RESUMO

O quadro a seguir apresenta um resumo dos limites por acessante para cada tipo de impacto no sistema de distribuição da Cemig D.

Tabela 13 – Limites por acessante ao sistema de distribuição da Cemig Distribuição.

LIMITES POR ACESSANTE – SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA CEMIG-D			
TIPO DE PERTURBAÇÃO	PRINCIPAIS CAUSADORES	LIMITES	
Variações esporádicas de tensão	Manobra de blocos de carga, partidas de motores, chaveamento de bancos de capacitores ou reatores, rejeição de carga, desligamento súbito ou variações súbitas na potência de geradores.	Alta tensão	5%(Vn)
		Média Tensão	5%(Vn)
		Média Tensão Rural	Até 7,5%
Desequilíbrio de tensão	Distribuição desequilibrada de cargas entre as fases, ramais monofásicos, cargas monofásicas, bifásicas, ou trifásicas aleatórias, como fornos a arco.	FD =1,5%	
Distorções harmônicas	Cargas e equipamentos não lineares, tais como inversores, retificadores, conversores, fornos a arco e de indução em média frequência.	Ver tabela nº 5	
Flicker (medido em Pst)	Fornos a arco, laminadores, máquinas de solda, laminadores, elevadores de grande porte, compressores de êmbolo.	13,8kV<Vn< 69kV	1,2 pu
		69kV≤Vn<230kV	1,6 pu
Variações Rápidas de Curta Duração	Manobra de blocos de cargas, partidas de motores, chaveamento de bancos de capacitores ou reatores, rejeição de carga, desligamento súbito ou variações súbitas na potência de geradores.	Alta tensão	5%(Vn)
		Média Tensão	5%(Vn)
		Média Tensão Rural	Até 7,5%

9 ESTUDOS DE IMPACTOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Nos casos em que a análise das perturbações que poderiam ser provocadas pelas cargas, equipamentos ou gerações apontar a violação de alguns dos critérios estabelecidos no ED 5.57, deverão ser realizados estudos específicos em função das características da carga e das perturbações potencialmente provocadas.

Esses estudos deverão envolver, para sua realização dados do sistema elétrico e da planta do cliente.

A Cemig deverá fornecer ao cliente as informações sobre seu sistema de distribuição, necessárias para a realização dos estudos de partida de motores por ele realizados.

a) AUTOPRODUTORES E PRODUTORES INDEPENDENTES

Os produtores independentes e autoprodutores efetuarão os estudos específicos determinados pela Cemig D e indicarão as ações para correção das perturbações, bem como o projeto dos equipamentos que se mostrarem necessários para a atenuação dos possíveis. Esses estudos deverão compor um Relatório de Impactos no Sistema de Distribuição – RISD, que deverá ser apresentado à Cemig D para análise, comentários e aprovação.

Caso sejam necessárias alterações nos estudos, a Cemig D informará ao acessante as alterações requeridas, e este deverá efetuar as correções necessárias. Caso a conclusão do Parecer de Acesso dependa do resultado desses estudos, os prazos para a entrega do Parecer poderão ser suspensos, até que o acessante dê entrada no RISD com as adequações solicitadas pela Cemig D.

b) CONSUMIDORES

Esse item inclui os consumidores livres e os consumidores cativos com e sem geração distribuída instalada.

A Resolução Normativa ANEEL 414/2010, em seu artigo 13, inciso I estabelece que:

“Art. 13. A distribuidora pode estabelecer tensão de fornecimento sem observar os critérios referidos no art. 12, quando:

I – a unidade consumidora, com carga acima de 50 kW, tiver equipamento que, pelas características de funcionamento ou potência, possa prejudicar a qualidade do fornecimento a outros consumidores.”

Assim, uma vez considerado potencialmente perturbador pela concessionária, o consumidor de média tensão deverá ser conectado em alta tensão, e o consumidor de alta tensão conectado diretamente à Rede Básica.

Entretanto, a Cemig D concede ao consumidor a possibilidade de contestar essas condições de atendimento, desde que este apresente à Concessionária um Relatório de Impactos no Sistema de Distribuição – RISD, contendo estudos específicos comprovando que, mediante a instalação de equipamentos de mitigação, obras ou ações no sistema de distribuição, as perturbações potenciais identificadas pela Concessionária poderiam ser

atenuadas, podendo o atendimento ser efetuado na tensão anteriormente definida, sem que fosse afetada a qualidade de tensão da rede.

O RISD deverá ser analisado e aprovado pela Concessionária e, se necessárias alterações nos estudos, a Cemig D as informará ao acessante, e este efetuará as correções necessárias. Caso a conclusão do Parecer de Acesso dependa do resultado desses estudos, os prazos para a entrega do Parecer poderão ser suspensos, até que o acessante dê entrada no RISD com as adequações solicitadas pela Cemig D.

O detalhamento do conteúdo do RISD, bem como o conteúdo dos estudos especiais para autoprodutores, produtores independentes e consumidores com e sem geração distribuída são apresentados a seguir.

9.1 RELATÓRIO DE IMPACTO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO - RISD

O relatório de impacto no Sistema de distribuição deverá apresentar o seguinte escopo básico:

- Características da planta do acessante – finalidade, características de funcionamento, potência total instalada;
- DUB interno da planta do acessante;
- Potência nominal, tensão nominal, fator de potências das principais cargas e equipamentos;
- Relação das cargas potencialmente perturbadoras na planta do cliente contidas no item 7 e existentes ou a instalar, com características nominais (potência nominal, tensões de entrada e de saída) e características constitutivas;
- Estudos específicos de QEE recomendados pela Cemig D;
- Detalhamento das análises realizadas;
- Soluções propostas para a correção das perturbações e prazos previstos para implantação.

Apresentado o relatório, caberá à Cemig D:

- Analisar os estudos, propondo alterações se necessário;
- Após aprovado o RISD, a Cemig D deverá anexá-lo 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 pelo acessante antes e após a ligação da carga e dos dispositivos de mitigação que se fizerem necessários.
- A Cemig poderá, a seu exclusivo critério, realizar medições de forma a confirmar os resultados apresentados pelo acessante.
- O procedimento de medição e os equipamentos de medição deverão se ater às determinações do PRODIST, Módulo 8, dos Procedimentos de Rede, Submódulo 2.8 e ABNT.
- Caberá a Cemig D o acompanhamento e aprovação da metodologia, procedimentos e instrumental utilizado.

9.2 ESTUDOS ESPECÍFICOS PARA VARIAÇÕES ESPORÁDICAS DE TENSÃO

No Estudo de Distribuição ED 5.57 foram estabelecidos critérios simplificados para a análise de variações esporádicas de tensão devidas às manobras de blocos de cargas, partidas de motores elétricos, chaveamento de bancos de capacitores ou reatores, rejeição de carga, desligamento súbito de variações na potência de geradores e energização de fornos a arco e de indução.

Caso a magnitude das variações esporádicas de tensão obtidas pelos critérios simplificados sejam inferiores aos limites estabelecidos no item 6.1, a conexão das cargas poderá ser efetuada sem a necessidade de análises adicionais para avaliação dos impactos da carga, equipamento ou geração sobre a tensão da rede.

Caso contrário, serão necessários estudos para avaliação dos impactos das variações de tensão provocada pela carga, equipamento ou geração sobre a tensão da rede, responsabilizando-se o acessante pelas correções necessárias, tais como reforços no sistema elétrico supridor ou mesmo alteração do ponto de conexão originalmente proposto.

A seguir, são discriminados os estudos relativos às variações de tensão para cada tipo de carga, equipamento ou geração.

Análise da 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.

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

- Maior a potência nominal dos motores;
- Maior a relação entre corrente de partida e corrente nominal das máquinas;
- Menor 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.

O ED 5.57 recomenda 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} :

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

Nesse caso, a Concessionária poderá recomendar a mudança de tensão de atendimento ao acessante, ou outra solução considerada tecnicamente adequada para a redução das variações de tensão impostas ao sistema Cemig D.

Caso o consumidor discorde da solução apresentada, deverá realizar estudos especiais de partida de motores, para avaliação mais precisa dos impactos e a definição dos dispositivos de redução da corrente de partida que se fizerem necessários para o atendimento aos limites de variação esporádica de tensão estabelecidos no item 6.1.

O relatório desses estudos deverá apresentar as análises do comportamento os transitórios de partida levando em consideração os seguintes fatores:

- Características dos motores elétricos
- Sistema de alimentação interno ao acessante
- Representação da rede elétrica
- Estudo da partida direta
- Estudo da partida com dispositivo de partida recomendado
- Atendimento aos critérios de limitação da variação esporádica de tensão (item 6.1)

Fornos a arco

Do ponto de vista da amplitude da variação de tensão imposta à rede elétrica, o maior impacto devido à operação de um forno a arco ocorre na partida, 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. Em geral quando se atende à questão dos níveis de cintilação luminosa, sempre são resolvidos os problemas de variação de tensão na energização, a não ser que se trate de fornos a arco submerso, ou fornos elétricos panela, com baixos níveis de cintilação luminosa.

A variação de tensão na partida 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(SN), 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:

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

Da mesma forma que no caso anterior, caso o valor de ΔV_{eqf} seja igual ou maior que os limites estabelecidos no item 6.1, a Cemig D poderá recomendar a mudança de tensão de atendimento ou outra alternativa de solução que considerar tecnicamente adequada.

Caso o consumidor discorde da solução apresentada, deverá realizar análises mais detalhadas da variação de tensão na ligação do forno considerando os seguintes fatores:

- 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.
- Ações para redução da variação de tensão na conexão do forno.

Ressalta-se que, dentre as perturbações causadas pelos fornos a arco, a mais preocupante é o efeito flicker, uma cintilação luminosa em uma faixa de frequência capaz de perturbar a percepção da luminosidade pelos seres humanos. Muito mais que as variações de tensão na rede, na maior parte dos casos é esse efeito que vai predominar na avaliação dos impactos da energização de um forno elétrico a arco como carga potencialmente perturbadora.

Entretanto, em função da característica dos fornos a arco, as variações de tensão na partida podem se tornar a principal preocupação. Nesse caso, caso os limites sejam violados, deverão ser definidas ações para a redução da variação de tensão na conexão do forno.

Manobra de blocos de cargas, reatores e bancos de capacitores

Manobra de blocos de carga ou equipamentos tais como fornos de indução, laboratórios de teste de capacidade de curto circuito, por exemplo, bancos de capacitores e reatores, podem causar perturbações da tensão.

Embora esse impacto possa ocorrer na alta tensão, dependendo das dimensões da carga, seu impacto é mais preocupante nas redes 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.

No ED 5.57 estabeleceu-se como critério preliminar a estimativa desses distúrbios com base na potência nominal dos blocos de carga a serem manobrados e a potência de curto circuito trifásica no ponto de conexão. Na expressão P_N é a potência aparente nominal da carga e S_{CC} é a capacidade de curto circuito trifásica.

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

Esse critério aplica-se à manobra de qualquer bloco de carga que possa ocorrer no sistema elétrico. Caso as variações obtidas por esse método fossem iguais ou superiores a 5%, a Cemig D poderá recomendar a mudança da tensão de fornecimento do consumidor ou outra alternativa que considerar tecnicamente adequada.

Caso discorde das soluções apresentadas pela Cemig D, o consumidor deverá realizar estudos específicos para avaliação desses impactos e formulação de soluções de atenuação, podendo envolver reforços no sistema elétrico supridor ou mesmo alteração do ponto de conexão originalmente proposto, desde que com os custos assumidos pelo acessante.

Unidades de geração distribuída

A instalação de unidades de geração distribuída podem provocar grandes variações de tensão, alteração dos perfis e distúrbios no controle de tensão nas redes de média tensão e impactos na proteção da rede. Esses impactos são mais intensos nos casos em que essas interligações ocorrem em pontos mais precários do sistema elétrico.

Outro fator adicional de preocupação é que muitas vezes a potência nominal da geração instalada é muito superior aos montantes de potência intercambiada com a rede elétrica. Nessas condições, a rede elétrica pode tornar-se sujeita a grandes oscilações de tensão, devido a oscilações eletromecânicas dessas centrais.

Por esse motivo, esses impactos foram objeto de critérios específicos para a definição da conexão e estão contidos nas ND 5.31 e 5.32, que tratam das conexões de acessantes geradores à rede de média tensão.

Os estudos de regime permanente são realizados preferencialmente pela própria concessionária, que nesse caso específico reúne maior experiência e conhecimento técnico para tratamento dessa questão, e também por exigência da regulação existente.

Além dos estudos de regime permanente, poderão ser solicitados ao acessante gerador, estudos de comportamento dinâmico, considerando a interação entre as unidades de geração e a rede elétrica de média e alta tensão da Concessionária.

No caso de consumidores possuidores de centrais de geração, caso não concordem com as soluções apresentadas pela Concessionária nos estudos estáticos, deverão realizar estudos específicos para avaliar os impactos da geração sobre a rede elétrica e definir as formas de atenuação.

9.3 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

No ED 5-57 foi proposta uma maneira de avaliação aproximada do fator de desequilíbrio FD, utilizando-se apenas o montante de cargas desequilibradas e o nível de curto-circuito no ponto de conexão. No caso de cargas desequilibradas para 1 fase, propõe-se a seguinte expressão, considerando as tensões da rede iguais a 1,0 pu:

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

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:

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

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

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

O procedimento simplificado para avaliação de desequilíbrio consiste em aplicar a seguinte expressão para FD:

$$\frac{\Delta S_{des}}{S_{CC}} \cdot 100 \geq 1,5\%$$

Caso seja superado o valor limite individual de FD , a Cemig D poderá recomendar a mudança da tensão de fornecimento do consumidor, ou outra solução tecnicamente equivalente.

Caso o consumidor discorde das soluções apresentadas pela Cemig D, deverá realizar análises mais detalhadas do nível de desequilíbrio na rede, de forma a apresentar soluções para a correção do desequilíbrio.

9.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Por questões práticas, é mais adequado que o controle do nível de distorções harmônicas na rede seja efetuado antes que as cargas sejam conectadas.

Na fase de viabilidade econômica e financeira, antes da implantação dos projetos, é mais fácil a obtenção de recursos para as eventuais ações corretivas, cujos custos são em geral muito inferiores aos montantes totais envolvidos no financiamento.

Após a implantação, recursos para correção de qualidade vão ser contabilizados nas contas de fluxo de caixa, e afetam diretamente os resultados financeiros do negócio. Assim, é muito mais difícil a obtenção de recursos para instalação de equipamentos de atenuação após a entrada em operação do projeto.

Adicionalmente, ainda é uma questão controversa a definição das responsabilidades por distorções harmônicas na rede por meio de medição dos indicadores globais, resultantes da contribuição de vários acessantes simultaneamente.

Além disso, no Módulo 8 do PRODIST se estabelece sejam realizados esses estudos específicos de QEE e que estes devem integrar o Parecer de Acesso, que precede a entrada em operação do projeto ou ampliação.

A abordagem proposta para as distorções harmônicas não difere da proposta para os outros tipos de perturbações, e apresenta as mesmas etapas. Na primeira é realizada uma avaliação simplificada, para se definir o caráter perturbador da carga. Na segunda etapa são estudadas apenas as cargas potencialmente perturbadoras.

Etapa 1 – Análise Preliminar

A primeira etapa de análise é realizada pela Concessionária, e foi proposta e detalhada no ED 5.57 [ref.7]. Consiste em uma abordagem simplificada, mas com precisão suficiente para identificar as cargas não lineares que não representem riscos de provocar perturbações excessivas na rede elétrica, baseada nas recomendações contidas no documento IEEE std. 519-2014, “*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*” [ref. 17].

Esses critérios tomam como parâmetros de entrada a potência de curto circuito $S_{cc3\phi}$ e a potência da carga não linear P_{carga} . Em função da relação entre essas duas grandezas é estabelecido um espectro máximo admissível para a injeção das correntes harmônicas para cada harmônico.

As tabelas seguintes mostram os limites percentuais de corrente harmônica por acessante em relação à fundamental 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.

Tabela 14 – Limites percentuais de corrente Harmônica por Consumidor (conforme norma IEEE 519 - 2014) - $V < 69$ kV

Limites por consumidor para distorção harmônica de Corrente $V < 69$ kV (Baseados na Norma IEEE - 519)						
$S_{cc3\phi} / P_c$	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

Tabela 15 – Limites percentuais de corrente Harmônica por Consumidor (conforme norma IEEE 519 - 2014) - $V < 69 \text{ kV}$

Limites por consumidor para distorção harmônica de Corrente 69 kV < V ≤ 138 kV (Baseados na Norma IEEE - 519)						
S _{cc3φ} / P _c	Valores percentuais das correntes harmônicas					TDD (%)
	h ≤ 11	11 < h < 17	17 < h < 23	23 < h < 35	h > 35	
k < 20	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15	2,5
20 < k ≤ 50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4,0
50 < k ≤ 100	5,0	2,25	2,0	0,75	0,35	6,0
100 < k ≤ 1000	6,0	2,75	2,5	1,0	0,5	7,5
k ≥ 1000	7,5	3,5	3,0	1,25	0,7	10,0

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.

No caso de unidades de microgeração e minigeração distribuída interligada à rede de distribuição por meio de inversores, o acessante deverá apresentar certificados atestando que os inversores já tenham sido ensaiados e aprovados conforme normas técnicas brasileiras ou normas internacionais, ou o número de registro da concessão do Inmetro para o modelo e a tensão nominal de conexão constantes na solicitação de acesso, de forma a atender aos requisitos de segurança e qualidade estabelecidos pelo Módulo 3, revisão 7, seção 3.7 do PRODIST (item 4.3.1).

Com base nesses estudos, a Concessionária poderá recomendar a mudança de tensão do acessante, com base no artigo 13, inciso I da Resolução Normativa ANEEL 414/2010, ou outra solução tecnicamente equivalente.

Etapa 2 – Análise detalhada pelo Consumidor

Caso discorde da solução recomendada pela Cemig D, o consumidor deverá efetuar estudos específicos de distorções harmônicas, se necessário propondo a instalação de filtros, ativos ou passivos, conforme o caso, e utilizando como referência os limites individuais por acessante propostos no item 6.3 desse trabalho.

Ressalta-se que tanto cargas quanto unidades de geração distribuída interligadas por conversores podem ser eventualmente causadoras de distorções harmônicas na rede elétrica.

Os estudos deverão ter complexidade diferente, em função do nível de tensão da conexão e do ponto da rede de distribuição onde se dá a interligação da carga:

- Para cargas de média tensão conectadas a uma rede suprida por uma SE de distribuição, os estudos realizados deverão se ater às seguintes condições:

- A Concessionária deverá fornecer as impedâncias harmônicas equivalentes do sistema de distribuição no ponto de conexão elétrica entre a carga e a rede da concessionária. Essas impedâncias deverão ser fornecidas para a condição de carga leve e pesada pelo menos. Poderão ser consideradas as configurações e contingências consideradas relevantes a critério da concessionária.
 - As correntes harmônicas conforme fornecidas pelo fabricante dos equipamentos, nas ordens de 2 a 40, levando em consideração a operação da carga.
 - As tensões harmônicas no ponto de conexão deverão ser calculadas a partir das impedâncias harmônicas próprias das barras de conexão e as correntes harmônicas correspondentes e comparadas com os limites por acessante propostos no item 6.3 desse trabalho.
 - O acessante Deverá modelar eletricamente sua planta interna e os bancos de capacitores de média tensão a serem instalados ou existentes em sua planta.
 - Ao acessante cabe definir e projetar os dispositivos de mitigação das distorções que se fizerem necessários.
 - Os estudos resultantes deverão ser encaminhados à concessionária para aprovação.
 - Caso não ocorra aprovação, caberá à concessionária indicar as alterações a serem efetuadas no estudo.
 - Após a aprovação o estudo deverá ser incorporado ao Parecer de Acesso.
- b) Para uma carga conectada a uma rede de média tensão suprida por uma DIT, os estudos de distorção harmônica realizados pelo acessante deverão atender às seguintes condições:
- A Concessionária deverá fornecer as impedâncias harmônicas equivalentes na barra de média tensão da DIT que alimenta o acessante e os parâmetros da rede de distribuição até a conexão com o acessante. Essas impedâncias deverão ser fornecidas para as condições de carga leve e pesada pelo menos. Poderão ser consideradas as configurações e contingências consideradas relevantes a critério da Concessionária. Recomenda-se a representação dos principais blocos de carga do alimentador e os capacitores instalados ou a instalar em média tensão.
 - As correntes harmônicas conforme fornecidas pelo fabricante dos equipamentos, nas ordens de 2 a 40, levando em consideração a operação da carga.
 - As tensões harmônicas no ponto de conexão deverão ser calculadas a partir dos estudos de distorção harmônica com os dados de impedâncias harmônicas próprias da barra de média tensão da DIT que alimenta o acessante e os parâmetros da rede de distribuição até a conexão com o acessante, utilizando-se as correntes harmônicas correspondentes.
 - As tensões harmônicas no ponto de conexão serão comparadas com os limites por acessante propostos no item 6.3 desse trabalho. As tensões harmônicas na barra de média tensão da DIT serão comparadas com os limites individuais do ONS fornecidos no Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede e também constantes do item 6.3 desse trabalho.
 - O acessante deverá modelar eletricamente sua planta interna e os bancos de capacitores de média tensão a serem instalados ou existentes em sua planta.
 - Ao acessante cabe definir e projetar os dispositivos de mitigação das distorções que se fizerem necessários.

- Os estudos resultantes deverão ser encaminhados à concessionária para aprovação.
 - Caso não ocorra aprovação, caberá à concessionária indicar as alterações a serem efetuadas no estudo.
 - Após a aprovação o estudo deverá ser incorporado ao Parecer de Acesso.
- c) Para uma carga conectada em alta tensão ao sistema de distribuição, os estudos de distorção harmônica realizados pelo acessante deverão atender aos limites do PRODIST e também aos limites do Procedimento de Rede do ONS. Para isso, deverão ser analisados os impactos da carga no ponto de conexão do acessante com a Distribuidora e na barra de fronteira da Rede Básica por onde se der o suprimento da rede de distribuição de interesse. Para se avaliar o impacto no ponto de conexão com a concessionária deverão ser atendidas as seguintes condições:
- A Concessionária deverá fornecer as impedâncias harmônicas equivalentes do sistema de distribuição no ponto de conexão elétrica entre a carga e a rede da concessionária. Essas impedâncias deverão ser fornecidas para a condição de carga leve e pesada pelo menos. Poderão ser consideradas as configurações e contingências consideradas relevantes a critério da concessionária.
 - As correntes harmônicas conforme fornecidas pelo fabricante dos equipamentos, nas ordens de 2 a 40, levando em consideração a operação da carga.
 - As tensões harmônicas no ponto de conexão deverão ser calculadas a partir das impedâncias harmônicas próprias das barras de conexão e as correntes harmônicas correspondentes e comparadas com os limites por acessante propostos no item 6.3 desse trabalho.
 - O acessante deverá modelar eletricamente sua planta interna e os bancos de capacitores de média tensão a serem instalados ou existentes em sua planta.
 - Ao acessante cabe definir e projetar os dispositivos de mitigação das distorções que se fizerem necessários.
 - Os estudos resultantes deverão ser encaminhados à concessionária para aprovação.
 - Caso não ocorra aprovação, caberá à concessionária indicar as alterações a serem efetuadas no estudo.
 - Após a aprovação o estudo deverá ser incorporado ao Parecer de Acesso.
- d) Nos casos em que o ponto de conexão da carga estiver eletricamente próximo da barra de fronteira com a Rede Básica, além dos estudos de distorção harmônica na rede de distribuição, a Distribuidora poderá considerar necessária a realização dos estudos adicionais de penetração de harmônicos para se atender aos critérios do ONS. Para isso deverão ser atendidas as seguintes condições:
- A Concessionária deverá fornecer os parâmetros das linhas, subestações, cargas e compensação reativa contidas na região de interesse do sistema elétrico de distribuição ao qual o acessante estiver interligado, para as condições de carga leve e pesada pelo menos. A Concessionária poderá incluir as contingências mais importantes a serem consideradas na análise.
 - O acessante deverá incorporar os dados de rede fornecidos pela Distribuidora à base de dados sobre a Rede Básica disponibilizada pelo ONS para um horizonte de 5 anos.

- O estudo deverá ser realizado utilizando o equivalente de Norton e o método do lugar geométrico da admitâncias harmônicas, conforme estabelecido pelo ONS no documento ONS NT 009/2016 – REV.01 – “Instruções Para Realização De Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica Para Parques Eólicos, Solares e Consumidores Livres” [ref. 18].
- Para cada harmônico analisado, as tensões harmônicas máximas na barra de fronteira serão comparadas com os limites por acessante propostos no item 6.3 desse trabalho. As tensões harmônicas na barra de média tensão da DIT serão comparadas com os limites individuais do ONS fornecidos no Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede e constantes item 6.3 desse trabalho.
- O acessante deverá modelar eletricamente sua planta interna e os bancos de capacitores de média tensão a serem instalados ou existentes em sua planta.
- Ao acessante cabe definir e projetar os dispositivos de mitigação das distorções que se fizerem necessários.
- Os estudos resultantes deverão ser encaminhados à concessionária para aprovação.
- Caso não ocorra aprovação, caberá à concessionária indicar as alterações a serem efetuadas no estudo.
- Após a aprovação o estudo deverá ser incorporado ao Parecer de Acesso.

Etapa 3 – Campanhas de Medições

Independente da instalação ou não de filtros ou outros equipamentos de atenuação, antes e após a instalação da carga com os eventuais dispositivos de atenuação o acessante deverá realizar medições de distorções harmônicas conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT e pelo PRODIST no Módulo 8. Essas medições deverão ocorrer sob a supervisão da Concessionária.

Nos casos em que a Concessionária ou o ONS considerarem necessário, também serão realizadas medições de distorções harmônicas conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT e pelo ONS no Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede e no documento ONS NT 009/2016 – REV.01 – “Instruções Para Realização De Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica Para Parques Eólicos, Solares e Consumidores Livres” [ref. 18].

9.5 CINTILAÇÕES LUMINOSAS (EFEITO FLICKER)

Considerando-se a rede de distribuição de média e alta tensão, os principais causadores de cintilações luminosas são os fornos a arco, seguidos pelas cargas de grande porte sujeitas a variações repetitivas, tais laminadores e acionamentos com partidas repetitivas de intensidade variável de potência.

Fornos elétricos de indução, fornos resistivos, ou mesmo fornos a arco submerso (fornos panela para refino, fornos elétricos para ferroligas) normalmente não acarretam níveis preocupantes de cintilação luminosa, a não ser que sejam instalados em sistemas de distribuição extremamente precários em comparação com a potência das cargas.

Embora reconhecidos como mais diretamente associados ao fenômeno do flicker, os fornos a arco possuem comportamento bastante complexo, devido às características aleatórias e não lineares do comportamento de suas correntes e de sua impedância.

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 seu circuito de alimentação, bem como de suas características de operação.

A ED 5-57 propõe uma forma de avaliação simplificada dos níveis de P_{ST} devidos à operação dos fornos, em função da potência de curto circuito do forno equivalente e da potência de curto circuito 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} estimado será:

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

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: $m = 3$
- Na falta de informações adicionais, adota-se $m=2$.

O nível de P_{st} equivalente deverá ser inferior ao limite estabelecido no item 8.4. Caso esse limite seja violado, a Cemig D poderá determinar a mudança da tensão do consumidor ou solução tecnicamente equivalente.

Caso o acessante discorde do estabelecido, deverá efetuar estudos específicos, para

definir as soluções de atenuação adequadas.

O flicker também pode ser provocado na rede elétrica por cargas com variações repetitivas de corrente, tais como laminadores, soldas elétricas e compressores. Também poderá ser provocado por gerações sujeitas a variações da potência ativa (eólicas e fotovoltaicas). Entretanto a metodologia simplificada utilizada para a avaliação do flicker devido a fornos a arco não se aplica a tais cargas.

Como critério simplificado para avaliação de cargas repetitivas, no ED 5-57 propôs-se a adoção da expressão seguinte para o estabelecimento de limites:

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

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:

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

Nos casos de violação dos critérios simplificados, a Concessionária poderá determinar ao acessante a mudança de tensão ou solução tecnicamente equivalente.

Caso discorde da solução apresentada pela Cemig D, o consumidor deverá realizar estudos específicos para avaliação dos impactos na rede elétrica e definição e dimensionamento dos equipamentos que se julgarem necessários, utilizando modelagem detalhada das cargas perturbadoras e softwares adequados para cada tipo de análise (tais como Fluxo de carga, Curto-Circuito, ATP, ANATEM).

9.6 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA GERAÇÃO (VTCD)

No tocante às VTCD originárias da manobra ou operação de cargas ou equipamentos de propriedade de acessantes, deverão ser realizados os mesmos estudos considerados no item 7.1, em função das características das cargas.

De forma sintética, tais estudos serão basicamente do tipo:

- Análise das condições de partida de motores e definição dos dispositivos de partida adequados;
- Impacto da ligação ou desligamento de cargas ao sistema elétrico: estudos estáticos ou dinâmicos das variações de tensão devidas à conexão de cargas ou equipamentos de grande porte ao sistema de distribuição;
- Impacto da ligação ou desligamento de unidades geradora ao sistema elétrico: estudos estáticos ou dinâmicos das variações de tensão devidas à conexão de cargas ou equipamentos de grande porte ao sistema de distribuição.

Por meio de tais estudos serão definidas ações para a redução das variações de tensão, tais como análise de partida de motores, variações de tensão devido à manobra de cargas, dentre outras. As soluções propostas poderão envolver a instalação de equipamentos ou a proposição de novas obras par ao sistema.

No caso de ocorrência de VTCD provocados por carga ou equipamentos, a Cemig D poderá determinar ao consumidor a mudança de tensão de atendimento ou solução tecnicamente equivalente. Caso discorde das soluções apresentadas este deverá efetuar estudos específicos para avaliar os impactos e definir as soluções para sua atenuação.

10 CONCLUSÕES E QUADRO RESUMO

O ED 5.57 (ref. 6) estabeleceu como condição para que uma carga ou equipamento fosse considerado potencialmente perturbador o não atendimento a algum dos critérios estabelecidos na seguinte tabela:

Tabela 16 – Resumo dos critérios para caracterização de cargas e equipamentos como potencialmente perturbadores

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 - 2014
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 $P_{st_{est}} = 0,85 \cdot \frac{S_{cc_{eq}}}{S_{cc_{sist}}}$ Para outras cargas $\Delta V_{\%} = \frac{\Delta S_N}{S_{CC}} \cdot 100$	Para fornos a arco $P_{st_{est}} > \text{limite por Acessante}$ Outras cargas $V_{\%MAX} = \frac{15}{(3 + \sqrt{f})}$
Desequilíbrios	cargas aleatórias tais como fornos elétricos a arco; cargas monofásicas ou bifásicas em geral.	$FD = \Delta S_{des} / SCC_{3\phi}$	$FD > 1,5\%$
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 $\Delta V = \frac{S_N}{S_{CC}} \cdot 100$	$\Delta V \geq 10\%$

No caso de não atendimento a algum dos critérios estabelecidos na tabela anterior, A Cemig

D poderá determinar ao consumidor a mudança de tensão de fornecimento ou solução tecnicamente equivalente.

Caso o consumidor discorde da solução apresentada pela Cemig D, deverá ser realizar estudos específicos, analisando as perturbações potenciais estabelecidas conforme critérios reunidos na tabela anterior.

Após serem aprovados pela Cemig D, os resultados e conclusões desses estudos deverão ser incluídos no Parecer de Acesso.

A tabela seguinte resume as perturbações, os critérios e os estudos específicos cabíveis a cada uma delas.

Tabela 17 – Resumo dos critérios e estudos específicos utilizados para cargas potencialmente perturbadoras

ESTUDOS ESPECÍFICOS PARA CARGAS POTENCIALMENTE PERTURBADORAS				
Impactos	Parâmetros de Avaliação	Critérios da Distribuidora		Principais Estudos
Distorções harmônicas	<p>DTT (%): Distorção harmônica total de tensão (por acessante)</p> <p>DTTP(%):Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3 (por acessante)</p> <p>DTTi(%):Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3 (por acessante)</p> <p>DTT3(%):Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 (por acessante).</p>	1,0kV ≤ Vn < 69kV		<p>Estudo de distorções harmônicas.</p> <p>Para acessantes de de AT conectados eletricamente próximos à Rede Básica, utilizar a metodologia do ONS (ref. 18), e atender também aos limites individuais do ONS.</p> <p>Para acessantes de MT conectados a alimentador suprido por barra de média tensão de uma DIT, atender também aos limites individuais do ONS.</p>
		DTT (%)	6,0%	
		DTTP(%)	1,4%	
		DTTi(%)	4,2%	
		DTT3(%)	3,5%	
		69kV ≤ Vn < 230kV		
		DTT (%)	3,5%	
		DTTP(%)	0,7%	
		DTTi(%)	2,8%	
		DTT3(%)	2,1%	
Flicker	P_{ST} 95% : Fator de severidade para 95% das medições	1,0kV < Vn < 69kV		<p>Estudos de modelagem e simulação do flicker, para adequação dos níveis de perturbação aos critérios da Distribuidora. Acessantes próximos à Rede Básica devem atender também aos limites individuais do ONS.</p>
		1,2 pu		
		69kV ≤ Vn < 230kV		
		1,6 pu		
Desequilíbrios	<p>FD: Fator de desequilíbrio</p> $FD = \frac{V_2}{V_1}$	FD = 1,5%		Estudos e análises mais detalhadas, de forma a apresentar se necessário soluções para a correção do desequilíbrio potencialmente provocado .

ESTUDOS ESPECÍFICOS PARA CARGAS POTENCIALMENTE PERTURBADORAS (cont.)			
Impactos	Parâmetros de Avaliação	Crítérios da Distribuidora	Principais Estudos
Variações esporádicas nos níveis de Tensão	$\Delta V\%$: Amplitude da variação de tensão provocada pelo acessante	<ul style="list-style-type: none"> • limites críticos máximos e mínimos de tensão do Módulo 8 do PRODIST. • $\Delta V\% \leq 5\% V_N$ em AT; • $\Delta V\% \leq 5\% V_N$ em MT – Área Urbana; • $\Delta V\% \leq 7,5\% V_N$ em Área rural, desde que os demais consumidores não sejam afetados. 	<p>Estudos estáticos ou dinâmicos envolvendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análise da partida de motores elétricos; -Manobra de blocos de cargas, reatores e bancos de capacitores; -Unidades de geração distribuída.
Variações de tensão de curta duração - VTCD	$\Delta V\%$: Amplitude da variação de tensão provocada pelo acessante		

11 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] ONS -Procedimento de Rede - Submódulo 2.8 - Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e dos barramentos dos transformadores de fronteira, e de seus componentes.
- [4] Torrezan, Ricardo e outros. Metodologia para Análise do Impacto de Cargas Potencialmente Perturbadoras na Qualidade da Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição. Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica XIX - SENDI 2010 – São Paulo.
- [5] CPFL – Norma Técnica GED 10099- Requisitos para Conexão de Cargas Potencialmente Perturbadoras ao Sistema Elétrico da CPFL
- [6] Cemig D. ED-5.57 – “Estudo de Distribuição - Caracterização de Cargas Potencialmente Perturbadoras”. Belo Horizonte - Dezembro/2016.
- [7] Deckmann, Sigmar Maureen; Pomílio, J.A – Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica – 4.Flutuações de tensão e o efeito da cintilação luminosa - DSE – FEEC – UNICAMP - <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a4.pdf>.
- [8] WEG - Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção. <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>.
- [9] CPFL - Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução – Orientação técnica – Campinas, 10/08/2000.
- [10] Deckmann, Sigmar Maureen; Pomílio, J.A – Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica – 6. Transitórios de chaveamento e Desequilíbrio- DSE – FEEC – UNICAMP - <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a6.pdf>.
- [11] Paulillo, Gilson; Teixeira, Mateus. Flutuações de tensão - Curso de qualidade de energia – Capítulo VII.http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-90_Fasciculo_Cap-VII-Qualidade-de-energia.pdf
- [12] 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.
- [13] 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 SNPTTE – Grupo X – Nova Iguaçu – 1999.
- [14] Chmielowiec, Krzysztof. “Flicker Effect of Different Types of Light Sources” – International Conference on electrical Power Quality and Utilization – IEEE. Cracóvia, Polônia – 2011.
- [15] Halpin, S. Mark et all . “Voltage and Lamp Flicker Issues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach?” - <http://cpdee.ufmg.br/~selenios/Qualidade/Artigo5.pdf>.
- [16] Sharma, Harish et all. “Flicker/Voltage Flutuation Response of Modern Lamps Including Those With Dimable Capability and other Low Voltage Sensitive Equipment.” CIGRE . Estocolmo, Suécia, 2013.
- [17] IEEE – Recommended Practices and Requirements for harmonic Control in Electrical Power Systems – IEEE Std. 519 – 2014 – Revision of IEEE Std 519 - 1992.
- [18] ONS – ONS NT 009/2016 – REV.01 – “Instruções Para Realização De Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica Para Parques Eólicos, Solares e Consumidores Livres”. Rio de Janeiro – 2016.
- [19] Costa, Cristiano de Oliveira et all – Avaliação do Desempenho Harmônico de Cargas Não Lineares Utilizando o Programa Harmzs – XII SEPOPE – Rio de Janeiro – 2012.
- [20] 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.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-88_Fasciculo_Cap-V-Qualidade-de-energia.pdf
- [21] 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.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-89_Fasciculo_Cap-VI-Qualidade-de-energia.pdf
- [22] ANEEL – Nota Técnica 0105 – SRD – Anexo I – Relatório 6/8 – “Critérios Mínimos Para Conexão de Acessantes Potencialmente perturbadores ou Sensíveis – Distorções Harmônicas, Desequilíbrios de Tensão, Flutuações de Tensão e Variações de tensão de Curta Duração” – Brasília, 2014.