

HELEN VELOZO VENDRAMETO

**ANÁLISE DAS PERTURBAÇÕES DE QUALIDADE DE ENERGIA EM
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO E A ADEQUAÇÃO AS TENDÊNCIAS
REGULATÓRIAS DO PRODIST**

HELEN VELOZO VENDRAMETO

ANÁLISE DAS PERTURBAÇÕES DE QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO E A ADEQUAÇÃO AS TENDÊNCIAS REGULATÓRIAS DO PRODIST

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

V453a

Vendrameto, Helen Velozo

Análise das perturbações de qualidade de energia em sistemas de distribuição e a adequação as tendências regulatórias do PRODIST/ Helen Velozo Vendrameto– Guaratinguetá, 2015.

96 f : il.

Bibliografia: f. 94-96

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

1. Energia elétrica - Distribuição 2. Distorção elétrica 3. Sistemas de energia elétrica -Controle I. Título

CDU 621.316

ANÁLISE DAS PERTURBAÇÕES DE QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO E A ADEQUAÇÃO AS TENDÊNCIAS REGULATÓRIAS DO PRODIST

HELEN VELOZO VENDRAMETO

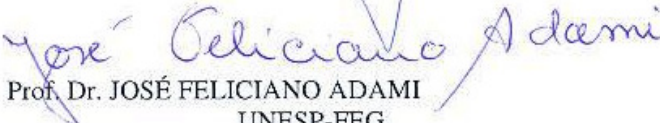
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
UNESP-FEG


Prof. Dr. DANIEL JULIÁN BARROS DA SILVA SAMPAIO
UNESP-FEG

Dezembro de 2015

Dedico a todos aqueles que de algum modo me apoiaram ao longo desta jornada. De modo especial aos meus familiares, por sempre acreditar e investir em mim, cujo esforço serve como sustento para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a inteligência do universo, que em sua criação mostrou-se extraordinário. Agradeço por minha vida, família e amigos.

Aos meus pais, Jair e Maria Clara, à minha irmã Letícia e namorado Lucas, pela paciência e esforços empregados.

Ao grupo CPFL, em particular ao engenheiro Alex Almeida Pignatti, pela participação nas propostas iniciais e orientação, pelo incentivo e o importante tempo dispensado.

Ao meu orientador, Oscar Armando Maldonado Astorga, pelo incentivo, orientação e auxílio em todas as etapas deste trabalho.

Aos demais colegas da CPFL, que contribuíram com suas experiências e por meio de conversas, sempre dispostos a compartilhar conhecimentos e ajudar.

VENDRAMETO, H. V. **Análise das perturbações de qualidade de energia em sistemas de distribuição e a adequação as tendências regulatórias do PRODIST**. 2015. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

A consulta pública nº 018/2014, para revisão do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST), conduzida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), objetiva aperfeiçoar a regulamentação que trata da qualidade da energia elétrica, considerando os fenômenos de distorção harmônica de tensão, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de tensão de curta duração.

Tais mudanças regulatórias impactam sobre a forma de análise e tratamento, das perturbações de qualidade de energia, pelas distribuidoras de energia elétrica. O trabalho desenvolvido realiza um estudo sobre a aplicação destas novas solicitações regulatórias, com o intuito de contribuir para uma melhor compreensão destas medidas.

Por meio da realização de medições de qualidade de energia, em subestações de distribuição, as quais atendam predominantemente três perfis de carga distintos (industrial, residencial urbano e rural), obteve-se uma visão real do sistema, sob o aspecto da qualidade de energia, para avaliação da aderência a regulamentação vigente e proposta.

No estudo de caso realizado, apesar da conformidade com a metodologia vigente, houve caso de transgressão da proposta. Por meio de uma análise comparativa, foi possível identificar fenômenos que sofreram flexibilização ou manutenção, das exigências, na revisão proposta, assim como outros que terão um acompanhamento mais severo.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de energia, PRODIST, Medição.

VENDRAMETO, H. V. **Analysis of power quality disturbances in distribution systems and adequation on regulatory trends of PRODIST**. 2015. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering). Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

The public consultation n° 018/2014, for review the Module 8 of Procedures of Electricity Distribution (PRODIST), conducted by National Agency of Electric Energy (ANEEL), aims to improve the regulation of power quality, considering the phenomena harmonic distortion, voltage unbalance, voltage fluctuation and short term voltage variation.

These regulatory changes impact in the way of analysis and treatment, of power quality disruption, by the electricity distribution. The developed work makes a study about the applications of these new regulatory requests and hopes to contribute with a better understanding.

Through power quality measurements, in distribution substations, with different load profiles (industrial, urban and rural), was obtained a real view of the system, under the aspect of power quality, to evaluate the regulation adherence to the current version and proposed.

In this case study, although being in accordance with the current methodology, happened a transgression of propose. With a comparative analysis, was possible to identify some phenomena that were more flexible in the proposed revision and others with more severe monitoring.

KEYWORDS: Power quality, PRODIST, Measurements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo regulatória: 1934 até 1995	19
Figura 2 – Linha do tempo regulatória: a partir de 1995	22
Figura 3 – Decomposição forma de onda global em componentes harmônicas	25
Figura 4 – Formas de onda de corrente e tensão para cargas lineares e não lineares	27
Figura 5 – Circuito não linear	28
Figura 6 – Redução da vida útil MIT pela exposição a distorções harmônicas	29
Figura 7 – Tensão sistemas trifásicos: equilibrado e desequilibrado	32
Figura 8 – Efeito desequilíbrio de tensão sobre as perdas (a) e conjugado (b) MIT	34
Figura 9 – Redução da vida útil MIT x fator de desequilíbrio	35
Figura 10 – Flutuação de tensão: repetitiva e aleatória	36
Figura 11 – Diagrama unifilar simplificado de subestação típica de distribuição	55
Figura 12 – Visão geral instalação da medição no painel subestação	55
Figura 13 – Instalação medidor no painel subestação 1	57
Figura 14 – Gráfico nível de tensão permanente, subestação 1.....	58
Figura 15 – Distorção harmônica total (DTT%) metodologia vigente, subestação 1	59
Figura 16 – Gráfico $DTT_i\%$, metodologia proposta, subestação 1.....	61
Figura 17 – Gráfico $DTT_p\%$, metodologia proposta, subestação 1	61
Figura 18 – Gráfico $DTT_3\%$, metodologia proposta, subestação 1	61
Figura 19 – Histograma do desequilíbrio de tensão, subestação 1	62
Figura 20 – Gráfico flutuação de tensão Pst, subestação 1	63
Figura 21 – Gráfico flutuação de tensão Plt, subestação 1	64
Figura 22 – Instalação medidor no painel subestação 2	66
Figura 23 – Gráfico nível de tensão permanente, subestação 2.....	67
Figura 24 – Distorção harmônica total (DTT%) metodologia vigente, subestação 2	68
Figura 25 – Gráfico $DTT_i\%$, metodologia proposta, subestação 2.....	70
Figura 26 – Gráfico $DTT_p\%$, metodologia proposta, subestação 2	70
Figura 27 – Gráfico $DTT_3\%$, metodologia proposta, subestação 2	70
Figura 28 – Gráfico fator de deslocamento, 1008 amostras, subestação 2.....	71
Figura 29 – Gráfico flutuação de tensão Pst, subestação 2	72
Figura 30 – Instalação medidor no painel subestação 3	74
Figura 31 – Gráfico nível de tensão permanente, subestação 3.....	75
Figura 32 – Distorção harmônica total (DTT%) metodologia vigente, subestação 3	75

Figura 33 – Gráfico $DTT_i\%$, metodologia proposta, subestação 3.....	77
Figura 34 – Gráfico $DTT_p\%$, metodologia proposta, subestação 3.....	77
Figura 35 – Gráfico $DTT_3\%$, metodologia proposta, subestação 3.....	77
Figura 36 – Histograma do desequilíbrio de tensão, subestação 3.....	79
Figura 37 – Gráfico flutuação de tensão Pst, subestação 3.....	80
Figura 38 – Gráfico flutuação de tensão Plt, subestação 3.....	80
Figura 39 – Comparativo de metodologias para o distúrbios harmônicos, subestação 1.....	84
Figura 40 – Comparativo de metodologias para o distúrbios harmônicos, subestação 2.....	84
Figura 41 – Comparativo de metodologias para o distúrbios harmônicos, subestação 3.....	84
Figura 42 – Comparativo de metodologias para o $FD\%$, subestação 1.....	86
Figura 43 – Comparativo de metodologias para o $FD\%$, subestação 2.....	86
Figura 44 – Comparativo de metodologias para o $FD\%$, subestação 3.....	86
Figura 45 – Comparativo de metodologias para o Pst, subestação 1.....	87
Figura 46 – Comparativo de metodologias para o Pst, subestação 2.....	87
Figura 47 – Comparativo de metodologias para o Pst, subestação 3.....	88
Figura 48 – Comparativo entre subestações distorções harmônicas.....	89
Figura 49 – Comparativo entre subestações desequilíbrio de tensão.....	89
Figura 50 – Comparativo entre subestações flutuação de tensão.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ordens harmônicas em termos de componentes simétricas	26
Quadro 2 – Estratificação por amplitude e duração, para contabilização da VTCD	49
Quadro 3 – Distorção harmônica individual, metodologia vigente, subestação 1	60
Quadro 4 – Indicadores distorção harmônica, metodologia proposta, subestação 1	62
Quadro 5 – Distorção harmônica individual, metodologia vigente, subestação 2	69
Quadro 6 – Indicadores distorção harmônica, metodologia proposta, subestação 2	71
Quadro 7 – Distorção harmônica individual, metodologia vigente, subestação 3	76
Quadro 8 – Indicadores distorção harmônica, metodologia proposta, subestação 3	78
Quadro 9 – Estratificação VTCD, metodologia proposta, subestação 3	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias de VTCD	31
Tabela 2 – Valores de referência globais das DTT%, metodologia vigente	38
Tabela 3 – Valores limites de distorção harmônica, metodologia proposta.....	41
Tabela 4 – Valores limites para desequilíbrio de tensão, metodologia proposta	43
Tabela 5 – Fatores de transferência	44
Tabela 6 – Valores de referência para flutuação de tensão, metodologia vigente.....	44
Tabela 7 – Comparação: limites globais propostos e valores de referência vigentes	46
Tabela 8 – Desequilíbrio de tensão, metodologia proposta, subestação 1	63
Tabela 9 – Percentil 95% diário Pst, subestação 1	64
Tabela 10 – Valores de referência PRODIST vigente para FT=1,0.....	65
Tabela 11 – Indicador PltS95%, metodologia vigente, subestação 1	65
Tabela 12 – Indicador Pst95%, metodologia proposta, subestação 1.....	65
Tabela 13 – Desequilíbrio de tensão, metodologia proposta, subestação 2	72
Tabela 14 – Percentil 95% diário Pst, subestação 2	73
Tabela 15 – Indicador Pst95%, metodologia proposta, subestação 2.....	73
Tabela 16 – Desequilíbrio de tensão, metodologia proposta, subestação 3	79
Tabela 17 – Percentil 95% diário Pst, subestação 3	80
Tabela 18 – Indicador PltS95%, metodologia vigente, subestação 3.....	81
Tabela 19 – Indicador Pst95%, metodologia proposta, subestação 3.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	Audiência Pública
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CP	Consulta Pública
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DHI	Distorção harmônica individual
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DTT	Distorção harmônica total
FAU	Fundação de Apoio Universitário
FD	Fator de Desequilíbrio
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FI	Fator de Impacto
FT	Fator de Transferência
IEC	Internacional Electrotechnical Commission
ONS	Operador Nacional do Sistema
Plt	Severidade de flutuação de tensão de longa duração
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
Pst	Severidade de flutuação de tensão de curta duração
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
TP	Transformador de potencial
VTCD	Variação de Tensão de Curta Duração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	16
2	HISTÓRICO REGULAÇÃO QUALIDADE DE ENERGIA NO BRASIL 17	
3	CONCEITOS BÁSICOS FENÔMENOS QUALIDADE DE ENERGIA	25
3.1	DISTORÇÕES HARMÔNICAS	25
3.2	VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO	30
3.3	DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO	32
3.4	FLUTUAÇÃO DE TENSÃO.....	34
4	MUDANÇA NA REGULAÇÃO DA QUALIDADE DO PRODUTO	37
4.1	DISTORÇÕES HARMÔNICAS	37
4.1.1	Metodologia Vigente	37
4.1.2	Metodologia Proposta	39
4.2	DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO	42
4.2.1	Metodologia Vigente	42
4.2.2	Metodologia Proposta	42
4.3	FLUTUAÇÃO DE TENSÃO	43
4.3.1	Metodologia Vigente	43
4.3.2	Metodologia Proposta	45
4.4	VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO	47
4.4.1	Metodologia Vigente	47
4.4.2	Metodologia Proposta	47
5	PERFIS DE CARGA E PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	51
5.1	PERFIS DE CARGA	51
5.1.1	Consumidor Residencial Urbano	51
5.1.2	Consumidor Industrial	52
5.1.3	Consumidor Residencial Rural	52
5.2	PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	53
6	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES E ANÁLISE COMPARATIVA	57
6.1	RESULTADO DAS MEDIÇÕES	57
6.1.1	Subestação 1 – Perfil Residencial Urbano	57
6.1.1.1	Tensão em Regime Permanente	58
6.1.1.2	Distorções Harmônicas	58

6.1.1.3	Desequilíbrio de Tensão	62
6.1.1.4	Flutuação de Tensão	63
6.1.1.5	Variação de Tensão de Curta Duração	65
6.1.2	Subestação 2 – Perfil Industrial	66
6.1.2.1	Tensão em Regime Permanente	66
6.1.2.2	Distorções Harmônicas	67
6.1.2.3	Desequilíbrio de Tensão	71
6.1.2.4	Flutuação de Tensão	72
6.1.2.5	Variação de Tensão de Curta Duração	73
6.1.3	Subestação 3 – Perfil Residencial Rural	74
6.1.3.1	Tensão em Regime Permanente	74
6.1.3.2	Distorções Harmônicas	75
6.1.3.3	Desequilíbrio de Tensão	78
6.1.3.4	Flutuação de Tensão	79
6.1.3.5	Variação de Tensão de Curta Duração	81
6.2	ANÁLISE COMPARATIVA	82
6.2.1	Análise Comparativa entre Versões	82
6.2.2	Análise Comparativa entre Perfis de Carga	88
7	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

Os estudos e desenvolvimentos de aplicações para eletricidade têm cerca de duzentos anos. A era da energia elétrica iniciou no ano de 1870, cujo período é marcado pelo invento do motor elétrico de Gramme (1873) e a lâmpada de filamento de Thomas Edison (1881), irrompendo as dificuldades da utilização de gorduras animais para iluminação e as necessidades de força motriz, após a primeira revolução industrial.

Em vista do período de existência da energia elétrica, o tema qualidade de energia é relativamente novo, uma vez que, segundo Bollen (2000), a primeira menção ao termo “*power quality*” ocorreu em um trabalho publicado em 1968, tratando de um estudo detalhado das especificações da potência requerida por um equipamento eletrônico, e ainda, em 1970, o termo alta qualidade de energia foi citado como um dos objetivos do sistema de potência industrial, junto da satisfação, confiabilidade e baixo custo de operação.

Existe ainda um crescente interesse em relação à qualidade de energia, especialmente relacionado aos fenômenos de deformação da forma de onda de tensão, dentre as razões está que, os equipamentos tornaram-se mais sensíveis a tais distúrbios, além de que a indústrias também seguiram esta tendência de redução da robustez, tornado-se suscetíveis a perdas na produção, impactando com isso em sua margem de lucro.

E ainda, os próprios equipamentos que sofrem com a deformação da tensão em sua alimentação, por muitas vezes apresentarem uma não linearidade intrínseca, tornam-se também fontes de problemas de qualidade de energia e a concentração destas cargas perturbadoras é crescente, em razão do desenvolvimento da eletrônica de potência, microeletrônica e da computação, por exemplo.

Outra contribuição, para o aumento do interesse na qualidade de energia, esta na tecnologia disponível para medição, tanto da forma de onda quanto dos fenômenos relacionados, tornando os insumos disponíveis para análises e estudos.

Houve ainda uma mudança de conceito, onde os consumidores deixaram de ser vistos como cargas e passaram a ser tratados como clientes, e que, aliado a criação da modalidade de cliente livre, o qual pode escolher de onde comprar energia, culminou em uma maior necessidade de padronização e do estabelecimento de critérios de desempenho.

Um sistema de energia elétrica ideal, sob o ponto de vista do consumidor, é aquele que atende a demanda, com qualidade, continuidade, níveis de confiabilidade adequados e custos relativamente baixos. Existe, portanto, um conflito com outra característica deste mercado, de ser um monopólio natural, uma vez que distancia do ideal especificado, devido a inata

acomodação pela posição dominante, desincentivando com isso o progresso tecnológico e a produção no menor custo possível.

Em razão deste conflito, para estimular a eficiência contínua, existe então a necessidade de um órgão regulador autônomo, cujo papel é desempenhado hoje pela ANEEL, no Brasil. Esta instituição é vinculada ao governo federal e é responsável por regulamentar, fiscalizar e estabelecer padrões mínimo de qualidade, para as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Por tanto, a ANEEL estabelece novos regulamentos, com desígnio de promover a aderência ao ideal do sistema de fornecimento de energia elétrica, apresentado anteriormente, focando no controle da qualidade de energia entregue aos consumidores finais, bem como a modicidade da tarifação.

As distribuidoras de energia elétrica, como constituintes deste setor, são, por isso, avaliadas nos mais diversos domínios da prestação de seu serviço, dentre eles, a qualidade do serviço oferecido aos consumidores e do produto entregue. O oitavo módulo do PRODIST, criado pela ANEEL, cujo assunto é a qualidade da energia elétrica, enfoca ambos os assuntos.

Na perspectiva da qualidade do serviço fornecido, existe um olhar atento sobre os indicadores de continuidade, tanto os que mensuram a duração das interrupções da energia elétrica, quanto à frequência delas. Estes indicadores individuais ou coletivos são acompanhados, pois fornecem uma boa análise quantitativa do fornecimento.

Ainda relativo ao serviço prestado, desde a primeira publicação do PRODIST, em 2008, houve um longo processo de discussão e aprimoramento e, atualmente, estão definidos conceitos como: critérios de formação de conjuntos consumidores, para cálculo dos indicadores, assim como seus valores limites e a sistemática de penalização para transgressões.

Quanto à qualidade do produto, objeto de estudo deste trabalho, é analisada a conformidade da tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda de tensão. Em relação à qualidade do serviço, a qualidade do produto não avançou na mesma proporção, deixando lacunas regulatórias. Todavia, desde a primeira versão do Módulo 8, existe uma seção denominada “Disposições Transitórias”, a qual sinaliza um planejamento de implementação de indicadores para qualidade do produto.

Dentre os fenômenos acompanhados estão: nível de tensão em regime permanente, variação de tensão de curta duração (VTCD), desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, distorção harmônica, variação de frequência e fator de potência. Tais fenômenos são

acompanhados com o intuito de mensurar a qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor.

Na versão vigente do Módulo 8, constam somente limites de referência, para algumas das perturbações, assim como os critérios básicos para análise e medição, funcionando como recomendação ao setor, dos padrões mínimos para a qualidade de energia. A razão de não impor limites e critérios de aferição esta baseada em dificuldades técnicas, falta de campanhas de medição e dados estatísticos para caracterização.

Em vista da importância do tema, a quantidade de pesquisas, normas, seminários, dentre outras, é notória em todo o mundo, nos últimos anos. Assim como previsto, a ANEEL assinou um contrato com a Fundação de Apoio Universitário (FAU), em 2013, para a prestação de uma consultoria técnica especializada, para auxiliar no aprimoramento da regulamentação dos distúrbios relativos à qualidade do produto.

Como continuidade as contribuições levantadas no ano de 2011, na ocasião da Consulta Pública nº 005/2011, no final de 2014 foi aberta uma nova Consulta Pública, nº 018/2014, a qual discorre sobre o trabalho realizado pela consultoria e coloca sob discussão a proposta de revisão do Módulo 8, quanto a qualidade do produto.

Ainda que não tenha entrado em vigor, até a data de publicação deste trabalho, a versão proposta para o Módulo 8 apresenta uma notória mudança em relação a abordagem do tema, estabelecendo a todos os fenômenos, contemplados na Seção 8.1 do PRODIST, indicadores e os respectivos limites, assim como metodologia de medição e modalidades de acompanhamento.

Trata-se, portanto, de uma mudança significativa, visto que este assunto praticamente não evoluiu desde a primeira publicação do PRODIST, no ano de 2008, e que, num futuro próximo, existe ainda uma tendência natural da ANEEL em estabelecer multas e indenizações financeiras, nos casos em que houver transgressão aos limites dos indicadores de qualidade do produto.

O objetivo do desenvolvimento, do presente trabalho, é analisar o impacto desta mudança regulatória, sob a ótica das distribuidoras de energia elétrica, com o intuito de contribuir para a compreensão destas medidas. Como ferramenta são apresentadas medições de qualidade de energia em subestações, as quais atendem três perfis de carga distintos, para as quais são apurados os indicadores relativos tanto a regulamentação vigente, quanto a proposta.

1.1 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

No presente capítulo são apresentados os objetivos do trabalho, bem como introduz o tema desenvolvido ao longo do trabalho.

No capítulo 2 é realizado um levantamento histórico sobre a regulamentação brasileira, no tocante a qualidade de energia elétrica. Abordando a tendência regulatória que culminou na atual consulta pública, para revisão do Módulo 8 do PRODIST.

No capítulo 3 são apresentados os conceitos teóricos dos fenômenos de qualidade de energia, para os quais a ANEEL deseja aprimorar a regulamentação da qualidade do produto, sendo eles: distorção harmônica, variação de tensão de curta duração, desequilíbrio de tensão e flutuação de tensão.

No capítulo 4 é estabelecido um comparativo teórico entre a versão vigente e proposta do Módulo 8 do PRODIST, para cada uma das perturbações de qualidade de energia, citadas anteriormente, de forma a salientar as diferenças.

No capítulo 5 são apresentados os detalhes relacionados às medições de qualidade de energia elétrica, como características gerais dos perfis de carga analisados (industrial, residencial urbano e rural) e procedimentos de medição, o qual aborda sobre as normas utilizadas, os requisitos para realização da medição, local determinado para instalação do analisador de qualidade de energia nas subestações e topologia de ligação dos transformadores de potencial.

No capítulo 6 são apresentados os resultados e as análises das medições nas três subestações. A partir da apuração dos indicadores, tanto sob a ótica da metodologia vigente quando da proposta, foram realizadas análises comparativas entre os resultados das versões, assim como entre os perfis de carga, ambas divididas por fenômeno de qualidade de energia.

E, por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões pertinentes ao trabalho desenvolvido, com base na comparação entre as solicitações das duas versões normativas.

2 HISTÓRICO REGULAÇÃO QUALIDADE DE ENERGIA NO BRASIL

O desenvolvimento econômico e social de um país esta intimamente relacionado a energia disponível, uma vez que é um insumo de grande impacto na produção de bens e serviços, nos diversos segmentos econômicos. De modo a reforçar, Goldemberg & Vilanueva (2003) acrescenta que, a ausência do fornecimento de eletricidade limita severamente o desenvolvimento social e econômico, negando os benefícios que somente a energia elétrica pode oferecer.

Diante da importância da energia elétrica e por representar um setor estratégico, mediante as mudanças na economia e na história brasileira e mundial, tornou-se relevante a necessidade de regulação do setor de energia elétrica. A seguir é apresentada a evolução histórica da regulação nacional de energia elétrica, focando na qualidade de energia elétrica.

No período da República Velha, anterior ao ano de 1930, a economia brasileira era predominantemente voltada para produtos primários e, na região urbana, o consumo de energia elétrica era, basicamente, para iluminação pública, de forma geral, a organização do setor elétrico permaneceria com pouca regulação pelo estado (SILVA, 2011).

A partir da década de 1930, no contexto do governo Getúlio Vargas e crise econômica mundial de 1929, no início, o Brasil se recupera economicamente com investimentos internos e começa o processo de industrialização nacional. Este período foi marcado por maior intervenção estatal no setor elétrico, em 1934 foi promulgado o Código de Águas, com o qual foi introduzindo o regime de concessões para o aproveitamento hídrico e um sistema tarifário.

Em 1939, segundo Silva (2011), em meio a uma falta de energia elétrica, foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), cuja principal tarefa era regulamentar o Código de Águas.

Desde o pós-guerra até a década de 70, o período também foi caracterizado pela forte presença do estado no setor elétrico, com a criação de empresas estatais. Antes do início da década de 70, não existia implementação de controle sobre a qualidade do fornecimento de energia elétrica, ficando a cargo das concessionárias projetarem melhorias na qualidade de seu serviço prestado a população.

O período, entre os anos de 1964 e 1985, é caracterizado por distintas fases na economia e na evolução do setor elétrica. Em 1969, o recém criado Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE) transformou-se em Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

(DNAEE) e absorveu o CNAEE, passando assim a promover os atos normativos, relacionados a prestação de serviços de eletricidade.

No início da década de 70, a economia estava recuperada e o Brasil vivia o conhecido “milagre econômico”, o setor elétrico, por sua vez, expandiu vigorosamente. Nesta época surgiu à necessidade de maior controle da qualidade do fornecimento, por essa razão foram instauradas as primeiras regulamentações técnicas e da qualidade do serviço, como visto adiante.

Em 17 de abril de 1978, por meio da Portaria 46/1978, editado pelo DNAEE, é publicada a primeira norma brasileira que determina as condições técnicas e qualidade na prestação do serviço. Por tanto, a qualidade de energia elétrica ganha definição legal em nível nacional. Neste documento são estabelecidos indicadores de continuidade de fornecimento, de energia elétrica, a serem seguidos pelas concessionárias. Por tanto, ficam definidos nesta Portaria os indicadores DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) a serem apurados nos conjuntos de unidades consumidoras. Para esses indicadores foram estabelecidos valores máximos anuais.

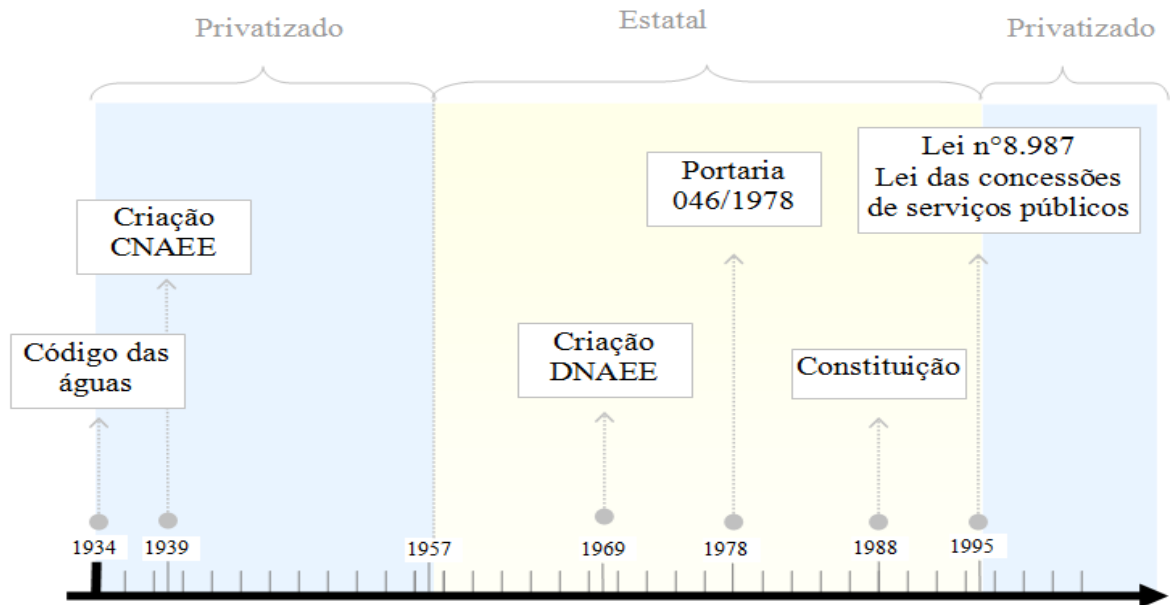
Nenhuma penalidade era prevista para ocorrência de transgressão aos indicadores padronizados. No caso de superar tais limites, a Portaria 46/1978 estabelecia somente que, as concessionárias deveriam tomar as providências cabíveis para normalizar o fornecimento de energia elétrica, dentro de um prazo de 180 dias.

Essa década ainda mostrou-se um ambiente favorável para o surgimento de monopólios regionais, que de forma conjunta conseguiam promover menores custos e uma boa qualidade dos serviços elétricos. Entretanto, no período de retorno a democracia, na década de 80, este cenário se desfez e o setor elétrico passou a ter suas tarifas manipuladas para controle da inflação, em vista do período de grande instabilidade econômica.

A utilização deste artifício, para obtenção de taxas razoáveis de inflação, desencadeou uma desorganização generalizada e endividamento externo do setor de energia elétrica, conseqüentemente, investimentos e expansão do sistema ficaram limitados, evidenciando a ineficiência desta composição.

Na Figura 1 é apresentada uma linha do tempo, resumindo alguns dos acontecimentos mais relevantes até o início da década de 90.

Figura 1 – Linha do tempo regulatória: 1934 até 1995



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Na década de 90, em meio ao neoliberalismo, o Brasil passou por um processo de privatização dos serviços públicos, dentre as estatais vendidas para a iniciativa pública, estão muitas das distribuidoras de energia. Além disto, foi promovida a desverticalização do setor, separando os principais elos da cadeia de fornecimento: geração, transmissão, distribuição e comercialização.

Em 1995 foi aprovada a Lei Geral das Concessões, Lei nº 8.987, com a qual é alterado modelo estrutural básico, tal como citado acima. Esta nova lei estabeleceu o regime de concessão e permissão da prestação de todos os serviços públicos nos níveis da federação (SILVA, 2011). No capítulo dois da Lei nº 8.987/1995, artigo 6, é definido que o serviço adequado é aquele que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas.

De modo a ajustar esta nova estruturação do setor, para que não fosse desviado do plano original, em dezembro de 1996, foi promulgada a Lei nº 9.427/96, a qual, dentre outros assuntos, estabeleceu a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Com a criação da ANEEL, o DNAEE é extinto e suas funções são absorvidas pela nova agência. Caberia portanto a ANEEL, regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Neste momento, a ANEEL estava incumbida de preencher as várias lacunas e tomar as ações de melhoria e controle da qualidade. Devido às massivas privatizações, foram utilizados os contratos de concessão para controlar os padrões mínimos de qualidade técnica e atendimento. Primeiramente esses contratos previam a manutenção da qualidade frente à regulação vigente, para, posteriormente, serem incorporados novos indicadores e planos de melhoria (BERNARDO, 2013).

Mesmo que as portarias DNAEE n° 046/78 e 047/78, até 1999, já estabelecessem padrões para a qualidade mínima de fornecimento, a maior parte das concessionárias de energia elétrica ainda não apresentavam monitoramentos. Ainda como lembrado por Araújo (2011), havia uma impossibilidade de estabelecer comparações de desempenhos entre as empresas, devido as várias formas de contrato, uma vez que utilizava-se valores médios dos históricos para estabelecer as metas de melhoria.

O processo de controle do órgão regulador deve ser entendido, segundo Araújo 2011, como “controle por resultados”, a filosofia é criar uma sistemática de apuração de indicadores, comparação deles e seguida de uma política de consequência, para estabelecer penalidades. Seguindo esta sequência, naturalmente a evolução das portarias 046 e 047 deveria seguir para determinação de oneração e adequação, em casos de não conformidade.

No ano de 2000, por meio da Resolução Normativa n° 024/2000, a ANEEL iniciou um novo processo de regulação. Foi introduzido o método da Análise de Agrupamentos, também conhecido como *Yardstick Competition*, para definição dos limites dos indicadores de continuidade. Este método utiliza, para tratamentos estatísticos dos conjuntos estabelecidos pelas concessionárias, o agrupamento deles por semelhança, possibilitando uma análise comparativa.

A definição de um conjunto de consumidores é realizada de acordo com homogeneidade das condições de atendimento, ou seja, de acordo com suas características físicas e técnicas semelhantes. Outra inovação promovida por essa nova resolução esta na introdução de penalização, pelo não cumprimento dos limites DEC e FEC. Ambas as novidades angariadas são consideradas como incentivos a melhoria contínua da qualidade do fornecimento de energia elétrica.

Desde então iniciou o ciclo de regulamentação e aprimoramento, relativo a continuidade do fornecimento de energia. Dentre as razões para a qualidade do serviço se desenvolver primeiro, como lembra Araújo (2011), esta a conscientização do consumidor sobre os seus direitos sociais, como a prestação adequada do serviço de eletricidade, sem sua interrupção.

Ao passo que, mesmo sendo natural o aumento da preocupação com a qualidade do produto ofertado, uma vez que se trata de uma dimensão importante entre tarifa e quantidade de energia oferecida, esta é uma tarefa complexa, pois engloba a atuação conjunta de diferentes agentes do setor elétrico (geradores, transmissores e distribuidores), necessitando de uma regulamentação adequada para delimitar as responsabilidades, além disto, esbarra no custo requerido para aferir o nível de qualidade desejado.

Em substituição a Portaria 46/47, em dezembro de 2001, a ANEEL promulgou a Resolução 505, a qual estabelece disposições atualizadas sobre conformidade de tensão em regime permanente. Esta nova resolução teve como base a anterior, Portaria 46/47, e em complemento foi lançada após à execução de uma monitoração do sistema.

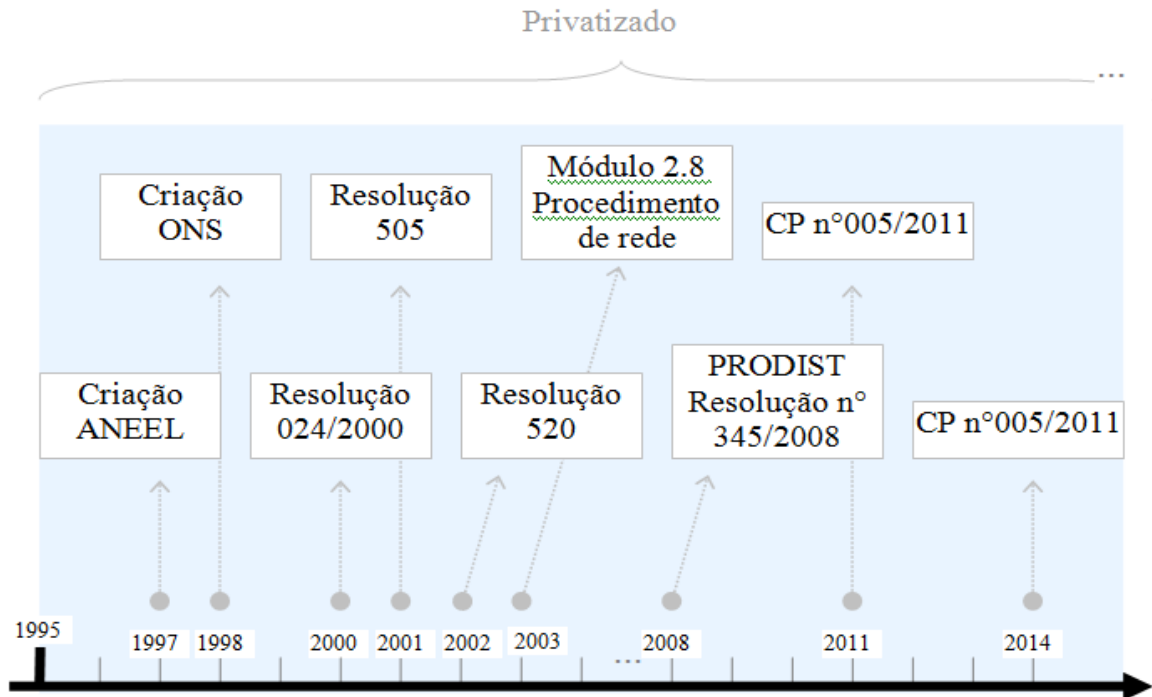
A Resolução 505 prevê um protocolo detalhado de medição da tensão, os indicadores para avaliação e penalidades em casos de não conformidade. Todavia, não esta prevista uma avaliação de conformidade nas subestações do sistema elétrico, pois os valores limites apresentados são relativos ao ponto de entrega do consumidor, conexão entre concessionárias e pontos de conexão com a rede básica.

Na Portaria 46/47 havia ainda outra incoerência, no caso dos pontos de conexão à rede básica, uma vez que os valores limites previstos pela ONS, constantes no Módulo 2 dos Procedimentos de Rede, são um pouco mais rigorosos em relação ao nível de tensão mínimo exigido no sistema de distribuição. Enquanto a ONS estabelece uma tensão acima de 95%, a Portaria 47 aceita 92,5%.

Como continuidade e aprimoramento do tratamento da continuidade, do fornecimento de energia, no ano de 2002, como resultado da Audiência Pública nº 013/2001, é estabelecida a Resolução ANEEL nº 520/2002. Tal resolução estabelece os procedimentos de registro e apuração dos indicadores relativos aos tempos relacionados ao atendimento de emergência, a serem observados pelas concessionárias dos serviço público de distribuição.

A Figura 2 apresenta a continuidade da linha do tempo, com alguns dos principais marcos regulatórios, a partir de 1995.

Figura 2 – Linha do tempo regulatória: a partir de 1995



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Até o momento, a regulamentação referente a qualidade do serviço prestado desenvolveu-se consideravelmente, em relação a qualidade do produto ofertado, uma vez que a primeira apresenta seus indicadores de continuidade bem consolidados e com amplo histórico de apuração, limites e compensações bem definidas. Enquanto que, a qualidade do produto, desde a publicação da Portaria DNAEE nº 47, em 1978, até 2008, a regulamentação restringe-se aos níveis de tensão permanente, não havendo por tanto disposições relativas aos outros fenômenos que causam perturbação na forma de onda de tensão.

No ano de 2008, é estabelecido, pela ANEEL, por meio da Resolução nº 345/2008, um conjunto de diretrizes denominado Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica, cuja sigla será PRODIST. Tal procedimento trouxe inovações na regulamentação brasileira, relativa às perturbações na tensão dos sistemas elétricos de distribuição, estabelecendo valores de referência, assim como os critérios de medição e análise destes indicadores, propondo com isso padrões mínimos recomendados para a qualidade do produto oferecido pela concessionária.

De acordo com os objetivos descritos no PRODIST, o Módulo 8 visa estabelecer os procedimentos relativos a qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras, tal como a qualidade do produto comercializado. Dentre os fenômenos observados na qualidade do produto temos: tensão em regime permanente, distorções harmônicas, flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração, fator de potência e frequência.

Apesar de inaugurar a normalização para os referidos fenômenos, os indicadores carecem de melhor definição, e, ainda, os critérios de medição para apuração não estão bem definidos. Os valores de referência para os indicadores são somente indicativos, não havendo procedimento a ser seguido em caso transgressão dos mesmos.

Ainda que a Seção 8.3, Disposições Transitórias, exista desde a primeira versão do PRODIST, cujo objetivo é apresentar o indicativo para o processo de implantação dos indicadores de qualidade do produto, dentre todas das revisões que o documento passou, pouco evoluiu em relação aos fenômenos, excetuando a tensão em regime permanente.

Desde a sua publicação no ano de 2008, o PRODIST passou por diversas alterações e revisões, cujo histórico é resumido a seguir:

- Revisão 0: Primeira versão, publicada em 31/12/2008, por meio da Resolução Normativa (REN) n° 345, após a realização da Audiência Pública (AP) 014/2008, com vigência até 31/12/2009;
- Revisão 1: em 01/01/2010, foi publicada a primeira revisão do documento, através da REN n° 395/2009, após a realização da AP 033/2009, cuja vigência estendeu-se até 31/12/2010.
- Revisão 2: em 01/01/2011, a segunda revisão entre em vigor, por meio da REN n° 424/2010, após a AP 046/2010, com vigência até 05/09/2011;
- Revisão 3: em 06/09/2011, inicia a vigência da terceira revisão do PRODIST, através da REN n° 444/2011, após a AP 046/2010, vigorando até a data 31/01/2012;
- Revisão 4: em 01/02/2012, é publicada a quarta revisão do documento, através da REN n° 469/2011, após a AP 064/2010, cuja vigência perdurou até 31/12/2014;
- Revisão 5: foi alterada antes da entrada em vigência, resulta da REN n° 602/2014, após a realização da AP 093/2013;
- Revisão 6: em 01/01/2015 é publicada a sexta revisão do PRODIST, por meio da REN n° 641/2014, após a realização da AP 029/2014. Esta revisão vigora até

a data de conclusão deste trabalho, sendo por tanto, uma das referências para o desenvolvimento do presente trabalho.

No ano de 2011, foi aberta a consulta pública nº 005/2011, com objetivo de reunir subsídios para uma revisão da regulamentação sobre a qualidade do produto e a conclusão foi que, devido a complexidade do assunto, havia necessidade de maior aprofundamento. Como sequência, em 2013 a ANEEL assinou um contrato com a FAU, para que esta prestasse consultoria técnica especializada com foco na regulamentação.

No final do ano de 2014, em posse da posição da consultoria, a ANEEL deu continuidade a discussão de 2011, por meio da consulta pública nº 018/2014, trazendo a nova revisão do PRODIST, cujas mudanças propostas englobam indicadores para acompanhamento de todos os fenômenos relativos a qualidade do produto.

Por fim, para os fenômenos associados a deformação da onda de tensão, como harmônicas, desequilíbrio, flutuação e VTCD, desde sua inauguração na norma brasileira, feita pelo PRODIST, no ano de 2008, é a primeira vez que são propostas mudanças significativas na regulamentação, com isso mostra-se de um momento importante, para a tratativa da qualidade do produto entregue ao consumidor.

3 CONCEITOS BÁSICOS FENÔMENOS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos, no tocante a qualidade do produto, para os fenômenos de distorção harmônica, desequilíbrio, flutuação e variação de tensão de curta duração.

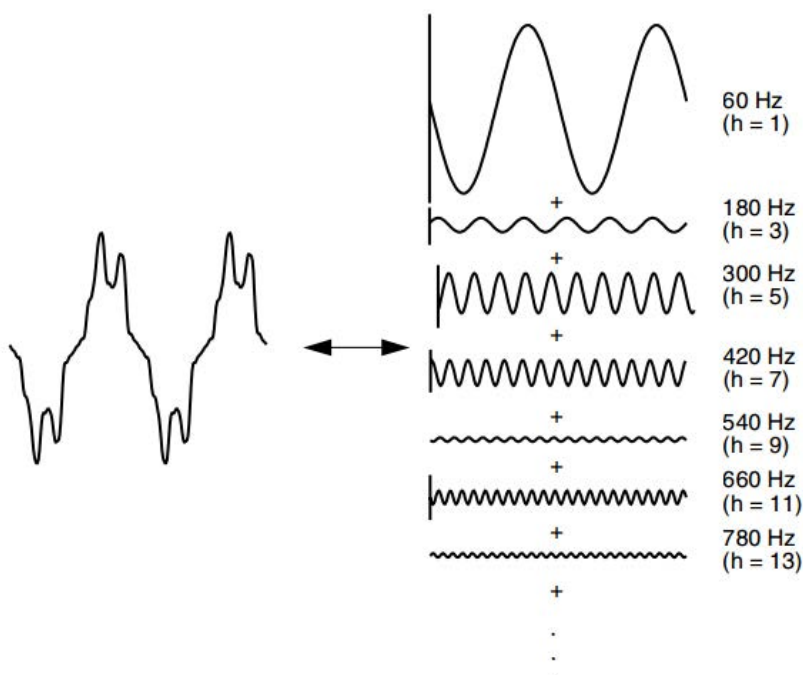
3.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A presença de harmônicas em um sistema ocasiona uma deformação na forma de onda de tensão ou de corrente.

O teorema de Fourier, cujo conceito é muito aplicado no campo das distorções harmônicas, indica que toda função periódica, não senoidal, pode ser decomposta em uma soma de senos e cossenos. Tal série apresenta um termo senoidal na frequência fundamental, expressões senoidais com frequências múltiplas da fundamental, denominadas harmônicas, e componentes contínuas.

De forma a ilustrar o funcionamento do teorema de Fourier, a Figura 3 representa a decomposição de uma onda distorcida global, a esquerda na figura, em suas componentes harmônicas de ordem 1 (fundamental), 3, 5, 7, 9, 11 e 13, a direita.

Figura 3 – Decomposição forma de onda global em componentes harmônicas



Outra forma de caracterizar as harmônicas é pela aplicação da teoria das componentes simétricas, pois, segundo o teorema formulado por Fortescue em 1918, qualquer sistema polifásico desequilibrado pode ser expresso como a soma de três sistemas de fasores equilibrados, denominados como componentes simétricas (componentes de sequência).

As ordens harmônicas, advindas da decomposição de uma forma de onda não senoidal (distorcida), em termos de componentes simétricas são apresentadas no Quadro 1. De acordo com Leão, Sampaio e Antunes (2014), o significado físico para as componentes harmônicas é que, correntes de sequência positiva produzem um campo direto, enquanto que, de sequência negativa, produzem um campo com rotação contrária; e correntes de sequência zero produzem um campo que oscila, mas não gira.

Quadro 1 – Ordens harmônicas em termos de componentes simétricas.

Ordem		Componentes Simétricas
Fundamental	→	Sequência (+)
2º Harmônico	→	Sequência (-)
3º Harmônico	→	Sequência (0)
4º Harmônico	→	Sequência (+)
5º Harmônico	→	Sequência (-)
6º Harmônico	→	Sequência (0)
7º Harmônico	→	Sequência (+)
8º Harmônico	→	Sequência (-)
9º Harmônico	→	Sequência (0)
...		
Lei de formação:		
$3k + 1$	↔	Sequência (+)
$3k - 1$	↔	Sequência (-)
$3k$	↔	Sequência (0)

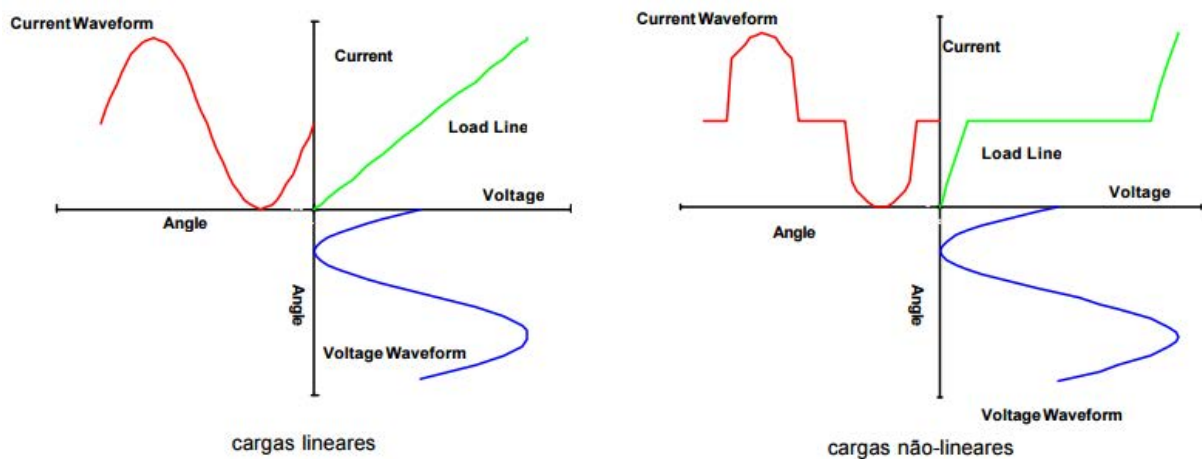
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

A origem das distorções harmônicas está relacionada a cargas não-lineares. Uma carga linear ocorre quando a impedância é constante, sendo, portanto, sua corrente proporcional a tensão, enquanto que, para cargas não lineares, as características são exatamente opostas, ou seja, sua impedância não constante torna a relação de tensão e corrente desproporcional, consequentemente, as formas de onda são distintas. A Figura 4 apresenta um comparativo da forma como se relacionam as grandezas elétricas, de acordo com o tipo de carga do sistema.

Na Figura 4, o primeiro quadrante, de cada gráfico, apresenta o comportamento da respectiva impedância. A carga linear tem sua impedância graficamente representada por uma reta, enquanto que, para a carga não linear, a impedância possui uma forma gráfica distinta, no caso apresentado, por exemplo, em um determinado intervalo de tensão, a corrente se mantém constante.

Observa-se ainda que, apesar da forma de onda da tensão ser a mesma em ambos os gráficos, da Figura 4, a forma de onda de corrente, mostrada no respectivo segundo quadrante, são diferentes. A Primeira Lei de Ohm explica tal diferença, pois ela determina que a tensão é igual ao produto entre a impedância e a corrente, ou seja, a impedância é o fator de proporcionalidade entre as duas outras grandezas, por tanto, quando a impedância é linear as formas de onda de tensão e corrente são iguais, apenas com amplitude diferente, de acordo com a magnitude da impedância.

Figura 4 – Formas de onda de corrente e tensão para cargas lineares e não lineares

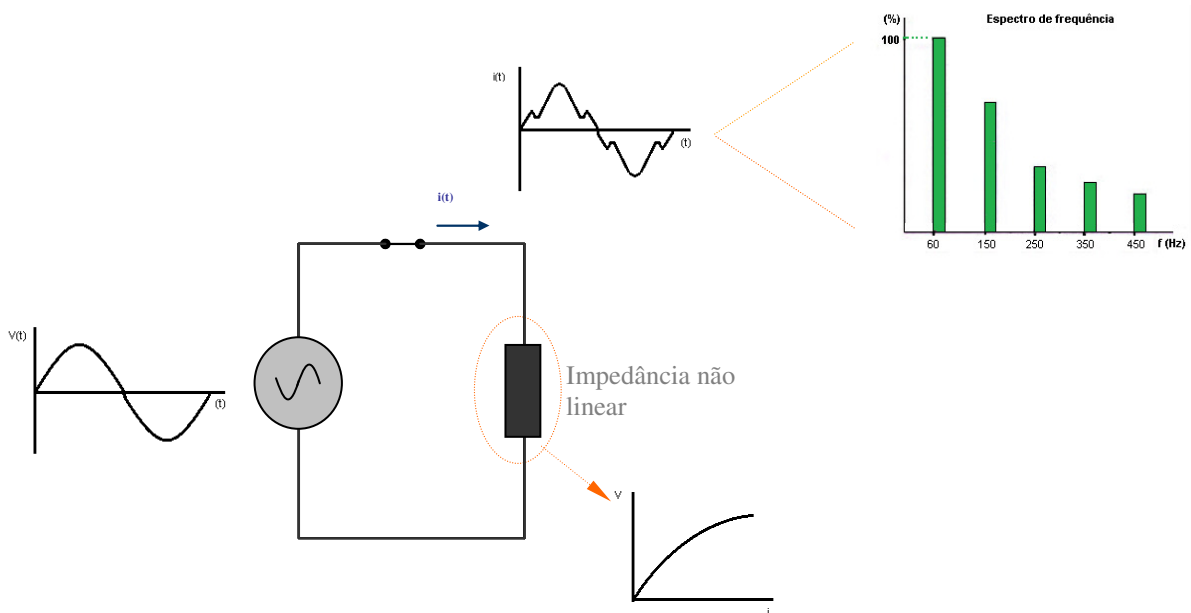


Fonte: (SCHNEIDER; PROCOBRE, 2003)

Para melhor ilustrar, a Figura 5 apresenta um circuito com carga não linear, alimentado por uma fonte de tensão senoidal. Como pode ser observado, a forma de onda da corrente, deste sistema, apresenta uma deformação, em relação a forma senoidal da tensão, em razão da não linearidade da impedância da carga.

A Figura 5 ainda destaca o espectro de frequência da onda de corrente, o qual indica a presença de distorção harmônica no circuito, devido a existência de correntes em outras frequências, diferentes da frequência industrial (60 Hz), denominada de componente fundamental. Para uma carga linear, o espectro de frequência da corrente apresentaria somente a frequência fundamental, ou seja, não existe distorção harmônica.

Figura 5 – Circuito não linear



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Algumas cargas geradoras de harmônicas, no ambiente industrial são: motores e transformadores, cujos núcleos ferromagnéticos estão sujeitos a saturação, conversores eletrônicos, pontes retificadoras e compensadores estáticos, além daquelas que apresentam ainda variação no tempo, gerando interharmônicas, como fornos a arco e compensadores reativos controlados por tiristores (DECKMANN; POMILIO, 2010).

No âmbito residencial e comercial também existem equipamentos perturbadores, tais como: televisores e equipamentos de áudio, computadores, estabilizadores de tensão, *no-break*, máquinas de cópias, iluminação fluorescente e reatores eletrônicos, *dimmers*, fornos microondas, chuveiros com controle de temperatura, dentre outros.

A presença de harmônicas nos sistemas gera diversos efeitos indesejáveis em equipamentos que constituem a rede de distribuição de energia. Nos transformadores o principal impacto está associado a elevação da temperatura, em decorrência do aumento das perdas elétricas, reduzindo assim a expectativa de vida útil do equipamento. Os bancos de capacitores também sofrem com aumento da temperatura, além de sobrecarga e sobretensões. Nos cabos e isoladores, os impactos da presença de harmônicas, recaem sobre a vida útil.

Em máquinas girantes, em especial motores de indução (MIT), um grande número de pesquisas são dedicadas a avaliar os efeitos das distorções harmônicas nestes equipamentos, dado que sua presença é numerosa nas instalações conectadas ao sistema de distribuição de

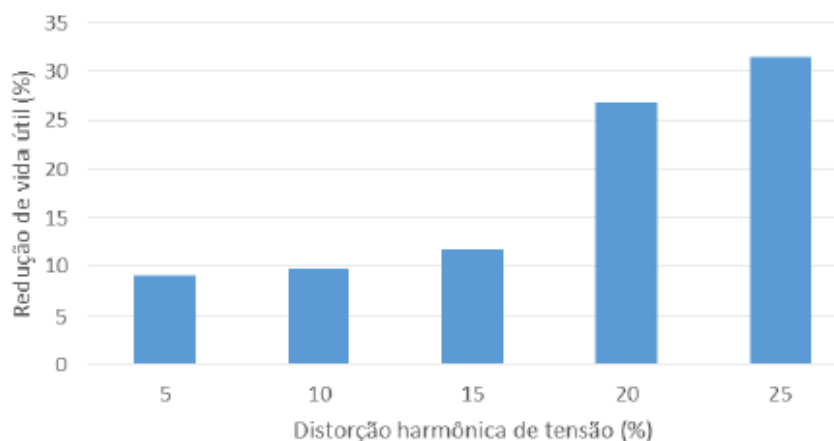
energia elétrica, pois trata-se de uma máquina com alto rendimento intrínseco e custo acessível, tornando-a atrativa comercialmente.

Segundo estatística apontado por EXCEN (2015), existem mais de dois milhões de motores instalados, cujo consumo anual é algo em torno de 100 milhões de mega watt hora (MWh), nesses termos, um aumento de 0,5% no rendimento do sistema motriz, é equivalente a construção de uma geradora virtual de 114 MW, o que também representa uma economia de aproximadamente 200 milhões de dólares todos os anos.

Mediante os dados expostos acima, uma condição do sistema de alimentação que acarrete diminuição do rendimento desse equipamento, ocasionaria, por tanto, o efeito contrário, ou seja, aumento do consumo de energia e um conseqüente desperdício de dinheiro.

A presença de distorções harmônicas causa uma diminuição do rendimento do motor, além disso, ainda geram outros efeitos indesejáveis, tais como, perdas de torque útil, torques pulsantes (vibrações), sobreaquecimentos, ruídos e aumento das perdas por histerese e correntes parasitas, afetando a longevidade do equipamento, como pode ser constatado na Figura 6.

Figura 6 – Redução da vida útil MIT pela exposição a distorções harmônicas



Fonte: (ABRADE, 2014)

Como último exemplo, em projetos de instalações elétricas, deve-se atentar para sobrecorrentes no neutro do circuito e interferências eletromagnéticas. Os sistemas de proteção também podem apresentar atuação inadequada e intempestiva, comprometendo com isso a segurança e integridade dos equipamentos e pessoas associados.

As soluções para atenuar as harmônicas se dividem em três grupos, adaptações da instalação, como reagrupar cargas poluentes e separação de fontes, utilização de equipamentos especiais ou instalar indutores, ambas soluções estão dentro de medidas de base, mas se, ainda assim, os valores limites forem superados, pode-se aplicar uma filtragem, ativa ou passiva (SCHNEIDER; PROCOBRE, 2003).

Em outras palavras, pode-se trabalhar com uma solução relacionada a carga, por meio de adaptação da instalação, como dito anteriormente, assim como adquirindo equipamentos com imunidade maior que os problemas de qualidade de energia, presentes em sua alimentação, ou então, parte-se para a solução que envolve a mitigação dos problemas da própria fonte de alimentação do sistema.

3.2 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Em termos gerais, a definição de VTCD (Variação de Tensão de Curta Duração) seria de um evento aleatório de tensão, caracterizado por uma magnitude e duração específicas. A magnitude (V_{mag}), segundo a norma brasileira, é definida como o nível extremo do valor eficaz de tensão (V_{rms}) em relação a tensão nominal (V_n), no ponto de observação, enquanto a duração (Δt) é o intervalo de tempo decorrido a partir do instante em que o valor eficaz de tensão ultrapassa dado limite (t_i) até quando volta a cruzar-lo (t_f).

A equação (1) representa um cálculo da magnitude do evento e a equação (2) a duração. O valor eficaz de tensão é obtido pela média quadrática dos valores instantâneos, em um período maior que meio ciclo.

$$V_{mag} (\%) = \frac{V_{rms}}{V_n} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\Delta t = t_f - t_i \quad (2)$$

Todavia, não é para todo intervalo de tempo que caracteriza-se uma VTCD, pois apenas é representada pelos eventos de curta duração, de meio ciclo a um minuto.

Segundo a IEC (*Internacional Electrotechnical Commission*), o conceito de VTCD engloba *sags* (decréscimo do nível de tensão), *swells* (elevação do nível de tensão) e interrupções de curta duração. Cada tipo de variação pode ser designado por instantâneo, momentâneo ou temporário, dependendo da duração (DUGAN, 2003).

Existe uma dificuldade de classificação de transitórios com duração menor que um ciclo, pois são de difícil identificação, assim como de classificação entre afundamento ou elevação de tensão. As experiências evidenciam que variações menores que meio ciclo não produzem alterações perceptíveis em cargas.

São estabelecidas algumas categorias para identificação e classificação do VTCD, as quais são apresentadas na Tabela 1. Separa-se em dois grupos, variações momentâneas e temporárias de tensão, os quais são subdivididos em grupos menores, de acordo com uma faixa específica de magnitude e tempo de duração do evento, somam-se com isso, seis categorias para enquadramento do fenômeno.

Dentre as causas que ocasionam afundamentos de tensão, de curta duração, estão os chaveamento de grandes cargas, partida de motores, curto-circuito em qualquer ponto do fornecimento de energia elétrica e falhas em equipamentos (DUGAN, 2003).

Tabela 1 – Categorias de VTCD

Classificação	Denominação	Sigla	Magnitude (pu)	Duração (s)
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	IMT	$< 0,1$	< 3
	Afundamento Momentâneo de Tensão	AMT	$0,1 \leq V_{mag} < 0,9$	$1 \text{ ciclo} \leq \Delta t \leq 3$
	Elevação Momentânea de Tensão	EMT	$> 1,1$	$1 \text{ ciclo} \leq \Delta t \leq 3$
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	ITT	$< 0,1$	$3 \leq \Delta t \leq 60$
	Afundamento Temporários de Tensão	ATT	$0,1 \leq V_{mag} < 0,9$	$3 \leq \Delta t \leq 60$
	Elevação Temporária de Tensão	ETT	$> 1,1$	$3 \leq \Delta t \leq 60$

Na literatura existem diversos estudos relacionados à sensibilidade de equipamentos, no setor industrial. A incidência, de surtos de tensão de curta duração, pode ocasionar alguns efeitos como, a título de exemplo: perda da programação de microprocessadores em CLP (Controlador Lógico Programável), redução do conjugado de motores, atuação intempestiva da proteção, desligamento de lâmpadas, desatracamento de contadores e mudança de posição de eletroválvulas. Estes e outros efeitos se traduzem em interrupções e perdas de processos produtivos.

3.3 DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

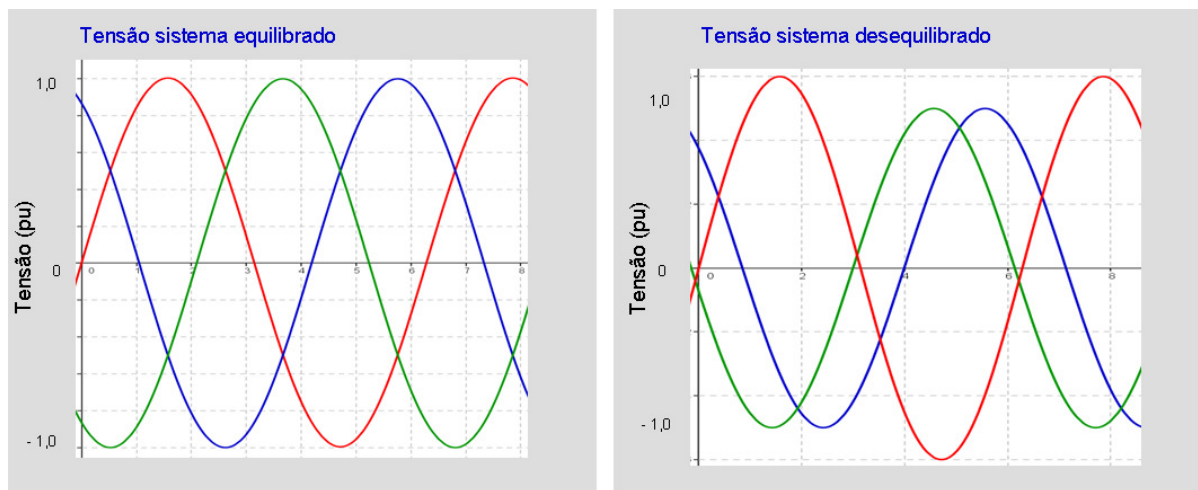
Em um sistema trifásico equilibrado, a potência se distribui de forma uniforme entre as fases e, esta condição exige que todas as fases apresentem amplitude e defasagem angular iguais.

Em termos de componentes simétricas, um sistema equilibrado deve apresentar somente componente de sequência positiva ou negativa.

Portanto, o desequilíbrio de tensão é caracterizado por uma diferença qualquer entre as fases, seja no módulo ou ângulo, e esta diferença implica no surgimento de pelo menos duas das componentes sequenciais.

Para ilustrar a definição de desequilíbrio de tensão, a Figura 7 apresenta um exemplo de sistema trifásico desequilibrado, tanto em relação a amplitude das fases, quanto ao deslocamento angular, estabelecendo um comparativo com a forma de onda de sistema equilibrado.

Figura 7 – Tensão sistemas trifásicos: equilibrado e desequilibrado



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Mediante esta definição, o fator de desequilíbrio (FD) pode ser calculado pela razão entre os componentes de sequência zero, ou negativa, e a positiva, como mostra a equação (3).

$$FD = \frac{\text{Sequência Negativa}}{\text{Sequência Positiva}} \quad (3)$$

A principal causa, do surgimento de desequilíbrio de tensão na rede, esta na distribuição inadequada da carga entre as fases, além disto, existe uma variação constante da carga no

sistema, devido a inserção e retirada aleatória desta. A popularidade de cargas monofásicas e bifásicas no sistema de distribuição, como as residências, contribui para gerar desequilíbrio de tensão, uma vez que resultam em correntes e tensões diferentes (TEODORO, 2005).

Além disso, em circuitos internos, uma distribuição de carga mal realizada, também impõe correntes desequilibradas no circuito da distribuidora, podendo desta forma provocar desequilíbrio de tensão. Outras origens possíveis são: transformadores conectados em delta aberto, abertura de fusíveis em bancos de capacitores, linhas de transmissão transpostas de forma inadequada, transformadores com enrolamentos não simétricos, dentre outros.

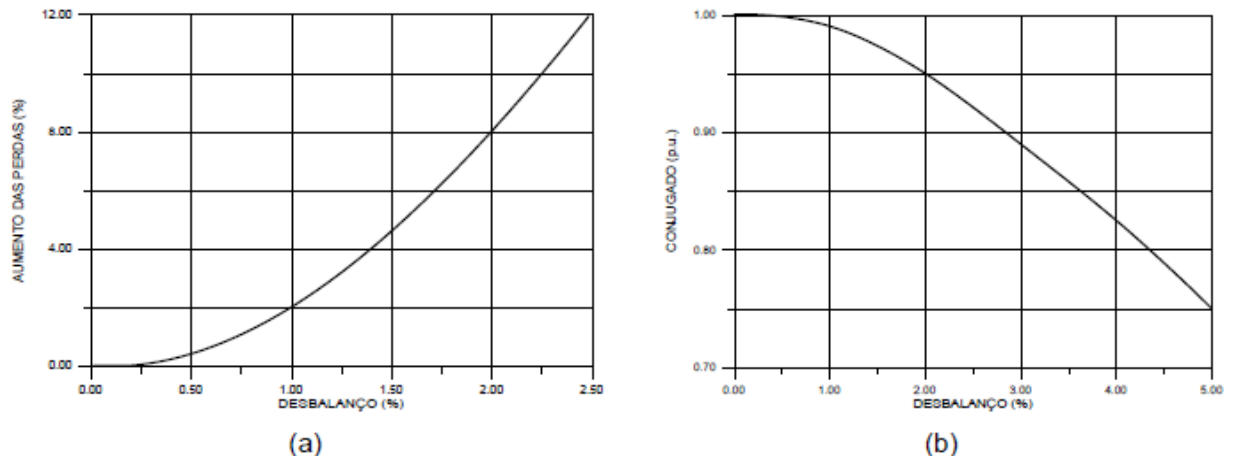
As consequências de um sistema desequilibrado incluem danos ao funcionamento de alguns equipamentos elétricos, comprometendo seu desempenho e vida útil. Ainda sobre os efeitos negativos, Teodoro (2005) inclui que, este fenômeno pode ocasionar o aumento das perdas elétricas, assim como degradação da potência útil disponível nos processos eletromecânicos e diminuição do desempenho, falhas em equipamentos, aumentando o custo operacional e prejuízos financeiros.

Em relação às máquinas rotativas, em especial os motores de indução, houve merecida atenção nas pesquisas acadêmicas, com temática pertinente a avaliação dos efeitos causados pelos desequilíbrios de tensão. A importância da influência do fenômeno neste equipamento é dada, conforme apreciado anteriormente, em razão da larga utilização de MIT's nas instalações.

Assim como a presença de harmônicos, os desequilíbrios de tensão, mesmo que pequenos, ocasionam grandes desequilíbrios de corrente, dependendo do carregamento do motor. Tal desequilíbrio de corrente propicia o surgimento de correntes com sequência negativa, as quais resultam em um torque negativo de frenagem no motor, impossibilitando assim que a máquina atinja seu torque nominal. Naturalmente, esta resistência a rotação provoca aumento das perdas.

A Figura 8 apresenta a relação do desequilíbrio da tensão com as perdas, no primeiro item e, no segundo item, com o conjugado do motor.

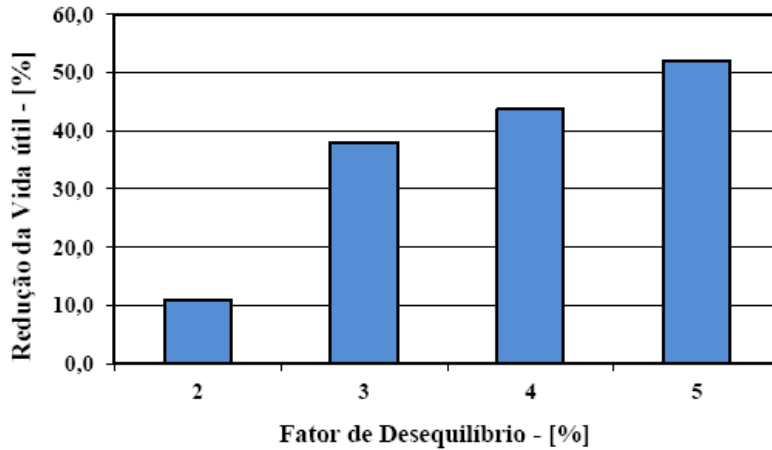
Figura 8 – Efeito desequilíbrio de tensão sobre as perdas (a) e conjugado (b) MIT



Fonte: (EXCEN, 2015)

Além das perdas adicionais no sistema motriz, o desequilíbrio de tensão está relacionado ao aquecimento dos enrolamentos do motor, acelerando a ação térmica sobre seus componentes, assim como pode provocar danos mecânicos em razão da componente de torque introduzida. Ambas as situações impactam, negativamente, na vida útil deste equipamento, como pode ser observado no gráfico da Figura 9.

Figura 9 – Redução da vida útil MIT x fator de desequilíbrio

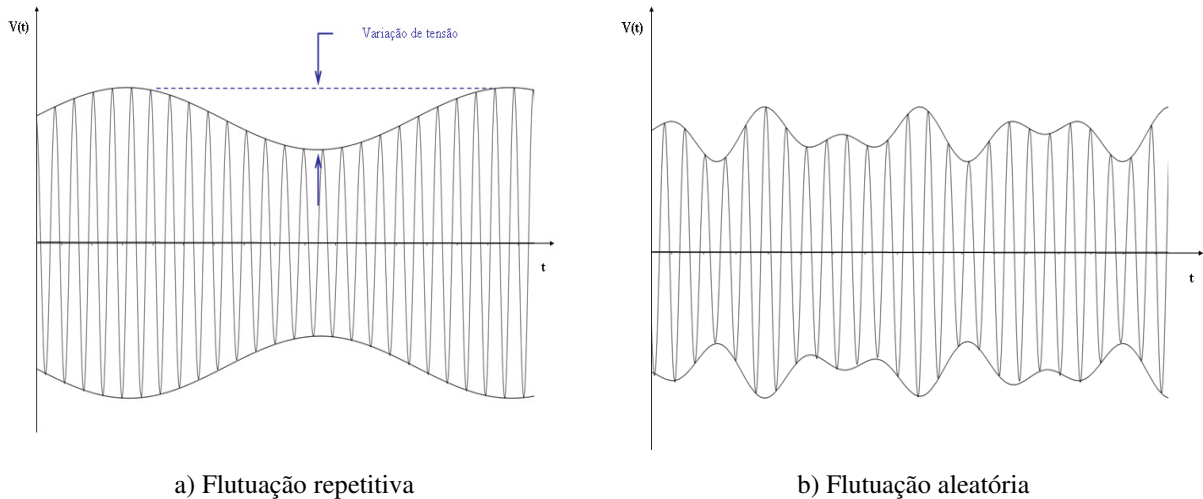


Fonte: (ABRADE, 2014)

3.4 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

No PRODIST o fenômeno é definido como uma variação sistemática ou aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão. A Figura 10 contém duas formas de onda que representam os diferentes tipos de flutuação de tensão.

Figura 10 – Flutuação de tensão: repetitiva e aleatória



a) Flutuação repetitiva

b) Flutuação aleatória

Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Uma denominação bastante associada a flutuação de tensão é *flicker*, ou, em português, cintilação. O termo *flicker* é derivado do impacto que a flutuação de tensão, presente na fonte de alimentação das lâmpadas, provoca nos olhos humanos. Tecnicamente, a flutuação de tensão é um fenômeno eletromagnético, enquanto o *flicker* é um resultado indesejável deste fenômeno em algumas cargas, ou seja, a sensação de instabilidade visual, induzida por um estímulo luminoso, cuja luminância ou distribuição espectral flutuam com o tempo (DUGAN, 2003)

Apesar de, num primeiro momento, se tratar de um desconforto visual, já se demonstrou que este efeito pode prejudicar a capacidade produtiva física ou intelectual do observador, uma vez que causa cansaço visual, perda de concentração, dificulta a leitura, dentre outros (DECKMANN; POMILIO, 2010).

O *Flickermeter*, proposto na norma IEC 61000-4-15, se baseia fundamentalmente na representação da resposta do cérebro as variações do fluxo luminoso, associada às flutuações de tensão no valor eficaz da alimentação. Ainda em relação aos efeitos, este fenômeno está associado à vibração em motores de indução, pois se verifica que as grandezas mecânicas oscilam na frequência da flutuação de tensão.

A flutuação de tensão é originada por variações bruscas de cargas elétricas. Tais cargas vão desde daquelas de uso doméstico, como chuveiros e fornos elétricos com controles

automáticos, até as utilizadas em processos industriais como fornos a arco, aparelhos de solda, motores ou bombas, prensas e estamparias, chaveamento de banco de capacitores, elevadores, dentre outros.

Na Consulta Pública nº 005/2011 foi questionada a necessidade da regulamentação do indicador para flutuação de tensão e, na época, a maioria das respostas convergiram para a necessidade do acompanhamento desse evento. Dentre as justificativas estão: existência de cargas poluidoras conectadas ao sistema de distribuição, ocorrências de oscilação na potência e torque em máquinas elétricas, queda de rendimento e interferência em sistemas de proteção.

Segundo Deckmann; Pomilio (2010), para atenuar a flutuação de tensão, exige-se um controlador dinâmico do nível de tensão, quando na presença das cargas perturbadoras, por tanto, utiliza-se normalmente compensadores reativos com capacidade de resposta em até meio ciclo de 60Hz.

4 MUDANÇAS NA REGULAÇÃO DA QUALIDADE DO PRODUTO

Na ocasião de sua aprovação, em 2008, o PRODIST trouxe inovações referentes aos fenômenos de qualidade de energia, introduzindo as distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variações de tensão de curta duração, no âmbito da qualidade do produto oferecido.

Entretanto, tais fenômenos, mesmo que inaugurados na regulamentação brasileira, contemplam somente as informações iniciais básicas, portanto, desde a primeira versão, existe a Seção 8.3 - Disposições Transitórias, a qual possui um caráter indicativo do processo de implementação dos indicadores de qualidade do produto e aprimoramento da tratativa destes eventos.

Ocorre que, na época da aprovação da norma, os conhecimentos relativos às medições destes fenômenos eram ainda escassos, por essa razão, decidiu-se por não estabelecer os limites antes de realizar campanhas de medição, pois a partir disto é possível diagnosticar de forma concreta os fenômenos, aprofundar os conhecimentos relacionados e estabelecer o correto procedimento de análise.

A Seção 8.3 trata de um planejamento e as etapas estabelecidas nele, para implementação dos indicadores, são as seguintes: programa de medição para levantamento de dados; validação do procedimento e definição de referências; estabelecimento de metas, prazos e ações em busca dos padrões dos indicadores de qualidade; implementação de programas para fiscalização e controle dos indicadores; consolidação do processo.

Sabendo que as mudanças, apresentadas na metodologia proposta na consulta pública nº 018/2014, estão, de forma geral, engajadas com o planejamento, reproduzido na Seção 8.3, logo esta revisão representa uma significativa evolução na tratativa da qualidade do produto. Em vista disto, a seguir é realizada uma comparação detalhada entre a versão vigente do Módulo 8 e a proposta, para os fenômenos que mais sofreram alterações, ou seja, distorção harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuação e variação de tensão de curta duração.

4.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

4.1.1 Metodologia Vigente

A versão vigente do PRODIST estabelece valores de referência para os seguintes indicadores: distorção harmônica individual de ordem h ($DIT_h\%$) e distorção harmônica total de tensão ($DTT\%$). Calculados pelas equações (4) e (5), respectivamente.

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

$$DTT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\text{máx}}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (5)$$

Sendo V_h a tensão harmônica de ordem h e V_1 a tensão fundamental medida.

O valores de referência para as distorções harmônicas totais ($DTT\%$) são indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de referência globais das $DTT\%$, metodologia vigente

Tensão Nominal do Barramento	$DTT\%$
$V_n \leq 1 \text{ Kv}$	10
$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	9
$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	8
$69 \text{ Kv} < V_n \leq 230 \text{ kV}$	3

Existem ainda valores de referência para as distorções harmônicas individuais, em porcentagem da tensão fundamental, de acordo com o nível de tensão e ordem harmônica: ímpares ou pares, não múltiplas de três, e múltiplas de três.

A versão vigente apresenta pouco detalhamento em relação à metodologia de medição, destas distorções harmônicas, tais detalhes se resumem em: determina-se que os sinais a serem monitorados utilizem sistemas de medição, cujas informações coletadas possam ser processadas por meio de recurso computacional, assim como exige uma capacidade de armazenamento que atenda aos requisitos do banco de dados, do protocolo de medição a ser definido pela ANEEL e, por fim, que as medições em sistemas trifásicos sejam realizadas por tensões entre fase e neutro, para sistemas em estrela aterrada, e fase-fase, para as demais configurações.

Com relação a instrumentação, o Módulo 8 em vigência, determina que os instrumentos utilizados nas medições, atendam aos protocolos e normas técnicas atuais, porém não cita tais documentos. Determina o espectro harmônico a ser considerado, da componente fundamental, até no mínimo a ordem harmônica número 25, este mínimo se mostra singelo frente a ordem 50, estabelecida no Procedimento de Rede.

Ainda sob o aspecto da instrumentação, existe uma disposição sobre os transformadores de potencial (TP), utilizados para compatibilizar o nível de tensão da rede e dos medidores, que determina que os TP's devem ter, em um sistema trifásico, as mesmas especificações e impedâncias semelhantes e devem ser conectados em estrela-estrela aterrado, mas para casos sem conexão a terra, permite a utilização da topologia delta aberto.

4.1.2 Metodologia Proposta

Desde a Consulta Pública nº 005/2011, foi indicada a necessidade de revisão das definições relativas às distorções harmônicas, por meio das contribuições coletadas na época. Por essa razão, a atual Consulta Pública, nº 018/2014, também teve como objeto de estudo a revisão destes conceitos e apresenta um aprimoramento das definições de Distorções Harmônica Individual, Distorção Harmônica Total e Ordem Harmônica, na versão proposta do Módulo 1 do PRODIST.

A revisão proposta permanece na mesma linha das anteriores, em relação a criação de indicadores apenas para as distorções harmônicas de tensão, uma vez que o indicador para distorção de corrente representa uma dificuldade na identificação das responsabilidades, assim como entende-se que, se os harmônicos de corrente são responsáveis pelos de tensão, a regulamentação dos últimos, de alguma forma já contempla os primeiros.

Na versão proposta foram descartados os valores de referência para as distorções harmônicas individuais, tal decisão vai de encontro aos padrões adotados em outros países, entretanto priorizou-se uma abordagem mais simples e que possibilita uma visão geral do fenômeno, uma vez que isto favorece a praticidade das fiscalizações do órgão regulador.

Na Nota Técnica nº 0105/2014, da CP nº 018/2014, é salientado que, mesmo que não exista uma regularização para as distorções harmônicas individuais de tensão, ainda são indicadores de suma importância para os estudos das distribuidoras. Além disto, este detalhamento deverá permanecer disponível, para fins de consulta da ANEEL.

Para tanto, como forma de simplificação, foram criados indicadores de acordo com um determinado conjunto de ordens harmônicas, sendo eles: distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de três ($DTT_p\%$), equação (6), distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de três ($DTT_i\%$), equação (7), distorção harmônica total para as componentes múltiplas de três ($DTT_3\%$), equação (8).

Representando a tratativa estatística aplicada aos dados obtidos, existem ainda os indicadores $DTT_{95\%}$, $DTT_p_{95\%}$, $DTT_i_{95\%}$ e $DTT_3_{95\%}$, os quais representam a aplicação do Percentil 95% nos indicadores $DTT\%$, $DTT_p\%$, $DTT_i\%$ e $DTT_3\%$, respectivamente, ou seja, trabalha-se com 95% dos valores dentre as 1008 amostras válidas de dez minutos.

$$DTT_p = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (6)$$

h = todas ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3, iniciando com 2.

$$DTT_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (7)$$

h = todas ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3, iniciando com 5.

$$DTT_3 = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (8)$$

h = todas as ordens harmônicas múltiplas de 3, iniciando com 3.

Em consonância com a norma IEC 61000-3-6, o Módulo 8 proposto aumentou a ordem harmônica máxima, passando de 25 para 40, uma vez que os medidores atuais possuem capacidade de atender esta demanda, conforme salientado na Nota Técnica n° 0105/2014.

Na versão vigente do Módulo 8, com relação aos valores de referência, havia o emprego dos níveis máximos diretamente sobre as grandezas monitoradas, no caso, para as distorções harmônicas total e individuais, no entanto este método, segundo o Relatório 2 – Indicadores de Qualidade do Produto, elaborado pela consultoria, não oferece muitos benefícios para a massa de dados obtida na medição.

Na versão proposta, houve uma mudança de estratégia, para estabelecimento dos valores limites, haja vista as limitações do modelo anterior. Dentre as opções de tratamento

estatístico, existe a utilização de indicadores avaliados de acordo com faixas de conformidade, método utilizado na tensão de regime permanente, ou a definição de percentis.

Embora ambas as estratégias possuam similaridades e tenham capacidade de expurgar as grandezas momentâneas, foi escolhida a utilização dos percentis para avaliar os fenômenos de distorção harmônica, esta opção encontra apoio na norma internacional IEC 61000-3-6, a qual orienta para emprego do percentil 95%, além disto, esta também é a estratégia adotada pelos Procedimentos de Rede.

A Nota Técnica n° 0029/2011, da CP n° 005/2011, reforça que um indicador deve oferecer mecanismos bem definidos e precisos para a avaliação quantitativa do fenômeno, por tanto devem ser formulados com uma base mensurável e associável a escalas contínuas. Em razão do modelo vigente não atender esta definição, a discussão sobre a mudança da estratégia utilizada acontece desde então e a metodologia proposta esta alinhada com as contribuições da época.

Por fim, os valores limites, apresentados na Tabela 3, são definidos para os indicadores que representam a aplicação do percentil 95% e que utilizam uma base semanal para aplicação.

Tabela 3 – Valores limites de distorção harmônica, metodologia proposta

Indicador	Tensão nominal do barramento		
	$V_n < 1,0 \text{ Kv}$	$1 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$V_n > 69 \text{ kV}$
DTT _{95%}	8,0%	6,0%	5,0%
DTT _{p95%}	2,0%	1,5%	1,0%
DTT _{195%}	6,0%	5,0%	4,0%
DTT _{395%}	5,0%	4,0%	3,0%

Para o caso de conexão de transformador de potencial tipo V ou delta aberto, os limites dos indicadores DTT_{395%} correspondem a 50% dos respectivos valores indicados na Tabela 3.

A ANEEL irá acompanhar e avaliar as distorções harmônicas de tensão, junto as distribuidoras, por meio de um conjunto de leituras realizadas nas seguintes modalidades: amostral e permanente. Cujos critérios e procedimentos estão definidos no documento, bem como a periodicidade.

4.2 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

4.2.1 Metodologia Vigente

O desequilíbrio de tensão é mensurado pelo fator de desequilíbrio (FD), cujo valor pode ser obtido pela razão entre as magnitudes da tensão de sequência negativa (V_-) e positiva (V_+), como se observa na equação (9).

$$FD = \frac{V_-}{V_+} \cdot 100 \quad (9)$$

Quanto ao valor de referência para este fenômeno, nos barramentos do sistema de distribuição, exceto de baixa tensão, deve ser menor ou igual a 2%. Porém não menciona qual dos valores medidos deve ser comparado a este valor de referência.

Na versão vigente do Módulo 8, são apresentadas poucas informações sobre a metodologia de medição deste fenômeno, as definições existentes são: os sinais monitorados devem utilizar sistemas que permitem processamento computacional, a capacidade de armazenamento deve atender aos requisitos do banco de dados do protocolo de medição, a ser definido pela ANEEL e ainda estabelece que as medições sejam feitas por meio de tensão fase-fase, eliminando os efeitos das componentes de sequência zero.

Com relação aos instrumentos empregados nas medições, o Módulo 8 define somente que eles atendam aos protocolos e normas técnicas vigentes, no entanto não faz citação a estes documentos.

4.2.2 Metodologia Proposta

Houve uma ampliação no conceito de desequilíbrio de tensão, anteriormente era brevemente definido como um fenômeno associado a alteração dos padrões trifásicos do sistema de distribuição e passou a ser descrito como qualquer diferencia na amplitude ou defasagem angular entre as tensões de fase do mesmo sistema.

Não houve proposta de mudança no indicador existente, somente para aprimorar as definições e estabelecer um tratamento estatístico ao conjunto de dados, com isso foi implantado o Percentil 95%, cujo indicador correspondente é o FD95%.

Para este novo indicador são atribuídos os valores limites, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores limites para desequilíbrio de tensão, metodologia proposta

Indicador	Tensão nominal do barramento		
	$V_n < 1 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$V_n > 69 \text{ kV}$
FD95%	3,0 %	2,0 %	1,5 %

Na Consulta Pública n° 005/2011, foi levantada a discussão sobre a implementação do fator de desequilíbrio de sequência zero, tanto as contribuições recebidas na época, quanto a atual proposta de revisão do Módulo 8, não são favoráveis a criação, em razão da viabilidade das medições. Com isso, este aspecto se manteve.

Com a definição de valores limites para o desequilíbrio de tensão, a partir desta revisão, a ANEEL passará a avaliar e acompanhar esse fenômeno sob duas modalidades: amostral e permanente.

4.3 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

4.3.1 Metodologia Vigente

A definição de flutuação de tensão, na atual versão do PRODIST, diz que o fenômeno corresponde a uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão fornecida.

Ainda na metodologia vigente, para a flutuação de tensão, são estabelecidos os seguintes indicadores: severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst), severidade de longa duração (Plt), valor diário do Pst que foi superado em 5% dos registros obtidos no período (PstD95%), valor semanal do indicador Plt que foi superado em 5% dos registros de sete dias consecutivos (PltS95%) e o fator de transferência (FT).

A maneira de obter os indicadores Pst e Plt são ilustradas pelas equações (10) e (11), respectivamente.

$$Pst = \sqrt{0,0314.P_{0,1} + 0,0525.P_1 + 0,0657.P_3 + 0,28.P_{10} + 0,08.P_{50}} \quad (10)$$

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (Pst_i)^3} \quad (11)$$

Sendo P_i , para $i = 0,1;1;3;10;50$, o nível de sensação de cintilação que foi ultrapassado durante $i\%$ do tempo, obtido por meio de uma função de distribuição acumulada complementar, de acordo com a Norma IEC 61000-4-15.

O FT deve ser calculado pela relação entre o valor do $PltS95\%$ do barramento do sistema de distribuição e o valor do $PltS95\%$ do barramento da tensão secundária de baixa tensão de distribuição, eletricamente mais próximo.

Ainda o documento vigente adiciona que, caso o FT não seja conhecido, por meio da medição, na Tabela 5, são fornecidos valores típicos a serem aplicados para avaliação da flutuação de tensão nos barramentos do sistema de distribuição.

Tabela 5 – Fatores de transferência

Tensão Nominal do Barramento	FT
Tensão do barramento ≥ 230 Kv	0,65
$69 \text{ kV} \leq$ Tensão do barramento < 230 kV	0,8
Tensão do barramento < 69 kV	1,0

A metodologia de cálculo das variáveis Pst e Plt está em consonância com a IEC 61000-4-15, tal estratégia segue um modelo estatístico de ocorrência de nível de tensão, traduzido em sensações de cintilação luminosa.

A Tabela 6 apresenta os valores de referência para avaliação do desempenho do sistema de distribuição. Ainda de acordo com a IEC, são estabelecidos os níveis de severidade da cintilação, associados à flutuação de tensão, sendo eles: adequado, precário ou crítico.

Tabela 6 – Valores de referência para flutuação de tensão, metodologia vigente

Valor de Referência	PstD95%	PltS95%
Adequado	< 1 pu / FT	$< 0,8$ pu / FT
Precário	1 pu – 2 pu / FT	$0,8$ pu – $1,6$ pu / FT
Crítico	> 2 pu / FT	$> 1,6$ pu / FT

Em relação aos instrumentos utilizados nas medições de flutuação de tensão, define-se somente que eles devem atender aos protocolos e normas técnicas vigentes, entretanto não cita estes documentos.

4.3.2 Metodologia Proposta

Na definição teórica proposta, para o fenômeno de flutuação de tensão, passa-se a considerar, além do valor eficaz, as variações de tensão de pico. Segundo ABRADE, esta mudança está fundamentada em novos trabalhos relacionados ao tema, que esclarecem que o fenômeno é observado em algumas lâmpadas, mesmo sem a mudança do valor eficaz da tensão, somente na tensão de pico.

Em relação aos indicadores para a flutuação de tensão, foram mantidos os respectivos conceitos e fórmulas de cálculo do Pst e Plt. No entanto, um ponto de mudança foi o tratamento estatístico aplicado ao Pst, o qual deixa de ser diário e passa para semanal, ou seja, o Pst95% representa o valor de Pst superado em 5% dos 1008 registros, com intervalos de 10 minutos. O Plt95% se manteve, portanto corresponde ao valor do Plt superado em 5%, dos 1008 registros de 10 minutos.

Pela Nota Técnica nº 0105/2014, da CP nº 018/2014, é entendido que a utilização do novo indicador Pst95%, já confere um indicador de longa duração, mesmo assim manteve-se o indicador Plt e sua massa de dados deve estar disponível na distribuidora, para análises mais específicas do evento.

A proposta de utilizar a severidade da flutuação de tensão semanal, esta alinhada com a regulamentação estrangeira, IEC 61000-4-15. Entretanto destoa da metodologia adotada nos Procedimentos de Rede, o qual apura ainda diariamente, por um período de sete dias.

Ainda sobre as alterações propostas, o indicador do fator de transferência é eliminado da norma e, portanto, deixa de caracterizar as flutuações de tensão em sistemas de distribuição. Tal decisão foi tomada pela conclusão que, o sistema de distribuição possui suas particularidades, em relação ao de transmissão, tornado o procedimento inadequado e com baixa assertividade. Por exemplo, conforme citado no Relatório 1, elaborado pela consultoria, é recorrente a transferência de carga na distribuição, ou seja, remanejamento de carga, mudando com isso a topologia de rede, assim como, também, existe uma facilidade para realizar medição em qualquer barramento.

Desta forma, em adição a razão para a retirada do FT, existe uma distinção entre as impedâncias verificadas nos sistemas de distribuição e de transmissão, e ainda, na distribuição, as flutuações de tensão não são exclusivas dos níveis de tensão alto e médio, mas também encontra-se de forma distribuída na baixa tensão, por essa razão é possível uma propagação do fenômeno na direção de baixa tensão para as mais elevadas.

Como já comentado anteriormente, devido ao fato do indicador Pst95% apresentar características de um indicador de longa duração, foram definidos somente a ele os limites para avaliação do sistema, quanto a flutuação de tensão.

A Tabela 7 apresenta os valores estabelecidos na versão proposta, fazendo um paralelo com os valores de referência constantes na versão vigente.

Tabela 7 – Comparação: limites globais propostos e valores de referência vigentes

Tensão Nominal (V_n)	Valor de Referências Vigentes	Limite Proposto	Comparação
	PstD95%	Pst95%	
$V_n \geq 230\text{kV}$	> 1,54 pu	Procedimento de rede	Imparcial
$69 \text{ Kv} < V_n < 230\text{kV}$	> 1,25 pu	2 pu	Flexibilização
$1\text{Kv} < V_n < 69 \text{ kV}$	> 1 pu	1,5 pu	Flexibilização
$V_n \leq 1\text{kV}$	> 1 pu	1 pu	Manutenção

A ONS possui um documento denominado “Instruções para realização de estudos e medições de QEE relacionados aos novos acessos à Rede Básica”, com sua primeira versão publicada no ano de 2008, cujo objetivo é explorar os aspectos relativos à avaliação dos impactos das conexões, no que se refere aos efeitos de eventos de qualidade de energia, bem como as campanhas de medição para levantamento de dados. Em tal documento são destacadas algumas deficiências da metodologia da empregada pela IEC 61000-4-15, assim como indica a necessidade da utilização do FT, representando a atenuação esperada quando a flutuação de tensão se propaga dos barramentos da rede básica para os barramentos da rede secundária de distribuição (ONS, 2013).

Na metodologia vigente, do Módulo 8 do PRODIST, ocorreu uma reprodução fiel das definições, indicadores e limites, assim como os fatores de transferência, do documento supracitado e do Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede, o que já indicava a necessidade de uma revisão nos conceitos, tal como foi feito na proposta, visando assim a adequação das particularidades da rede de distribuição.

Para acompanhamento da ANEEL, dos eventos de flutuação de tensão, na nova proposta, ainda são previstas duas modalidades de avaliação, sendo elas, amostral e permanente.

4.4 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

4.4.1 Metodologia Vigente

Na metodologia vigente, o fenômeno de variação de tensão de curta duração é superficialmente desenvolvido, uma vez que não existe um indicador, sendo assim, também não são estabelecidos valores de referência ou limites, por tanto não possui um padrão de avaliação do desempenho para os sistemas de distribuição.

Cabe destacar que no Procedimento de Rede também não são indicados valores de referência, ou limites, para VTCD, entretanto já é apresentado um método de estratificação do fenômeno.

Em relação à metodologia de medição, a severidade de uma VTCD, medida entre fase e neutro de determinado barramento do sistema de distribuição, será caracterizada pela amplitude, duração e frequência de ocorrência. Em um dado ponto de monitoração, é realizada uma agregação da amplitude e duração de cada evento, esta agregação é feita pelo critério de união das fases. Fenômenos de afundamento e elevação devem ser tratados de forma separada.

Para os instrumentos empregados nas medições de VTCD, o PRODIST somente menciona que estes devem atender aos protocolos de medição e normas técnicas vigentes, no entanto não cita tais documentos.

4.4.2 Metodologia Proposta

Na nova metodologia são propostas muitas mudanças significativas na tratativa das VTCD, tais mudanças nivelam as exigências deste fenômeno com as dos demais, uma vez que é criado um indicador e estabelecido seu valor limite, mas, além disto, é proposto um procedimento de gestão das reclamações associadas às VTCD's, nos moldes do que é realizado para tensão em regime permanente.

As VTCD's provocam uma série de inconvenientes e perdas, especialmente em processos produtivos, uma vez que pode ocasionar o desligamento de equipamentos e culminar em uma parada prolongada, cujos ônus são arcados pelo consumidor, como sinalizou a ABRACE (Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e Consumidores Livres) em sua contribuição, na ocasião da Consulta Pública n° 005/2001.

Na atual Consulta Pública, n° 018/2014, novamente em sua contribuição, a ABRACE reforçou a questão da VTCD e afirmou que os pontos de modificação propostos estão alinhados aos problemas vivenciados pela indústria.

O indicador criado para avaliação é denominado Fator de Impacto (FI), o qual será usado para caracterizar o desempenho dos barramentos de distribuição, quanto a incidência das variações de tensão de curta duração.

A contabilização das incidências se dá em diferentes categorias, ou regiões de sensibilidade, separadas de acordo com determinada duração e amplitude do evento VTCD, visando assim correlacionar a importância de cada tipo de evento com os níveis de sensibilidade de diferentes perfis de carga, conectadas aos sistemas de média e alta tensão.

O Quadro 2 apresenta a forma como são distribuídas as regiões de sensibilidade, assim como os respectivos parâmetros de identificação. Ainda, na equação (12) é calculada a amplitude da VTCD e na equação (13) é definido o intervalo do fenômeno.

Para tanto é necessário o registro dos eventos medidos conforme a estratificação mostrada na tabela do Quadro 2, conforme sua amplitude e duração, para posteriormente realizar o cálculo do indicador.

$$V_e = \frac{V_{res}}{V_{ref}} \cdot 100 \quad (12)$$

$$\Delta t_e = t_f - t_i \quad (13)$$

Onde, V_e é a amplitude do evento VTCD, V_{res} a tensão residual do evento e V_{ref} a tensão de referência. Na equação (13), Δt_e representa a duração do evento VTCD (em milissegundos), t_f e t_i são os instantes final e inicial do fenômeno, respectivamente.

Quadro 2 – Estratificação, por amplitude e duração, para contabilização da VTCD.

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
(1,15 - 1,20]	REGIÃO H			REGIÃO I			
(1,10 - 1,15]	REGIÃO H			REGIÃO I			
(0,85 - 0,90]	REGIÃO A						
(0,80 - 0,85]	REGIÃO A						
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B	REGIÃO D		REGIÃO G			
(0,60 - 0,70]	REGIÃO B	REGIÃO D		REGIÃO F			
(0,50 - 0,60]	REGIÃO C	REGIÃO D		REGIÃO F			
(0,40 - 0,50]	REGIÃO C	REGIÃO D		REGIÃO F			
(0,30 - 0,40]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,20 - 0,30]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,10 - 0,20]	REGIÃO E			REGIÃO F			
< 0,10	REGIÃO E			REGIÃO F			

Fonte: (PRODIST, 2015)

A equação (14) calcula o Fator de Impacto, por meio da razão entre o somatório da frequência de ocorrência de eventos por região (f_e), amortizado por um fator de ponderação desta região (fp), e o Fator de Impacto base (FI_{base}), calculado considerando os fatores de ponderação e a frequência limite de ocorrências por região.

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I (f_{ei} \cdot fp_i)}{FI_{base}} \quad (14)$$

Sendo $i = A, B, C, D, E, F, G, H$ e I , as regiões de sensibilidade, conforme o Quadro 2. A frequência de ocorrência é apurada por meio de medição apropriada, em um período de 30 dias consecutivos.

A versão proposta do PRODIST trás uma tabela com os valores do fator de ponderação por região e do Fator de Impacto Base, de acordo com a classe de tensão, para serem aplicados na equação (14).

Para barramento de distribuição, com tensão maior que 1,0 kV e menor que 230 kV, é estabelecido um valor limite, para o Fator de Impacto máximo, de 1,0 pu.

O tratamento estatístico, para alguns dos fenômenos, foi proposto indicadores de valores diários e semanais e utilização de percentis, entretanto, para as VTCD's a obtenção dos valores correspondentes ao número de ocorrência demanda um período de avaliação maior, uma vez que precisa classificar por faixas de amplitude e duração.

Para acompanhamento, do fenômeno de VTCD no sistema de distribuição, pela agência reguladora ANEEL, a proposta prevê a avaliação do desempenho nas modalidades amostral, permanente e eventual. Além disto, propõe um procedimento para gestão das reclamações associadas a este evento.

5 PERFIS DE CARGA E PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

5.1 PERFIS DE CARGA

As medições de qualidade de energia, para os estudos de caso deste trabalho, foram realizadas em subestações de distribuição, abaixadoras de tensão, do nível 138 kV para 11,9 kV. Dentre a gama de subestações, foram selecionadas três delas, cujos perfis são, predominantemente, rural, residencial ou industrial.

Na sequência do trabalho, tais locais são identificados da seguinte maneira: subestação 1, 2 e 3, para o perfil residencial, perfil industrial e perfil rural, respectivamente.

5.1.1 Consumidor Residencial Urbano

Nos últimos anos, a indústria eletrônica se desenvolveu consideravelmente, fabricando diversos equipamentos para propiciar conforto e comodidade, embora os produtos oferecidos tenham aumentado sua eficiência, sobre o ponto de vista de consumo de energia, eles ainda são consideráveis fontes de distorções de tensão, devido sua característica não linear.

Concomitantemente, o poder de compra do consumidor aumentou, tornando as residências cada vez mais povoadas com equipamentos eletroeletrônicos e computadores. Ou seja, houve grande entrada de produtos eficientes e não lineares nos lares brasileiros, assim como em estabelecimentos comerciais.

Essas cargas, presentes nos consumidores residenciais e comerciais, provocam no sistema de distribuição de energia, no enfoque da qualidade de energia elétrica, principalmente distorções harmônicas.

Dentre as cargas perturbadoras mais comuns, pode-se citar: lâmpadas fluorescentes compactas (visam economia de energia, mas inserem níveis substanciais de harmônicos na distribuição secundária), controladores de intensidade luminosa e de temperatura (ambos afetam o fator de potência e aumentam a injeção de harmônicos), reatores, eletrodomésticos e eletroeletrônicos, computadores.

A caracterização da qualidade de energia é relativa, pois dois consumidores diferentes, sob as mesmas condições de fornecimento, podem ter percepções distintas sobre a qualidade da energia entregue. Um consumidor residencial comum relaciona a qualidade de energia com a continuidade, pois é uma interrupção demorada que lhe causará prejuízos ou

aborrecimentos, enquanto que, um consumidor industrial exige mais do que continuidade, pois seus equipamentos e processos, muitas vezes, são mais sensíveis a outros distúrbios na fonte de alimentação.

5.1.2 Consumidor Industrial

Diferentemente do consumidor residencial, os processos industriais são mais sensíveis aos distúrbios de qualidade de energia em sua alimentação, podendo gerar perdas econômicas de grande escala, ou seja, uma interrupção de energia durante meio segundo pode ser o suficiente para provocar uma parada na produção. Portanto, a qualidade de energia é também vista como um fator importante para a competitividade da indústria nacional.

Existem processos que qualquer tipo de parada representa grandes dificuldades e riscos à segurança, como é o caso de empresas que manipulam produtos químicos, por exemplo, uma fábrica de confecção de tecidos para reiniciar o processo tem-se um trabalho para emendar os fios, exigindo um tempo relativamente alto e numa indústria que trabalha com laminação de aço em alta temperatura, a interrupção da alimentação poderá causar perda das máquinas, entupimento de dutos, exigir a direta manipulação de materiais quentes pelos operários, dentre outros.

Dentro da indústria, existe uma procura constante por eficiência e mitigação de custos, com o aumento da tecnologia, fez crescer o número de equipamentos de alto rendimento e eficiência no ambiente fabril, que para tal aplicam muitas vezes dispositivos para controle de velocidade e temperatura, sistemas computadorizados, instalação de bancos de capacitores para correção do fator de potência, dentre outros. Com isso, conhecidamente, aumentou os níveis de harmônicos nos sistemas de energia.

5.1.3 Consumidor Residencial Rural

Os circuitos de distribuição que atendem, predominantemente, o consumidor rural, apresentam algumas características particulares, tais como, grande parte é constituída de ligações monofásicas, as redes são longas, devido às grandes distâncias que devem ser percorridas até o ponto de ligação, maior grau de dispersão dos domicílios e presença de geradores de energia.

Além disto, na zona rural, existe uma grande diversidade de consumidores, dispostos de forma não homogênea, por tanto representam demandas e consumos energéticos muito distintos.

É comum a utilização de motores elétricos nas instalações rurais, eles são as principais fontes de perturbações, quando as instalações não estão adequadamente dimensionadas ou quando não operam corretamente. A corrente de partida deve ser controlada, para evitar distúrbios na rede de alimentação, assim como os transitórios, que podem gerar quedas de tensão ou interrupções (SILVA; MUNHOZ; CORREIA, 2002).

A modelo do consumidor urbano, com o desenvolvimento da indústria eletroeletrônica, nas últimas décadas, o consumidor rural introduziu em suas residências equipamentos com características não lineares, tais como: eletrodomésticos, aparelhos eletrônicos, iluminação fluorescente e reatores eletrônicos. Desta forma, vem aumentando a presença de distorções na forma de onda de tensão nas redes de distribuição que atendem regiões rurais (RODRIGUES et al., 2003).

Por tanto, para este perfil de carga, são esperados problemas como queda de tensão, em razão dos circuitos longos em baixa tensão, desequilíbrio de tensão, devido à distribuição de cargas monofásicas e distorções harmônicas, relacionadas aos aparelhos de uso doméstico e motores quando mal dimensionados.

Assim como para os consumidores industriais, os consumidores rurais estão muito suscetíveis a perdas econômicas com problemas de qualidade de energia e interrupção de fornecimento, na avicultura, por exemplo, os aviários são climatizados e em casos de oscilação ou interrupções, o índice de mortalidade das aves cresce.

5.2 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

O procedimento adotado para a condução das campanhas de medição, dedicadas aos estudos apresentados neste trabalho, na esfera normativa do setor elétrico, esta baseada no PRODIST – Módulo 8 e normas e padrões internos de medição da CPFL.

A realização da campanha de medição tem como requisitos básicos medidor que atenda as determinações normativas, equipe capacitada e autorizada para as intervenções e execução das instalações necessárias, seguindo os procedimentos de segurança pertinente, e computador com processamento adequado as exigências do programa computacional de cada medidor.

Para a seleção do equipamento analisador de qualidade de energia levam-se em consideração os aspectos como fenômenos a serem registrados, compatibilidade com a classe de tensão da conexão, capacidade de armazenamento de dados, pois esta deve ser suficiente para abranger todo o período de medição e possibilidade de parametrização de acordo com as necessidades, como, por exemplo, topologia de conexão de transdutores.

Após a instalação do equipamento é recomendável observar alguns aspectos como: sequência de fase correta, selecionar a topologia de ligação correspondente a ligação física e verificar a amplitude de algumas grandezas, para certificar de que estão dentro dos valores esperados. Com isso evitam-se erros de parametrização, que possam comprometer os dados registrados.

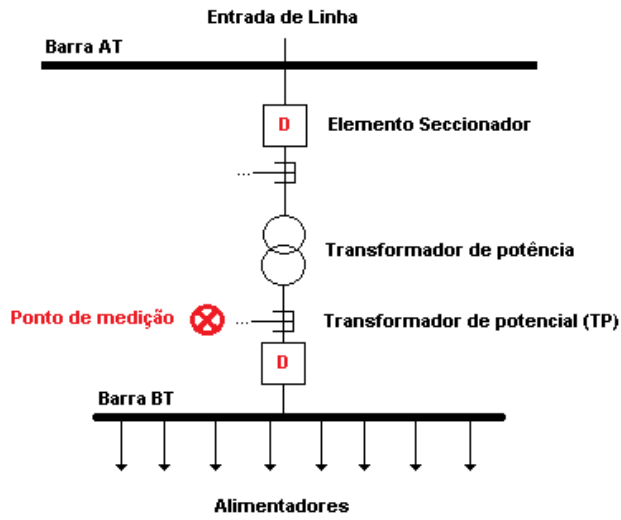
A duração da campanha de medição, tal como definido pelo PRODIST e Procedimentos de Rede, bem como pelos procedimentos técnicos da empresa, que colaborou com o desenvolvimento do estudo, tem duração de sete dias consecutivos. Todavia é uma prática comum adotar um período maior, evitando assim eventuais perdas de registros, assim como permite verificar a tendência do comportamento dos indicadores de qualidade de energia.

O local determinado para instalação do analisador de qualidade de energia foi o painel medição do barramento de média tensão, nas subestações de distribuição selecionadas. O diagrama unifilar simplificado, apresentado na Figura 11, ilustra o ponto dentro da subestação onde os equipamentos de medição foram aplicados.

A Figura 12 apresenta uma fotografia, tirada na ocasião da instalação em uma das subestações estudadas, a qual mostra uma visão geral das ligações realizadas, tensão e corrente, para o instrumento analisador de qualidade de energia, no interior do painel especificado acima.

Segundo as especificações do PRODIST, os TP's utilizados em um sistema trifásico devem ter a mesma especificação e com cargas de impedância semelhantes, podem ser conectados em estrela-estrela aterrada ou delta aberto, sendo a medição para o primeiro entre fase e neutro e para o segundo entre fases.

Figura 11 – Diagrama unifilar simplificado de subestação típica de distribuição



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 12 – Visão geral instalação da medição no painel subestação



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

O transformador de potencial, também indicado na Figura 11, fornece a informação de tensão do barramento, ao instrumento de medição. Em ambas as subestações estudadas, nesse ponto, existem dois transdutores de tensão, com topologia de conexão em delta aberto, também denominada topologia *V* ou *open-leg*. Neste tipo de ligação, existe medição em apenas duas fases do sistema, sendo a terceira calculada pelo analisador de qualidade de energia ou eventual medidor.

Esta informação é relevante, uma vez que, na versão proposta do PRODIST, tal topologia apresenta limites mais restritivos, para um dos indicadores de distorção harmônica. Essa nova tendência está de acordo com o apontado por Pignatti (2012), uma vez que seu estudo identificou distinção entre as medições realizadas com as duas topologias, alertando para a necessidade de adaptação da regulamentação, a fim de garantir a correta identificação das perturbações nas medições de sistemas trifásicos.

Em relação ao local escolhido para conduzir o estudo de caso, a instalação da medição no barramento da subestação de distribuição, está alinhada com o entendimento da ANEEL, indicada na ocasião da CP n° 018/2014, de que as medições individuais, indicadas pela consultoria, são muito onerosas e a alternativa mais apropriada seria a instalação das medições nas subestações, para apuração dos indicadores.

Outro parâmetro considerado, para a opção do local de análise, é o conceito de quanto maior a potência de curto circuito, menores são as perturbações de qualidade de energia, com isso, se os indicadores forem ultrapassados no barramento da subestação de transmissão, na outra extremidade do alimentador, ou seja, no ponto de conexão com o consumidor de baixa tensão, onde a potência de curto circuito é muito menor, existe um grande indício de transgressão dos mesmos indicadores, referenciados a esta classe de tensão.

6 RESULTADOS MEDIÇÕES E ANÁLISES COMPARATIVAS

Neste capítulo são apresentados os resultados das medições, realizadas nas subestações de distribuição, discriminadas pelos números um, dois e três. Os indicadores resultantes são comparados com os valores de conformidade, estipulados tanto no procedimento em vigor no setor elétrico, como em relação a versão proposta do PRODIST.

Ainda no presente capítulo, são estabelecidas análises comparativas entre os indicadores apurados, divididas por fenômenos de qualidade de energia, de forma a destacar as diferenças entre a metodologia vigente e proposta, bem como entre os perfis de carga, industrial, residencial urbano e rural.

6.1 RESULTADOS MEDIÇÕES

6.1.1 Subestação 1 – Perfil Residencial Urbano

A seguir são exibidos os resultados da medição, na subestação 1, cujo perfil de carga é predominantemente residencial urbano, para os fenômenos: nível de tensão em regime permanente, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e VTCD.

A Figura 13 mostra a fotografia do equipamento analisador de qualidade de energia, instalado no painel da subestação 1.

Figura 13 – Instalação medidor no painel subestação 1

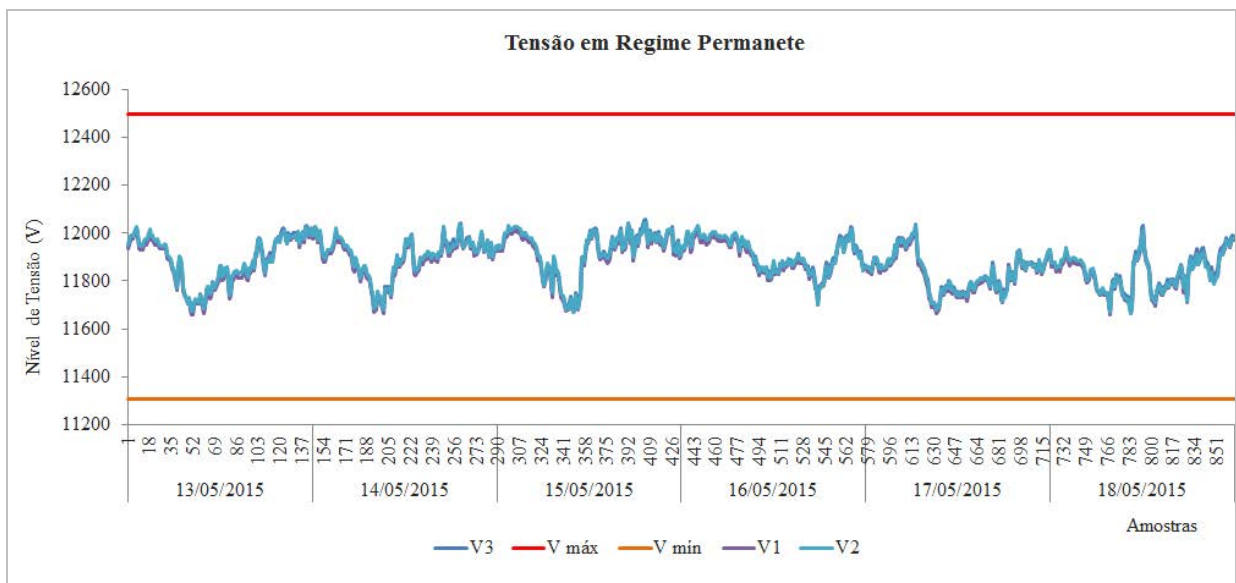


Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

6.1.1.1 Tensão em Regime Permanente

A Figura 14 apresenta o resultado das medições de tensão ao longo de sete dias consecutivos, totalizando 1008 amostras, assim como indica o limite superior e inferior, de acordo com o PRODIST vigente e proposto.

Figura 14 – Gráfico nível de tensão em regime permanente, subestação 1



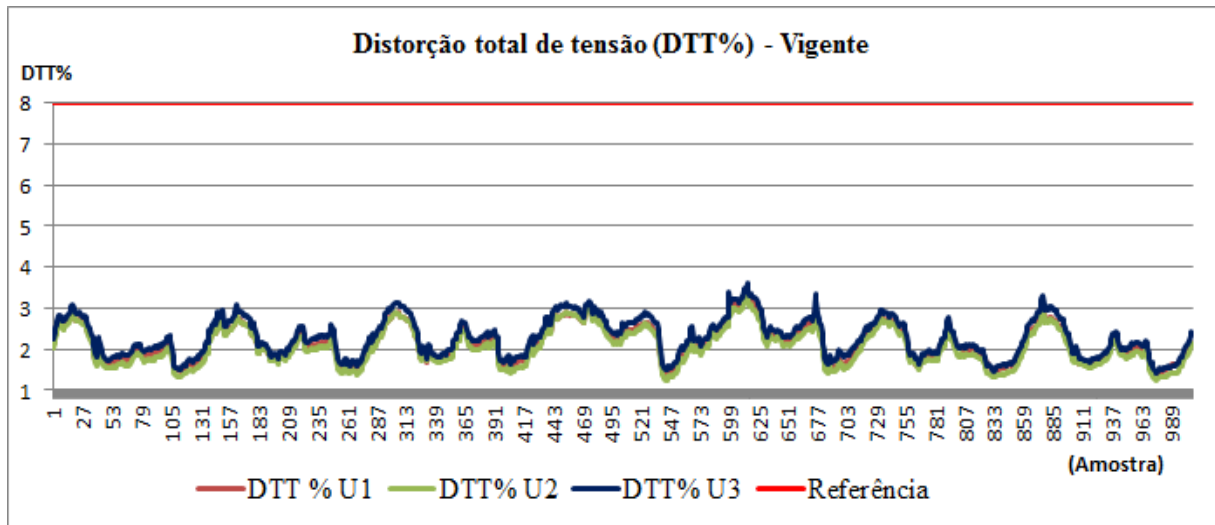
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

De acordo com o apresentado no gráfico da Figura 14, o nível de tensão, em regime permanente não apresenta transgressão aos limites de referência indicados, durante o período amostral de sete dias.

6.1.1.2 Distorções Harmônicas

A Figura 15 apresenta os resultados de DTT obtido no decorrer da semana de medição realizada, ou seja, nos 1008 pontos de amostra. Assim como destaca o valor de referência, de acordo com a classe de tensão aplicável, previsto na versão vigente do PRODIST.

Figura 15 – Distorção harmônica total (DDT%) metodologia vigente, subestação 1



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Observando o gráfico ilustrado na Figura 15, não há transgressão ao valor de referência, relativo a metodologia vigente, para distorção harmônica total.

Ainda em relação a metodologia vigente, no Quadro 3, são apresentados os valores de distorção harmônica individual, ou seja, por ordem harmônica, assim como é estabelecido um comparativo com os respectivos valores de referência, para averiguar se ultrapassou o limite, cujo resultado da avaliação é apresentado na coluna de conclusões.

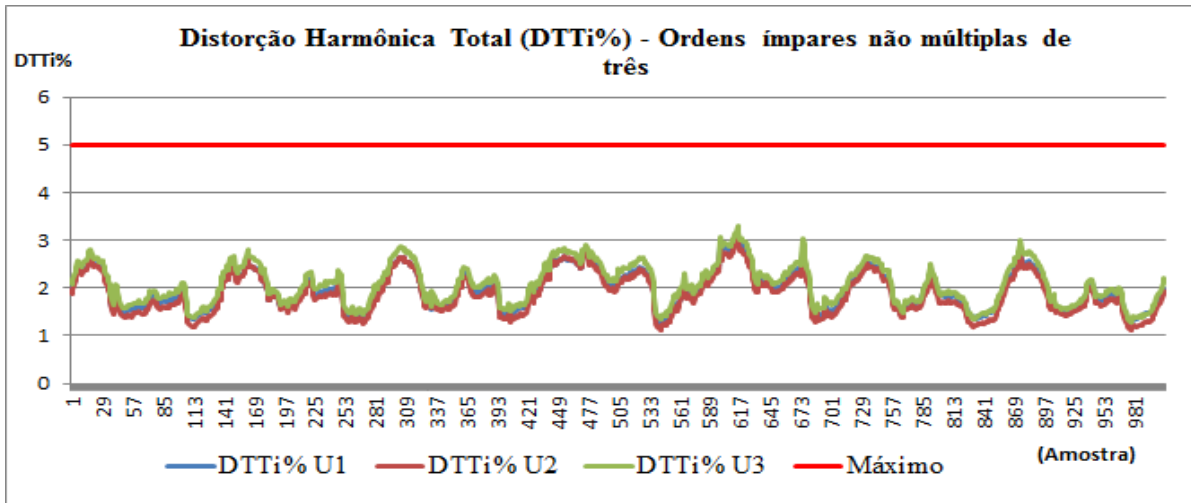
Quadro 3 – Distorção harmônica individual, metodologia vigente, subestação 1

Ordem Harmônica		Distorção Harmônica Individual (%)					
		1 kV < V nominal ≤ 13,8 Kv					
		Valor recomendado	Valor medido			Análise	
VL12	VL23		VL31	Média	Conclusão		
Ímpares não múltiplas de três	5	6,0	1,41	1,24	1,48	1,37	OK
	7	5,0	1,33	1,38	1,43	1,38	OK
	11	3,5	0,12	0,13	0,12	0,123	OK
	13	3,0	0,14	0,20	0,13	0,157	OK
	17	2,0	0,04	0,04	0,04	0,04	OK
	19	1,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
	23	1,5	0,02	0,01	0,01	0,013	OK
	25	1,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
	>25	1,0	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
Ímpares múltiplas de três	3	5,0	0,12	0,14	0,23	0,163	OK
	9	1,5	0,04	0,04	0,05	0,043	OK
	15	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
	21	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
	>21	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
Pares	2	2,0	0,06	0,06	0,06	0,06	OK
	4	1,0	0,03	0,03	0,03	0,03	OK
	6	0,5	0,02	0,02	0,02	0,02	OK
	8	0,5	0,17	0,02	0,02	0,07	OK
	10	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
	12	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK
	>12	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	OK

Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

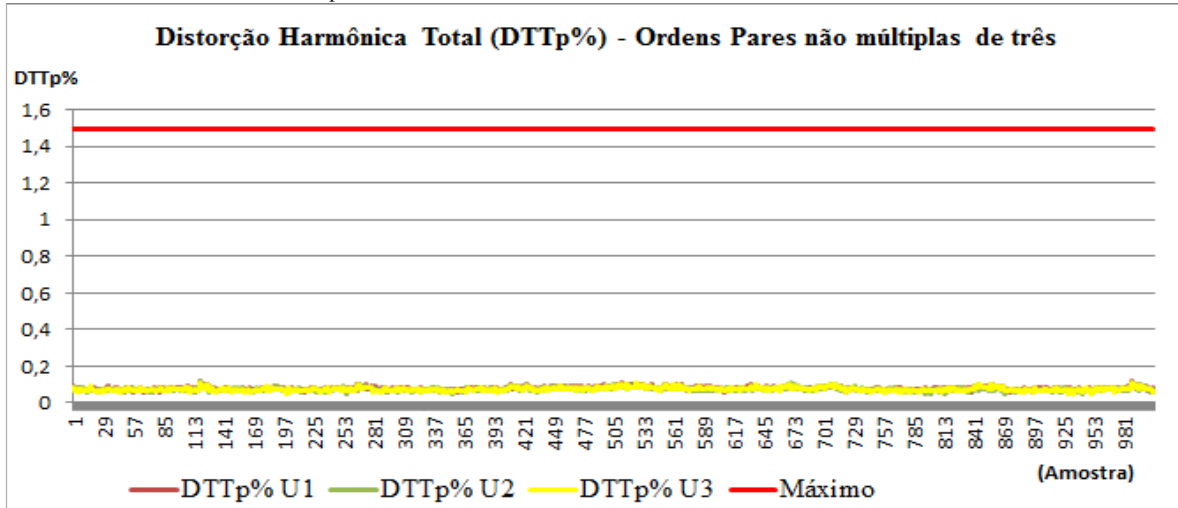
A seguir são apresentadas as análises pertinentes a metodologia proposta. Primeiramente, as Figuras 16, 17 e 18 representam a distribuição da distorção total de tensão (DTT%), das 1008 amostras, separadas em três subgrupos: ordens ímpares não múltiplas de três, ordens pares não múltiplas de três e de ordens três, respectivamente. Cada qual apresenta seu limite, indicado pela linha contínua em vermelho.

Figura 16 – Gráfico $DTTi\%$, metodologia proposta, subestação 1



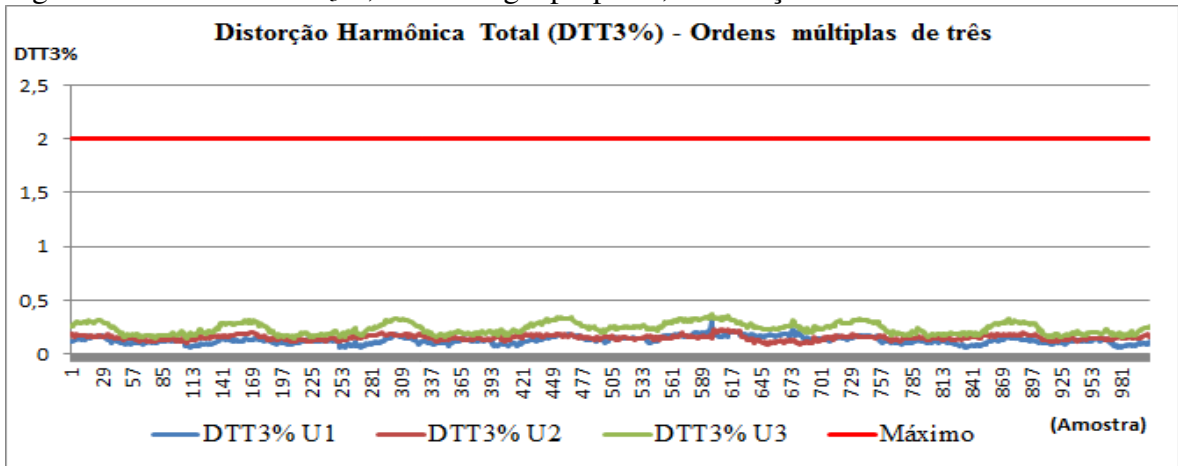
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 17 – Gráfico $DTTp\%$, metodologia proposta, subestação 1



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 18 – Gráfico $DTT3\%$, metodologia proposta, subestação 1



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Como análise prévia, a partir dos resultados apresentados nos gráficos, ilustrados nas Figuras 16, 17 e 18, é notável que os limites estão sendo respeitados, com relativa margem.

Os indicadores de distorção harmônica, apurados de acordo com a metodologia proposta, são apresentados no Quadro 4, assim como os respectivos valores limites estabelecidos.

Quadro 4 – Indicadores distorção harmônica, metodologia proposta, subestação 1

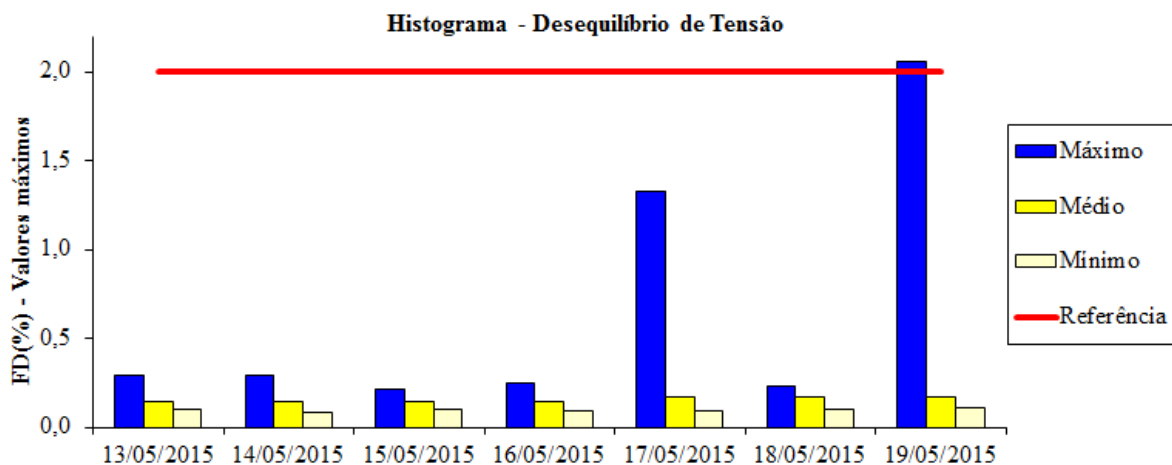
Indicadores Distorção Harmônica					
Indicador	Tensão entre 1 kV e 69 kV				
	Valor Limite (%)	Valor Medido			Avaliação
		U1	U2	U3	
DTT95%	6	2,8533	2,8394	3,0552	OK
DTTp95%	1,5	0,0943	0,0927	0,0927	OK
DTTi95%	5	2,6084	2,5957	2,7798	OK
DTT ₃ 95%	2	0,1863	0,1868	0,3239	OK

Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

6.1.1.3 Desequilíbrio de Tensão

A Figura 19 apresenta um histograma do desequilíbrio de tensão apurado ao longo dos sete dias de medição, totalizando 1008 leituras válidas. O analisador de qualidade de energia, utilizado nesta subestação, registra, a cada amostra, o maior valor, o médio e o menor valor, medidos no decorrer dos dez minutos. O histograma apresenta, por dia, o maior valor dentre as respectivas amostras, por categoria (máximo, médio e mínimo).

Figura 19 – Histograma do desequilíbrio de tensão, subestação 1



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Em relação a metodologia vigente, o valor de referência do indicador FD%, nos barramentos do sistema de distribuição, deve ser igual ou superior a 2%, conforme indica o traçado vermelho da Figura 19. Pode-se notar ainda que houve uma transgressão do valor máximo, no entanto, o valor médio manteve-se bem abaixo.

O indicador da metodologia proposta apresenta um tratamento estatístico, a partir da aplicação do Percentil 95%, o resultado da apuração é apresentado na Tabela 8, junto ao seu valor limite, estabelecido para o nível de tensão entre 1,0 kV e 69 kV, e, por último, a avaliação relativa a conformidade.

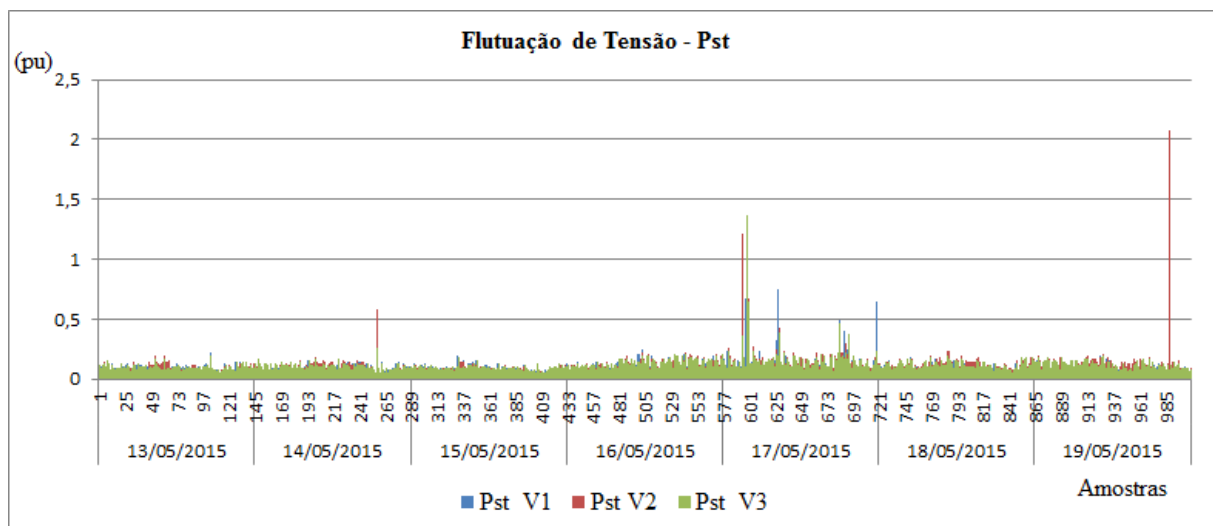
Tabela 8 – Desequilíbrio de tensão, metodologia proposta, subestação 1

FD95%	Limite (%)	Avaliação
0,18	2	OK

6.1.1.4 Flutuação de Tensão

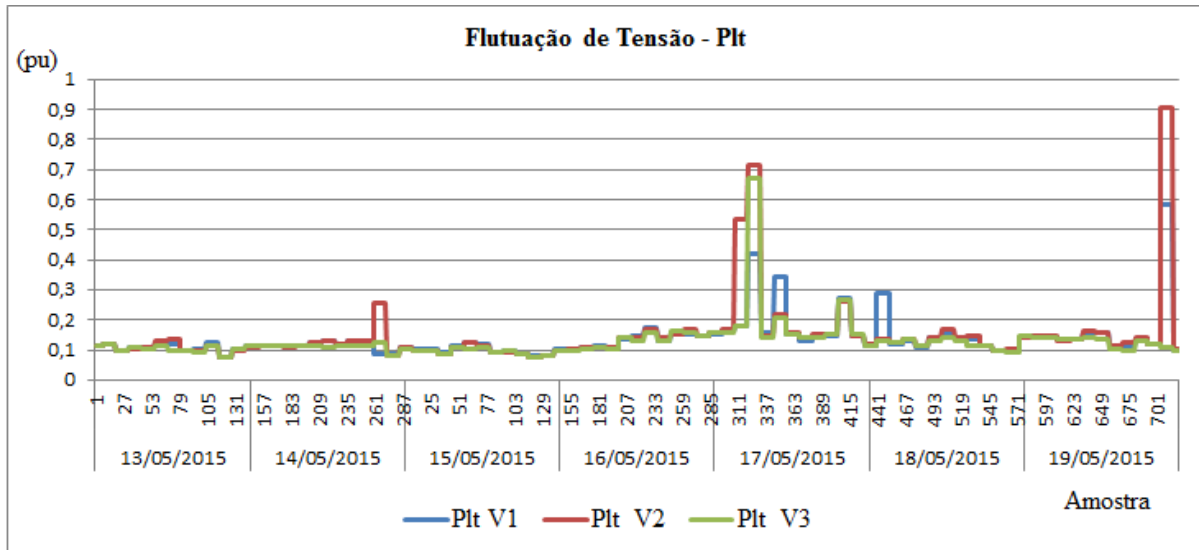
Com relação a medição da flutuação de tensão obtida, a Figura 20 apresenta a distribuição do Pst ao longo da semana de apuração, enquanto que a Figura 21 trás o gráfico dos valores de Plt, também em relação as 1008 amostras.

Figura 20 – Gráfico flutuação de tensão Pst, subestação 1



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 21 – Gráfico flutuação de tensão Plt, subestação 1



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Sob a ótica da metodologia vigente, na sequência são realizadas as apurações dos indicadores PstD95% e PltS95%.

A Tabela 9 apresenta o resultado do cálculo do Percentil 95% dos Pst medidos, no decorrer de um dia, por fase, assim como é destacado o maior valor dentre as fases, para posterior análise.

Tabela 9 – Percentil 95% diário Pst, subestação 1

Data	V1 PstD95%	V2 PstD95%	V3 PstD95%	Máximo
13/05/2015	0,13985	0,149	0,13285	0,149
14/05/2015	0,14885	0,1517	0,13925	0,1517
15/05/2015	0,134	0,1357	0,1177	0,1357
16/05/2015	0,19455	0,195	0,193	0,195
17/05/2015	0,34095	0,2679	0,23085	0,341
18/05/2015	0,16655	0,17485	0,168	0,1749
19/05/2015	0,17185	0,18055	0,167	0,1806

Ainda, em relação ao indicador PstD95%, para o qual são estabelecidas as faixas de conformidade, usadas como referência, de acordo com o PRODIST vigente, deve-se considerar o maior valor dentre os sete apurados. Por tanto, indicador do dia 17/05/2015 representará o resultado da flutuação de tensão desta subestação, cujo valor é de 0,341.

O fator de transferência, para a classe de tensão inferior a 69 kV, segundo a tabela constante no PRODIST, é de 1,0. Na Tabela 10 a seguir são apresentados os valores de referência para o FT unitário.

Tabela 10 – Valores de referência PRODIST vigente para FT=1,0

Valor de Referência	PstD95%	PltS95%
Adequado	< 1 pu	< 0,8 pu
Precário	Entre 1pu e 2pu	Entre 0,8pu e 1,6pu
Crítico	> 2pu	> 1,6pu

Como nenhum indicador PstD95%, mostrado na Tabela 9, ultrapassou o valor de 1,0 pu, logo o indicador PstD95% encontra-se dentro da faixa adequada, de acordo com a Tabela 10. Da mesma forma, como pode ser observado na Tabela 11, a qual ilustra o resultado da apuração do indicador PltS95%, o indicador encontra-se na faixa adequada, em relação aos valores de referência da Tabela 10.

Tabela 11 – Indicador PltS95%, metodologia vigente, subestação 1

PltS95%		
V1	V2	V3
0,274	0,258	0,161

A seguir, é considerado o ponto de vista da metodologia proposta, para análise da flutuação de tensão nesta subestação.

Com relação ao indicador proposto, o Pst95% deve ser calculado com uma base semanal, conseqüentemente, é bastante próximo do antigo PltS95%, como pode ser observado na Tabela 12. O limite neste caso é de 1,5 pu, por essa razão, pode-se dizer que o indicador não foi transgredido.

Tabela 12 – Indicador Pst95% proposto, subestação 1

Pst95%		
V1	V2	V3
0,18565	0,189	0,181

6.1.1.5 Variação de Tensão de Curta Duração

Na metodologia vigente não existem indicadores a serem apurados, para os fenômenos VTCD, uma vez que não esta desenvolvida neste sentido.

No aspecto da metodologia proposta, existe o indicador denominado FI, cuja apuração inicia pela contagem do número de eventos ocorridos.

Durante o período de 30 dias consecutivos, o analisador de qualidade de energia registrou somente um evento, no dia 20/04/2015 as 17:15, do tipo afundamento de tensão na segunda fase, com magnitude de 0,68pu e duração de 150 ms.

Com esta magnitude e duração, caracteriza-se como um afundamento momentâneo de tensão (AMT). No quadro de estratificação, apresentado na Seção 4.6, encontra-se na região de sensibilidade D.

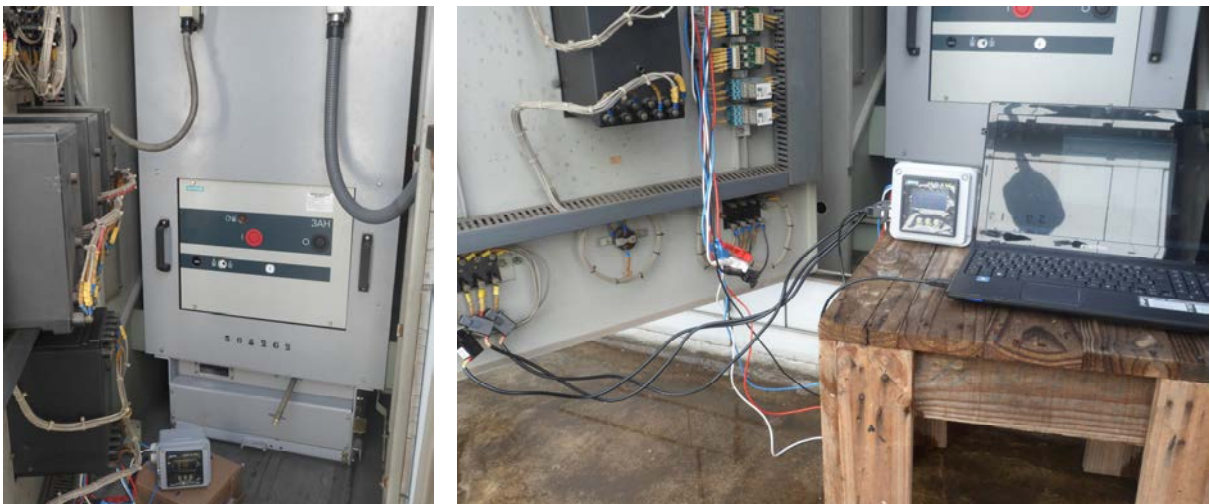
Com isso, o FI calculado é de 0,07 pu. Sendo o limite para esse indicador de 1,0 pu, conclui-se que não há transgressão para este fenômeno.

6.1.2 Subestação 2 – Perfil Industrial

Na sequência são apresentados os resultados obtidos na medição, realizada na subestação 2, cujo perfil de carga é predominantemente industrial, para os seguintes fenômenos de qualidade de energia: nível de tensão em regime permanente, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão e flutuação de tensão.

A Figura 22 apresenta duas imagens da instalação do medidor de qualidade de energia, conectado na subestação 2.

Figura 22 – Instalação medidor no painel subestação 2

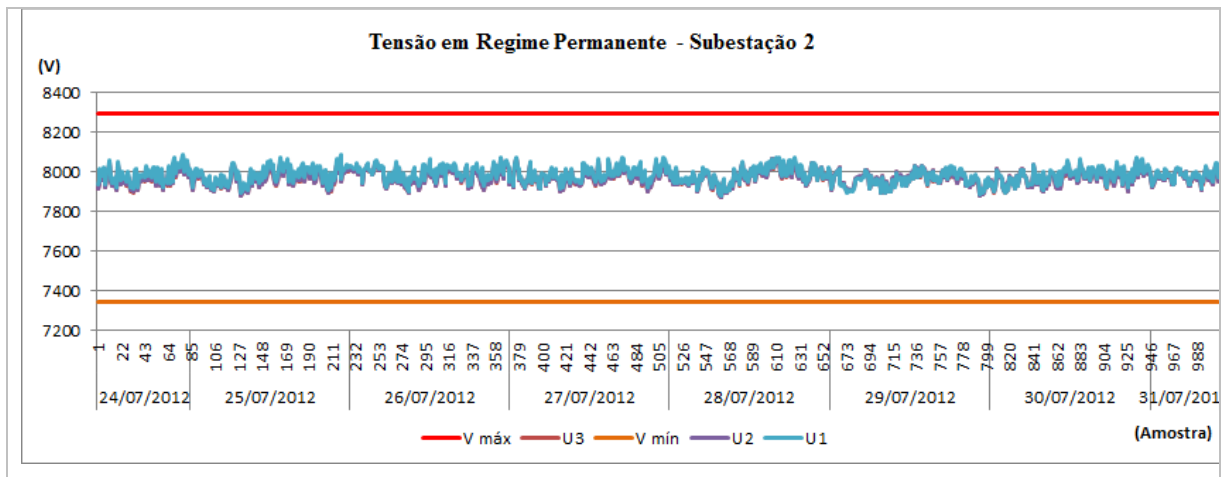


Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

6.1.2.1 Tensão em Regime Permanente

Para dar início a análise da subestação 2, com perfil industrial, a Figura 23 apresenta o gráfico das medições de tensão, em regime permanente, ao longo de sete dias consecutivos, totalizando 1008 amostras, assim como indica o limite superior e inferior, de acordo com o PRODIST vigente, e que se manteve no proposto.

Figura 23 – Gráfico nível de tensão permanente, subestação 2



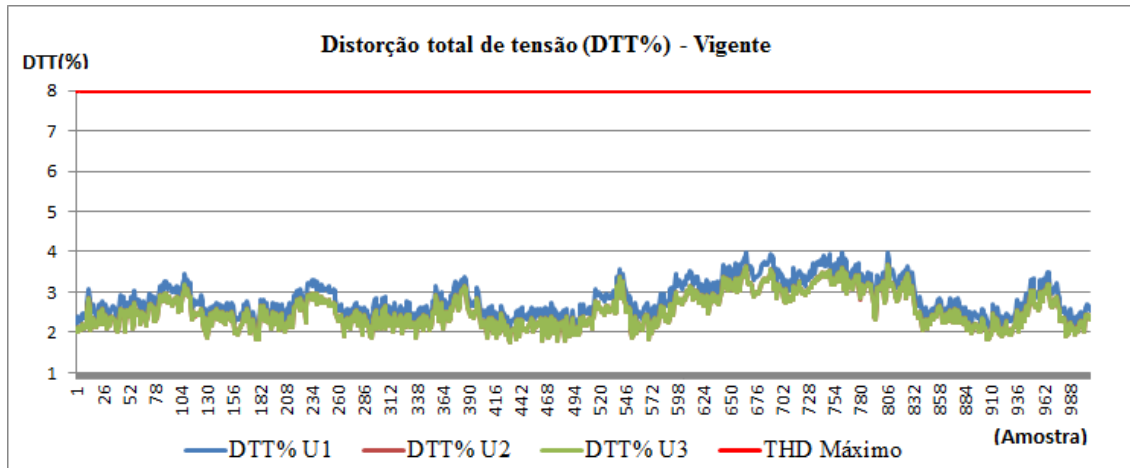
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Por meio da análise do gráfico, apresentado na Figura 23, é possível concluir que não houve transgressão aos limites superior e inferior, para tensão em regime permanente, ao longo do período observado.

6.1.2.2 Distorções Harmônicas

Em relação a medição de distorções harmônicas para a subestação 2, os resultados levantados são apresentados a seguir. Primeiramente, com enfoque na metodologia vigente, a Figura 24 apresenta a distribuição da DDT%, obtida no decorrer de uma semana, ou seja, nos 1008 pontos de amostra, assim como indica o nível de referência previsto na metodologia vigente.

Figura 24 – Distorção harmônica total (DDT%) metodologia vigente, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

De acordo com a distribuição apresentada no gráfico, da Figura 24, nenhuma amostra superou o valor de referência estabelecido. Portanto esta subestação encontra-se em conformidade com a metodologia vigente.

Ainda em relação a norma em vigor, para análise das distorções harmônicas individuais, o Quadro 5 apresenta os valores levantados na medição, por ordem harmônica, assim como os respectivos valores de referência estipulados. A última coluna do quadro exibe a avaliação da conformidade.

Quadro 5 – Distorção harmônica individual, metodologia vigente, subestação 2

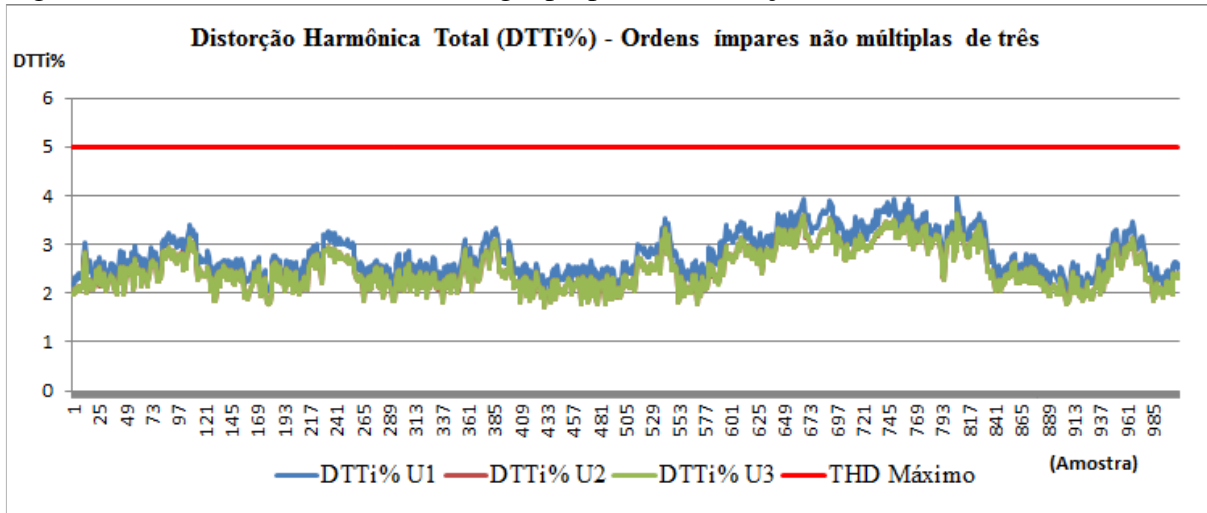
Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão (%)					
	Nível de tensão entre 1kV e 69kV					
	Ordem	Valor de Referência	Valor Medido			Avaliação
U1			U2	U3		
Ímpares não múltiplas de três	5	6	2,398	2,129	2,129	OK
	7	5	1,328	1,269	1,269	OK
	11	3,5	0,149	0,181	0,181	OK
	13	3	0,136	0,088	0,088	OK
	17	2	0,107	0,049	0,049	OK
	19	1,5	0,126	0,036	0,036	OK
	23	1,5	0,086	0,022	0,022	OK
	25	1,5	0,068	0,007	0,007	OK
>25	1	> 0,044	>0,0002	> 0,0001	OK	
Ímpares múltiplas de três	3	5	0,509	0,4562	0,4576	OK
	9	1,5	0,099	0,0246	0,0245	OK
	15	0,5	0,064	0,0067	0,0066	OK
	21	0,5	0,087	0,0065	0,0065	OK
	>21	0,5	> 0,044	>0,00018	> 0,00016	OK
Pares	2	2	0,055	0,0445	0,0415	OK
	4	1	0,045	0,0455	0,0449	OK
	6	0,5	0,0027	0,002	0,0019	OK
	8	0,5	0,00339	0,0041	0,0042	OK
	10	0,5	0,00337	0,0018	0,0018	OK
	12	0,5	0,00533	0,0003	0,0003	OK
	>12	0,5	> 0,015	0,0105	0,0104	OK

Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Passando para a metodologia proposta, é analisado o desempenho da subestação em relação aos distúrbios harmônicos.

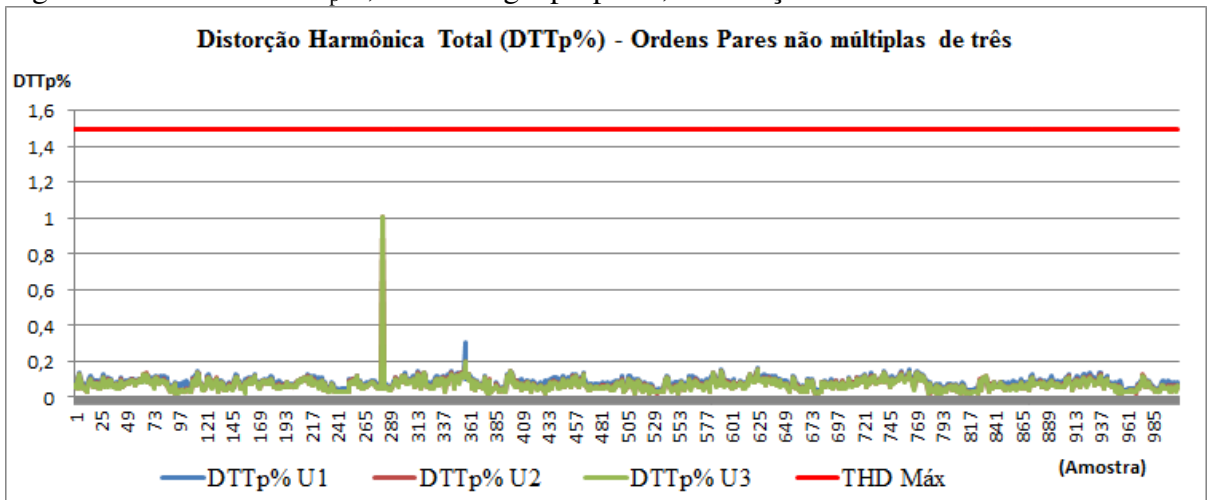
As Figuras 25, 26 e 27 mostram os resultados obtidos das distorções totais de tensão, nas 1008 amostras, separadas nos três subgrupos propostos, ordens ímpares não múltiplas de três, ordens pares não múltiplas de três e ordens múltiplas de três, respectivamente. Bem como, cada gráfico indica o valor limite.

Figura 25 – Gráfico DTT_i%, metodologia proposta, subestação 2



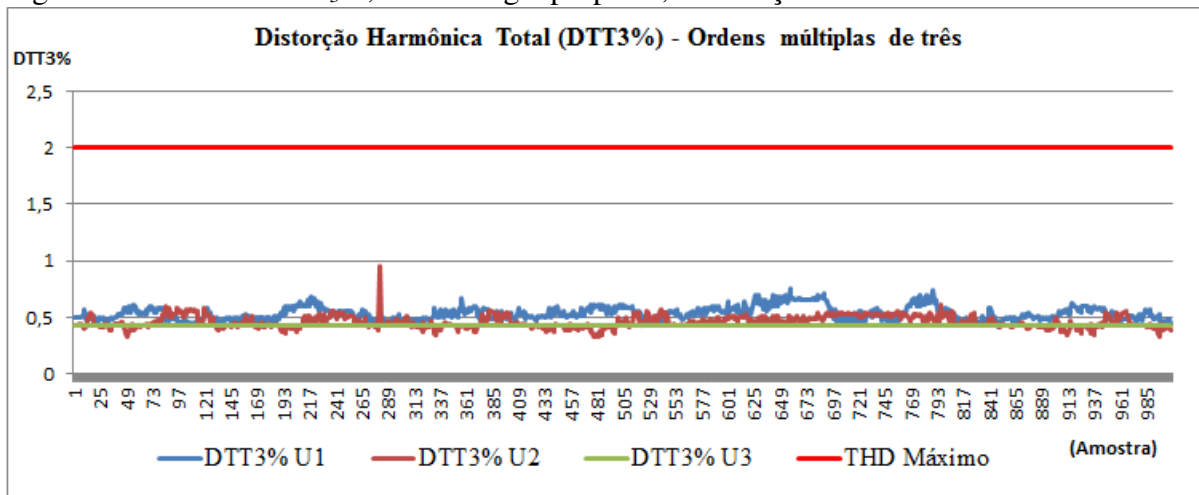
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 26 – Gráfico DTT_p%, metodologia proposta, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 27 – Gráfico DTT₃%, metodologia proposta, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Os gráficos, apresentados nas Figuras 25, 26 e 27, não mostram nenhuma transgressão, ao longo do período observado. As apurações dos indicadores de distorção harmônica, de acordo com a metodologia proposta, são apresentadas no Quadro 6, assim como a avaliação de tais indicadores em relação ao valor limite.

Quadro 6 – Indicadores distorção harmônica, metodologia proposta, subestação 2

Indicadores Distorção Harmônica					
Indicador	Tensão entre 1 kV e 69 kV				
	Valor Limite (%)	Valor Medido			Avaliação
		U1	U2	U3	
DTT95%	6	3,6377	3,3169	3,3183	OK
DTTp95%	1,5	0,1274	0,1179	0,1146	OK
DTTi95%	5	3,5952	3,2799	3,2819	OK
DTT ₃ 95%	2	0,6590	0,5426	0,5430	OK

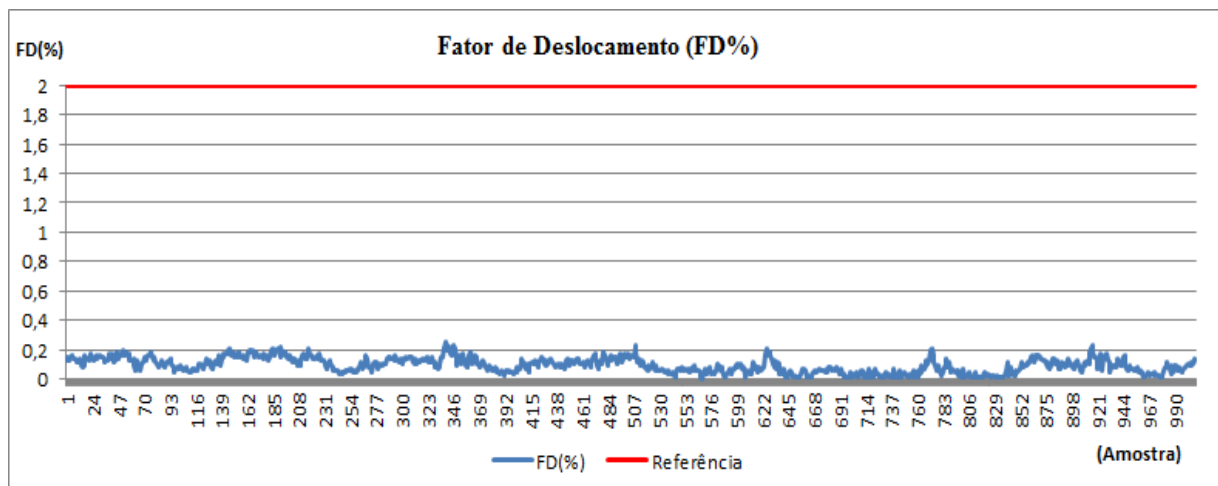
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

A partir dos resultados mostrados no Quadro 6, não houve transgressão de nenhum indicador da metodologia proposta.

6.1.2.3 Desequilíbrio de Tensão

A seguir, a Figura 28 apresenta a distribuição dos valores do indicador de desequilíbrio de tensão, FD%, ao longo da semana de medições, assim como destaca o valor de referência, condizente com a metodologia vigente.

Figura 28 – Gráfico fator de deslocamento, 1008 amostras, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Como observado na Figura 28, os valores apurados de FD% se mantiveram abaixo do nível de referência, atendendo por tanto a norma vigente.

Em relação a metodologia proposta, a seguir, na Tabela 13, é apurado o indicador FD95% e apresentada a conclusão, a partir da comparação com o valor limite.

Tabela 13 – Desequilíbrio de tensão, metodologia proposta, subestação 2

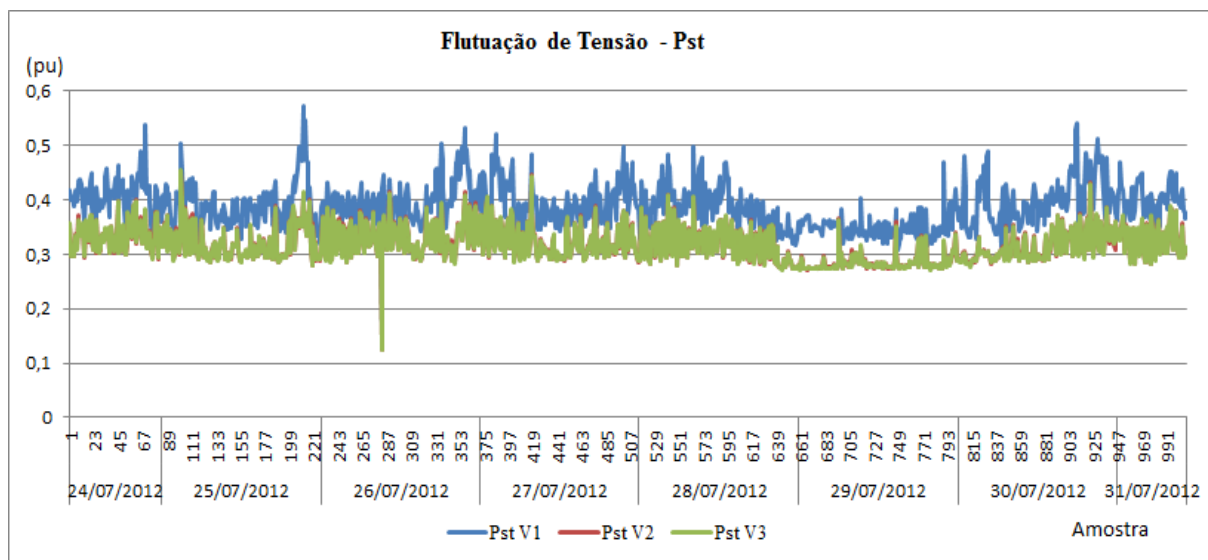
Indicador	Medido	Limite	Conclusão
FD95%	0,1768 %	2,00%	OK

Desta forma, para a subestação 2, conclui-se que esta respeitando tanto a metodologia proposta quanto a vigente, para o fenômeno de desequilíbrio de tensão.

6.1.2.4 Flutuação de Tensão

Para iniciar as análises relativas a flutuação de tensão, a Figura 29 apresenta o gráfico da distribuição do Pst ao longo da semana observada, totalizando as 1008 amostras.

Figura 29 – Gráfico flutuação de tensão Pst, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Sob o aspecto da metodologia vigente é realizada a apuração do indicador PstD95%, para verificar a performance da subestação relativa ao distúrbio de flutuação de tensão.

A Tabela 14 mostra o resultado da aplicação do Percentil 95%, nos Pst medidos, ao longo de um dia de medição, separando por fase. Na última coluna é destacado o maior valor dentre as três fases.

Tabela 14 – Percentil 95% diário Pst, subestação 2

Dia	PstD95% V1	PstD95% V2	PstD95% V3	Máximo
1	0,4496	0,3788	0,381	0,4496
2	0,4712	0,3788	0,3778	0,4712
3	0,4836	0,3886	0,3876	0,4836
4	0,4652	0,3774	0,3766	0,4652
5	0,4186	0,352	0,3536	0,4186
6	0,4328	0,33	0,33	0,4328
7	0,4776	0,37215	0,37145	0,4776

Para análise do indicador PstD95%, é realizado o mesmo procedimento, detalhado na subestação 1. O maior valor, dentre os apresentados na Tabela 14, é de 0,4836, obtido no terceiro dia de medição.

Como a tensão nominal desta subestação é de 11,4 kV, o fator de transferência também é unitário, com isso, o valor limite para a faixa considera como adequada, para o indicador PstD95%, é de 1pu. Por tanto, mediante ao maior valor obtido, na Tabela 14, ser 0,4836, conclui-se que não há transgressão e o indicador encontra-se dentro da faixa adequada.

Partindo para a análise da metodologia proposta, é apurado o indicador Pst95%, cuja abrangência deixa de ser diária e passa a ser semanal. O resultado é apresentado na Tabela 15. O limite proposto é de 1,5 pu, por essa razão, pode-se dizer que o indicador não foi transgredido.

Tabela 15 – Indicador Pst95%, metodologia proposta, subestação 2

Pst95%		
V1	V2	V3
0,468	0,37265	0,37265

6.1.2.5 Variação de Tensão de Curta Duração

A medição da subestação 2, de perfil predominantemente industrial, foi aproveitada de uma campanha de medição, realizada pela CPFL, no ano de 2012, e na ocasião de tal

medição, o analisador de qualidade energia não foi programado para registrar afundamentos ou elevações de tensão, com períodos relativos as VTCD's.

6.1.3 Subestação 3 – Perfil Rural

A seguir são exibidos os resultados obtidos, na subestação 3, cujo perfil de carga é predominantemente rural, para os fenômenos: nível de tensão em regime permanente, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e VTCD.

A Figura 30 apresenta uma fotografia da subestação e do equipamento analisador de qualidade de energia, instalado no painel da subestação 3.

Figura 30 – Instalação medidor no painel subestação 3

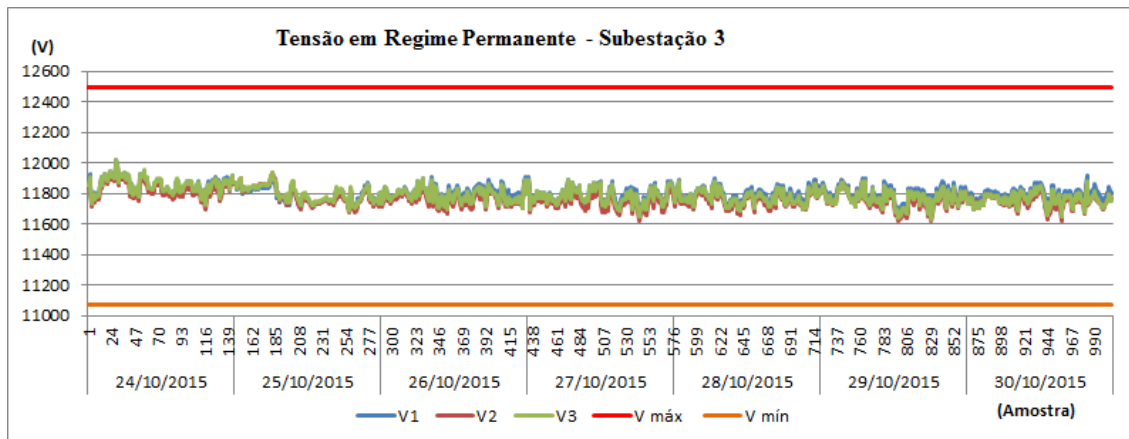


Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

6.1.3.1 Tensão em Regime Permanente

Para iniciar a análise da terceira e última subestação, com perfil rural, a Figura 31 apresenta o gráfico com medições de tensão, em regime permanente, ao longo de sete dias consecutivos, totalizando 1008 amostras, bem como indica o limite superior e inferior.

Figura 31 – Gráfico nível de tensão permanente, subestação 3



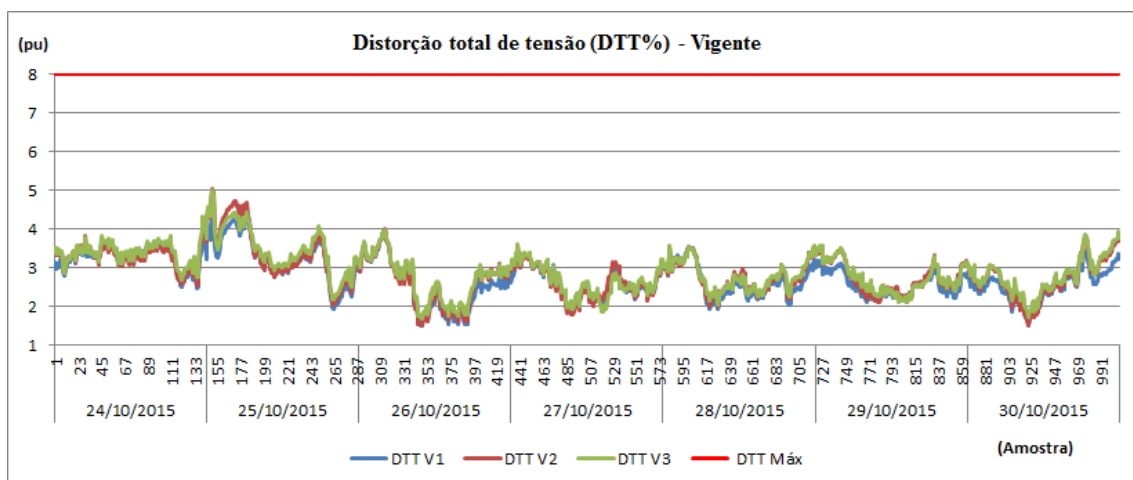
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Através da análise do gráfico, apresentado na Figura 31, é possível concluir que não houve transgressão aos limites superior e inferior, para tensão em regime permanente, ao longo do período observado.

6.1.3.2 Distorções Harmônicas

A seguir são apresentados os resultados para distorção harmônica, obtidos na subestação 3. Sob o enfoque da metodologia vigente, a Figura 32 apresenta o resultado da DDT%, obtida no decorrer de uma semana, ou seja, nos 1008 pontos de amostra, assim como indica o nível de referência previsto na metodologia vigente.

Figura 32 – Distorção harmônica total (DDT%) metodologia vigente, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

De acordo com o gráfico de DTT%, da Figura 32, nenhuma amostra superou o valor de referência estabelecido. Portanto esta subestação encontra-se em conformidade com a metodologia vigente.

Ainda em relação a norma vigente, o Quadro 7 apresenta os valores apurados por ordem harmônica, assim como os respectivos valores de referencia.

Quadro 7 – Distorção harmônica individual, metodologia vigente, subestação 3

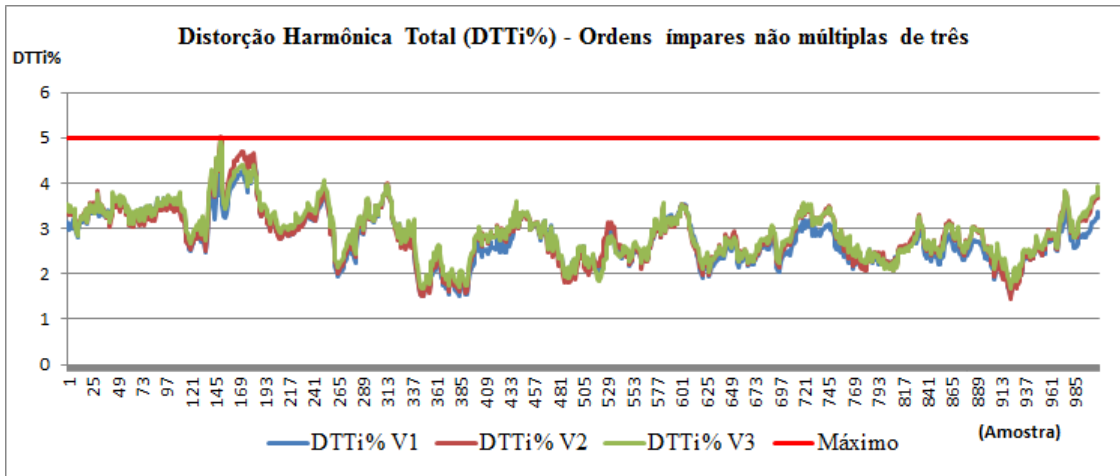
Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão (%)					Avaliação
	Nível de tensão entre 1kV e 69kV					
	Ordem	Valor de Referência	Valor Medido			
V1			V2	V3		
Ímpares não múltiplas de três	5	6	2,619	2,731	2,785	OK
	7	5	0,744	0,707	0,705	OK
	11	3,5	0,145	0,132	0,154	OK
	13	3	0,141	0,13	0,153	OK
	17	2	0,044	0,041	0,045	OK
	19	1,5	0,018	0,021	0,025	OK
	23	1,5	0,017	0,014	0,012	OK
	25	1,5	0,011	0,01	0,011	OK
>25	1	0	0	0	OK	
Ímpares múltiplas de três	3	5	0,123	0,292	0,357	OK
	9	1,5	0,03	0,02	0,03	OK
	15	0,5	0,02	0,015	0,016	OK
	21	0,5	0,0104	0,009	0,011	OK
	>21	0,5	0	0	0	OK
Pares	2	2	0,061	0,059	0,058	OK
	4	1	0,036	0,034	0,033	OK
	6	0,5	0,039	0,034	0,043	OK
	8	0,5	0,025	0,024	0,018	OK
	10	0,5	0,012	0,011	0,012	OK
	12	0,5	0,013	0,013	0,014	OK
	>12	0,5	0,028	0,034	0,032	OK

Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

A diante, são apresentadas as análises referentes a metodologia proposta, para os distúrbios harmônicos.

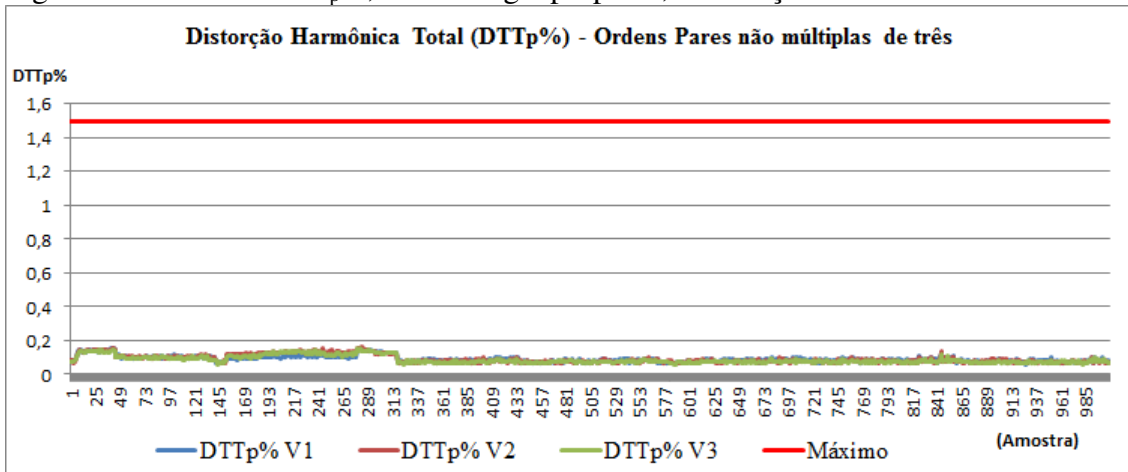
As Figuras 33, 34 e 35 mostram os resultados obtidos das distorções totais de tensão, nas 1008 amostras, separadas nos três subgrupos propostos. Bem como, cada gráfico, indica o valor limite do respectivo indicador.

Figura 33 – Gráfico $DTT_i\%$, metodologia proposta, subestação 3



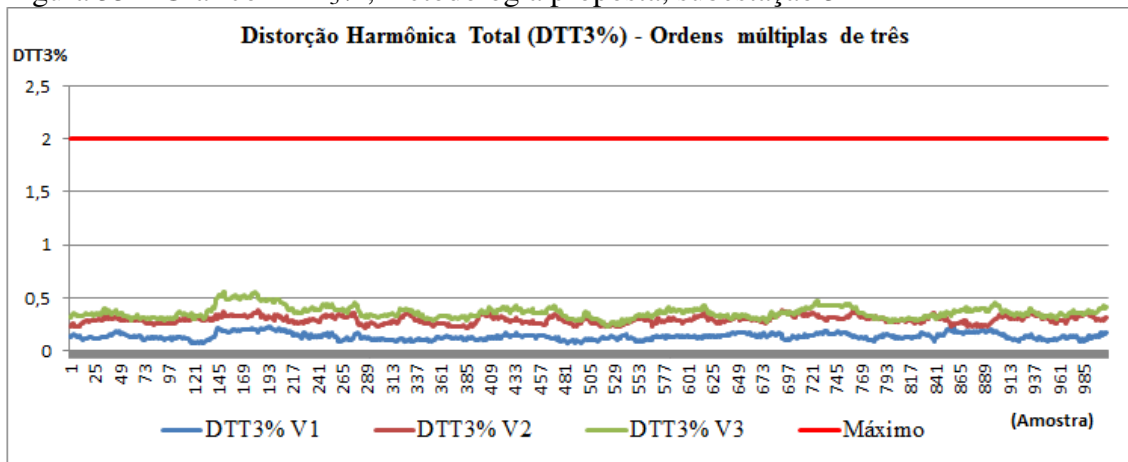
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 34 – Gráfico $DTT_p\%$, metodologia proposta, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 35 – Gráfico $DTT_3\%$, metodologia proposta, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Para distorção harmônica de ordem ímpar não múltipla de três, em sua distribuição, apresentou somente um ponto de transgressão, como pode ser observado no respectivo gráfico, da Figura 33. Todavia, os outros indicadores encontram-se dentro do limite, conforme ilustram os gráficos das Figuras 34 e 35, ao longo do período observado.

As apurações dos indicadores de distorção harmônica, de acordo com a metodologia proposta, são apresentadas no Quadro 8, assim como a avaliação de tais indicadores em relação ao valor limite.

Quadro 8 – Indicadores distorção harmônica, metodologia proposta, subestação 3

Indicadores Distorção Harmônica					
Indicador	Tensão entre 1 kV e 69 kV				
	Valor Limite (%)	Valor Medido			Avaliação
		V1	V2	V3	
DTT _{95%}	6	3,68	3,78	3,85	OK
DTT _{p95%}	1,5	0,13	0,14	0,13	OK
DTT _{i95%}	5	3,67	3,77	3,82	OK
DTT _{395%}	4	0,1900	0,35	0,4800	OK

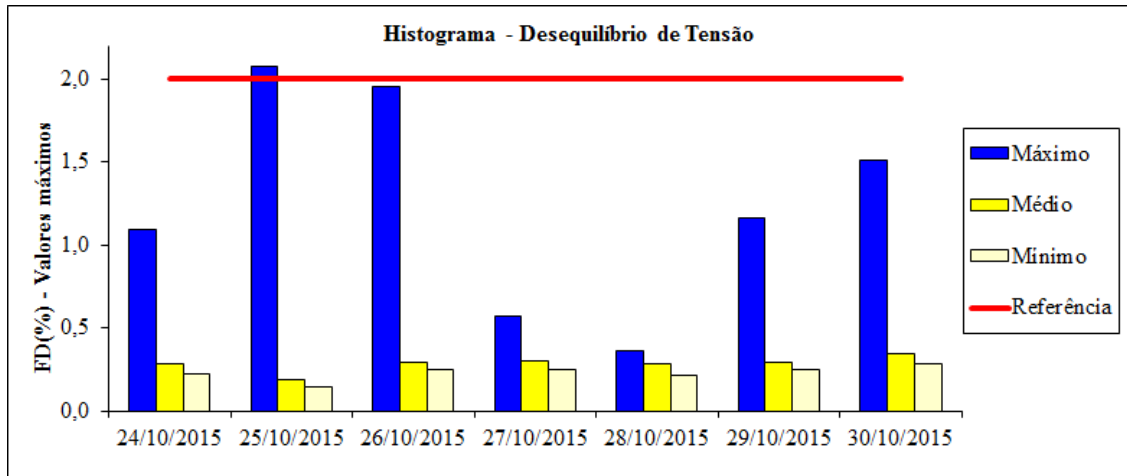
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Conforme apresentado no Quadro 8, apesar da distribuição do DTT_{i%} ter indicado um ponto de transgressão, com a aplicação do Percentil 95% na apuração do indicador, este ponto foi absorvido e não existe transgressão do indicador ao limite estabelecido.

6.1.3.3 Desequilíbrio de Tensão

A Figura 36 apresenta um histograma do desequilíbrio de tensão, apurado ao longo dos sete dias de medição. O analisador de qualidade de energia, utilizado nesta subestação, registra, a cada amostra, o valor máximo, médio e mínimo medido no decorrer dos dez minutos. O histograma apresenta, por dia, o maior valor dentre as respectivas amostras, por categoria (máximo, médio e mínimo).

Figura 36 – Gráfico fator de deslocamento, 1008 amostras, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Para a metodologia vigente, o valor de referência do indicador FD%, nos barramentos do sistema de distribuição, é de 2%, conforme indica o traçado vermelho da Figura 36. No dia 25/10/2015, o analisador registrou ao menos uma transgressão, valor máximo, e no dia seguinte, ocorreu uma aproximação semelhante.

No cenário proposto, é aplicado o Percentil 95%, cujo resultado é apresentado na Tabela 16, junto ao seu valor limite, estabelecido para o nível de tensão entre 1,0 kV e 69 kV, e, por último, a avaliação relativa a conformidade.

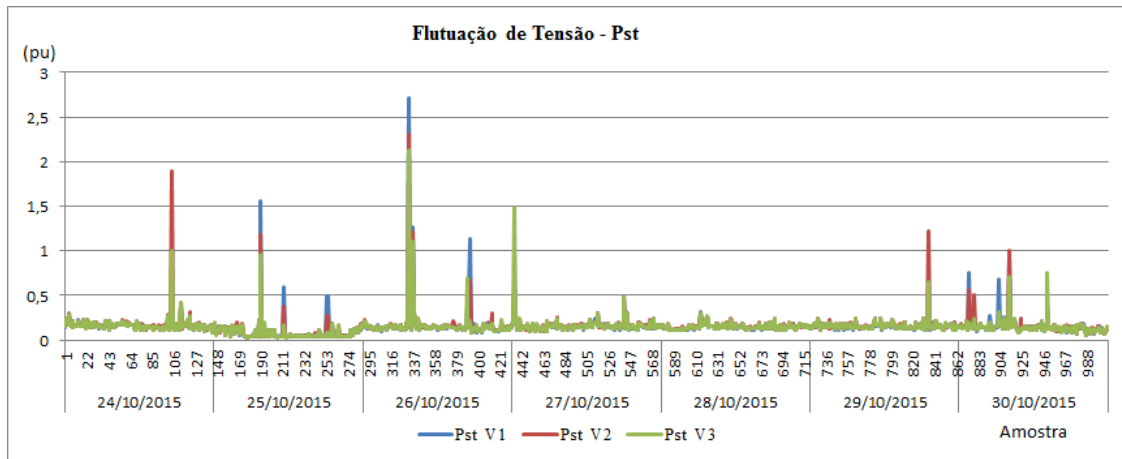
Tabela 16 – Desequilíbrio de tensão, metodologia proposta, subestação 3

FD95%	Limite (%)	Avaliação
0,27	2	OK

6.1.3.4 Flutuação de Tensão

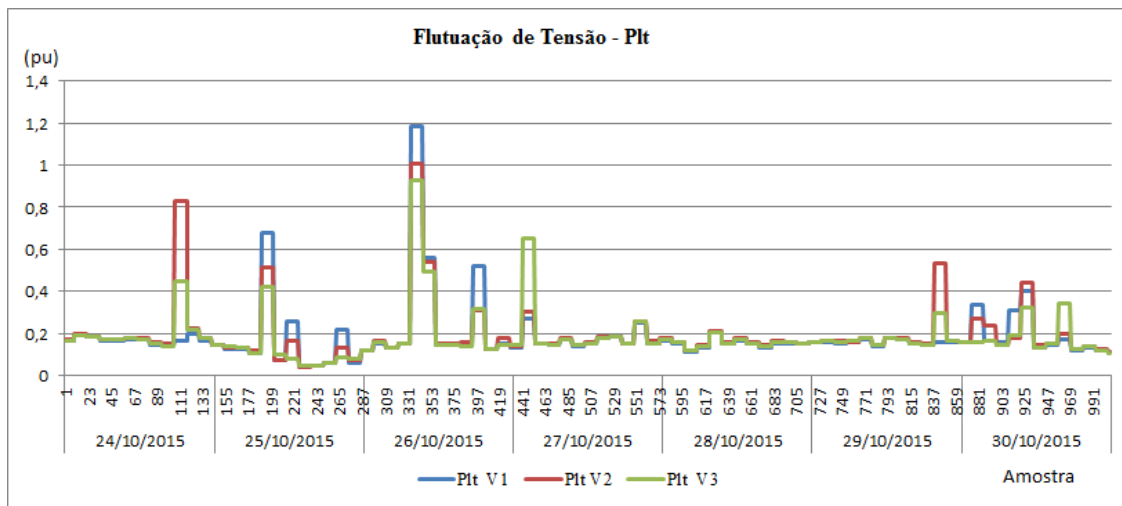
A Figura 37 apresenta o gráfico de distribuição do Pst ao longo da semana observada, totalizando as 1008 amostras. Enquanto que, o gráfico apresentado na Figura 38 mostra a distribuição do Plt, no mesmo período.

Figura 37 – Gráfico flutuação de tensão Pst, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 38 – Gráfico flutuação de tensão Plt, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

No aspecto da metodologia vigente, a apuração do indicador PstD95% é mostrada na Tabela 17 e na última coluna é destacado o maior valor dentre as três fases.

Tabela 17 – Percentil 95% diário Pst, subestação 3

Dia	PstD95% V1	PstD95% V2	PstD95% V3	Máximo
1	0,2276	0,2282	0,2278	0,2282
2	0,175	0,178	0,1706	0,178
3	0,2214	0,2258	0,2224	0,2258
4	0,2358	0,238	0,2392	0,2392
5	0,1916	0,1986	0,197	0,1986
6	0,2024	0,2324	0,2188	0,2324
7	0,225	0,2262	0,2112	0,2262

Para o indicador PstD95%, é realizado o mesmo procedimento, detalhado na subestação 1. O maior valor, dentre os apresentados na Tabela 17, é de 0,2392, obtido no quarto dia de medição.

Como a tensão nominal da subestação 3 é de 11,9 kV, fator de transferência é unitário. O limite do indicador PstD95%. é, portanto, de 1 pu, para a faixa de operação adequada. Mediante ao maior valor obtido, na Tabela 17, conclui-se que não há transgressão.

A Tabela 18 apresenta o resultado da apuração do indicador PltS95%, ainda em relação a metodologia vigente. Pelos valores apresentados não existe transgressão ao referido indicador.

Tabela 18 – Indicador PltS95%, metodologia vigente, subestação 3

Plt95%		
V1	V2	V3
0,405	0,515	0,423

Na metodologia proposta, o indicador é o Pst95%, o qual considera a amostra semanal. O resultado é apresentado na Tabela 19 e seu limite é de 1,5 pu, por essa razão, observa-se que o indicador não foi transgredido.

Tabela 19 – Indicador Pst95%, metodologia proposta, subestação 3

Pst95%		
V1	V2	V3
0,2213	0,22565	0,21865

6.1.3.5 Variação de Tensão de Curta Duração

Na subestação 3 houve mais registros de VTCD's, no decorrer do período analisado, de trinta dias consecutivos. O Quadro 9 apresenta a distribuição das ocorrências, no padrão da estratificação da metodologia proposta.

Quadro 9 – Estratificação VTCD, metodologia proposta, subestação 3

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67ms-100ms]	(100ms-300ms]	(300ms-600ms]	(600ms-1seg]	(1seg-3seg]	(3seg-1min]	(1min-3min]
(1,15 - 1,20]							
(1,10 - 1,15]							
(0,85 - 0,90]							
(0,80 - 0,85]							
(0,70 - 0,80]	4	1					
(0,60 - 0,70]		1	1	7	2		
(0,50 - 0,60]							
(0,40 - 0,50]	2	1					
(0,30 - 0,40]	2						
(0,20 - 0,30]							
(0,10 - 0,20]							
< 0,10	1					3	

Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

A equação (15) mostra o calculo realizado para obtenção do indicador FI, sendo o FI_{base} , para a classe de tensão analisada, de 2,13.

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^L (f_{ei} \cdot fp_i)}{FI_{base}} \quad (15)$$

$$FI = \frac{0,16 + 0,14 + 0,6 + 0,75 + 4,32}{2,13} = \frac{5,97}{2,13} = 2,803 \text{ pu}$$

Senso o valor limite para o indicador FI de 1 pu, o resultado da equação (15) indica que houve transgressão para esse fenômeno, sob a ótica da metodologia proposta.

6.2 ANÁLISES COMPARATIVAS

Nesta seção são realizadas análises comparativas, tanto entre as versões PRODIST, estudadas neste trabalho, quanto em relação aos diferentes perfis de carga, tendo como base os dados obtidos nas medições de qualidade de energia, nas três subestações.

6.2.1 Análise comparativa entre versões

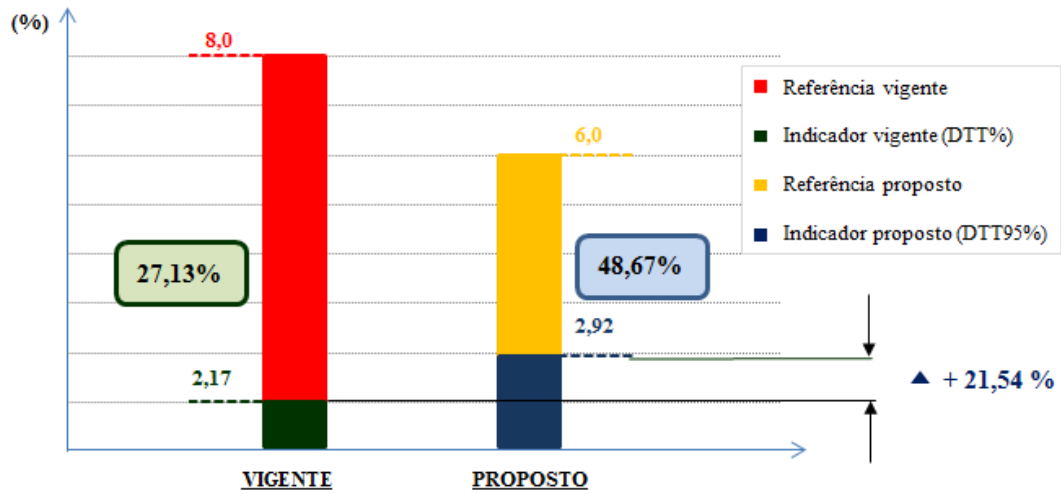
Por meio dos indicadores da qualidade do produto apurados, na seção anterior, a seguir é apresentada a análise comparativa entre os resultados obtidos, sob as óticas da versão vigente e proposta, do PRODIST.

Para dar início as comparações, as Figura 39, 40 e 41 apresentam os indicadores de distúrbios harmônicos, apurados nas subestações 1, 2 e 3, respectivamente, tanto pela metodologia proposta, quanto pela vigente.

Como pode-se observar nos gráficos, das Figuras 39, 40 e 41, além do limite proposto ser mais restritivo, do que o nível de referência, estabelecido na norma vigente, a metodologia proposta para a apuração dos indicadores também proporcionou um aumento de seu valor.

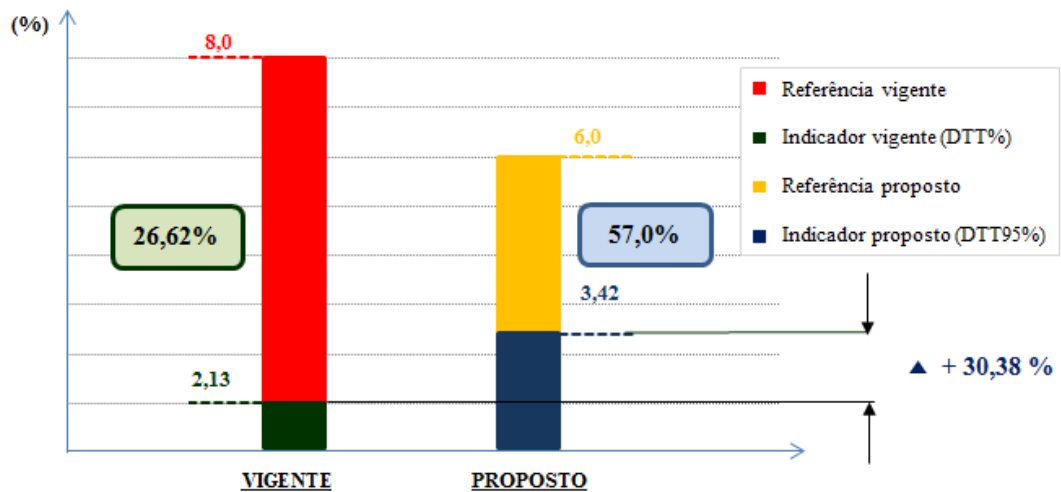
Ou seja, desta forma, é possível concluir que a metodologia proposta, para os distúrbios harmônicos, é mais rigorosa do que a atual metodologia, em vista do aumento, em relação ao valor de referência vigente, de 21,54%, 30,38% e 25,99%, nas subestações 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 39 – Comparativo de metodologias para o distúrbios harmônicos, subestação 1



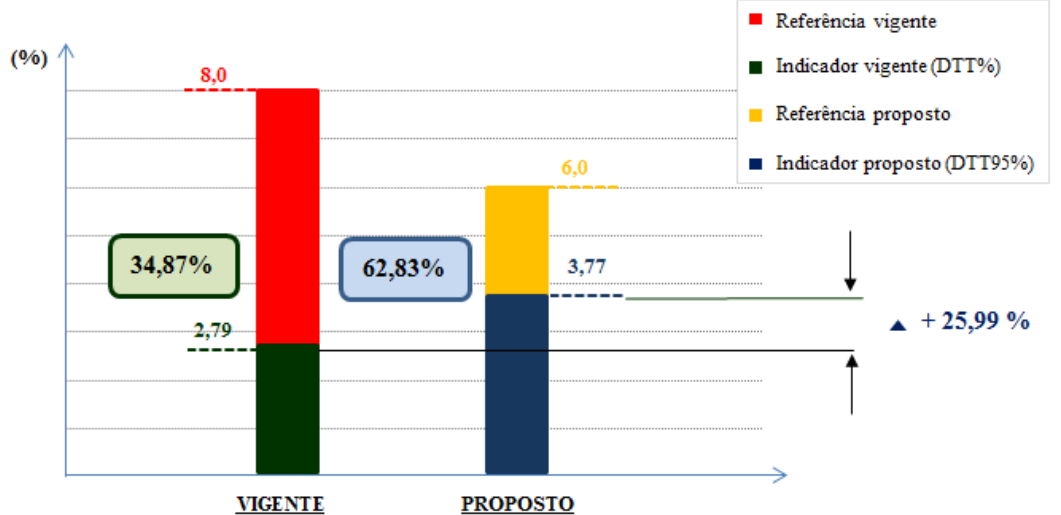
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 40 – Comparativo de metodologias para o distúrbios harmônicos, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 41 – Comparativo de metodologias para o distúrbios harmônicos, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

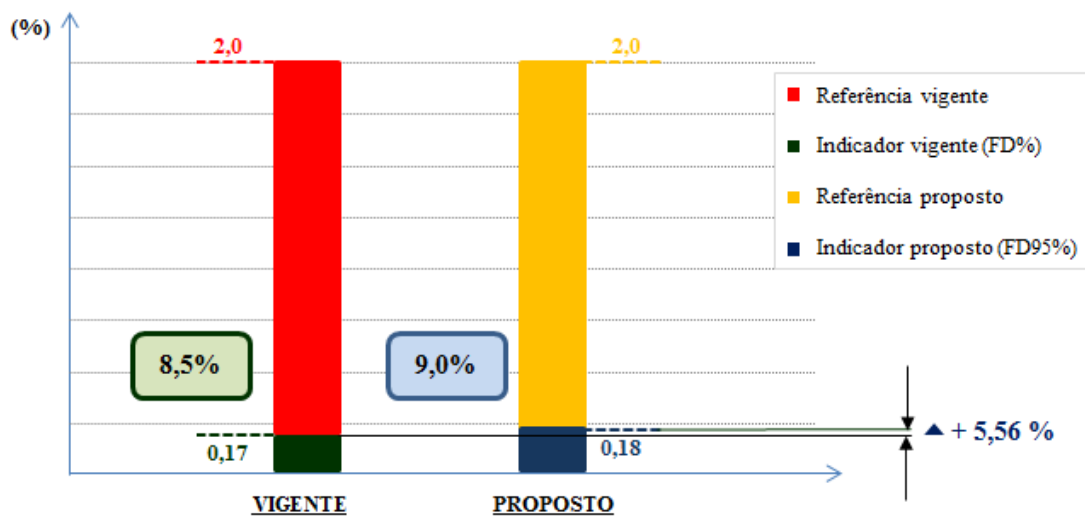
Para o fenômeno de desequilíbrio de tensão, as Figura 42, 43 e 44 apresentam os indicadores das subestações 1, 2 e 3, respectivamente, apurados tanto pela metodologia vigente quanto proposta.

Como pode ser observado na Figura 42, a maneira de apuração proposta, do indicador FD%, implicou em um aumento de 5,56% em relação a metodologia vigente. Entretanto, para a subestação 2, como verifica-se na Figura 43, houve uma queda de 30,6% em relação ao vigente, indicando uma flexibilização, neste caso. A subestação 3 seguiu o padrão da subestação 2, com apresentando uma queda de 20,6%.

Esta divergência pode ser entendida pelo conceito do Percentil 95%, utilizado na metodologia proposta, o qual tem como objetivo excluir 5% dos valores mais altos, eliminando assim ocorrências altas e momentâneas. A subestação 1 por apresentar menos eventos desta natureza, o Percentil se aproximou da média.

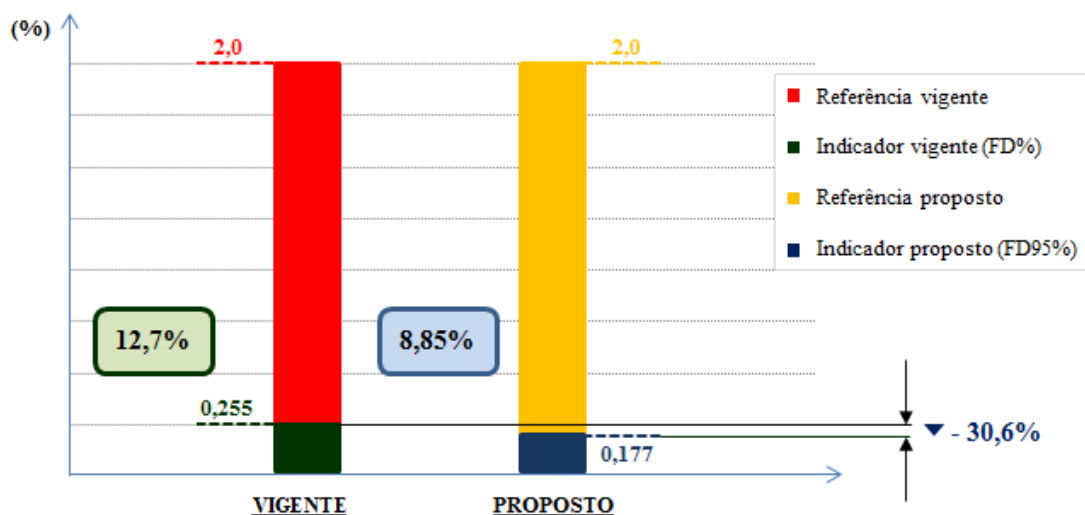
Por tanto, para o desequilíbrio de tensão, a partir desta comparação, pode-se concluir que houve manutenção ou flexibilização, da tratativa do fenômeno, na metodologia proposta do PRODIST.

Figura 42 – Comparativo de metodologias para o FD%, subestação 1



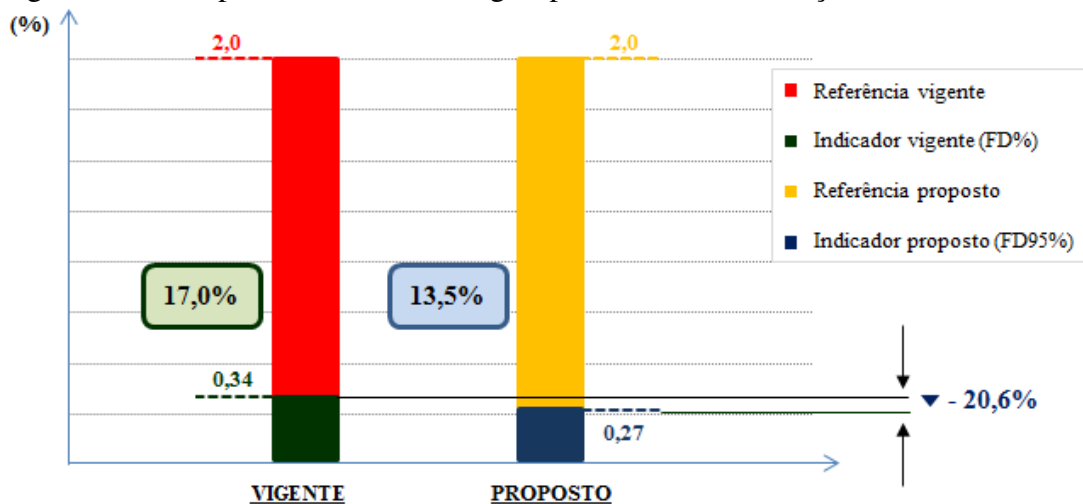
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 43 – Comparativo de metodologias para o FD%, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 44 – Comparativo de metodologias para o FD%, subestação 3

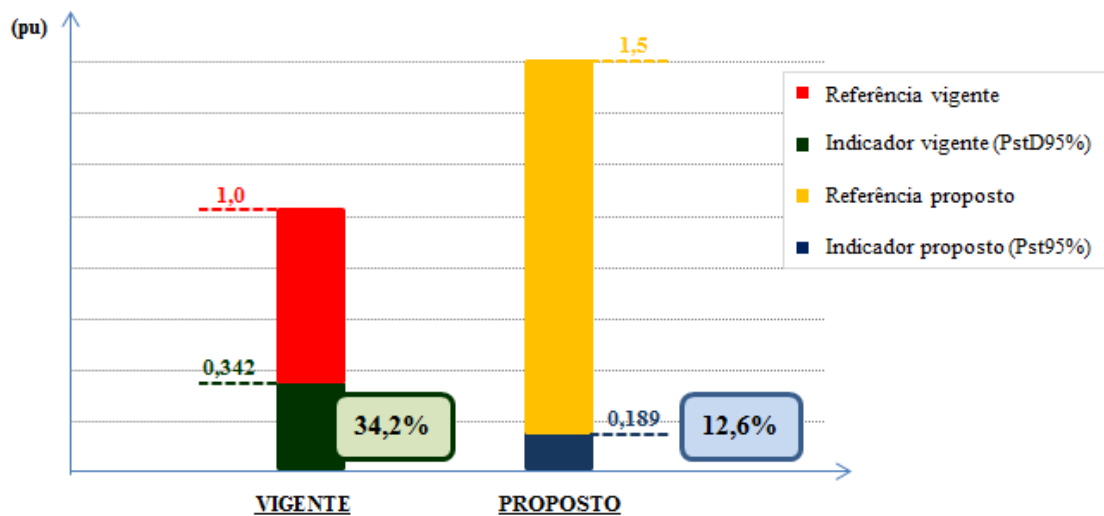


Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Com relação ao fenômeno de flutuação de tensão, as Figura 45, 46 e 47 apresentam um comparativo gráfico dos indicadores, obtidos de acordo com ambas as metodologias estudadas, para as subestações 1, 2 e 3, respectivamente.

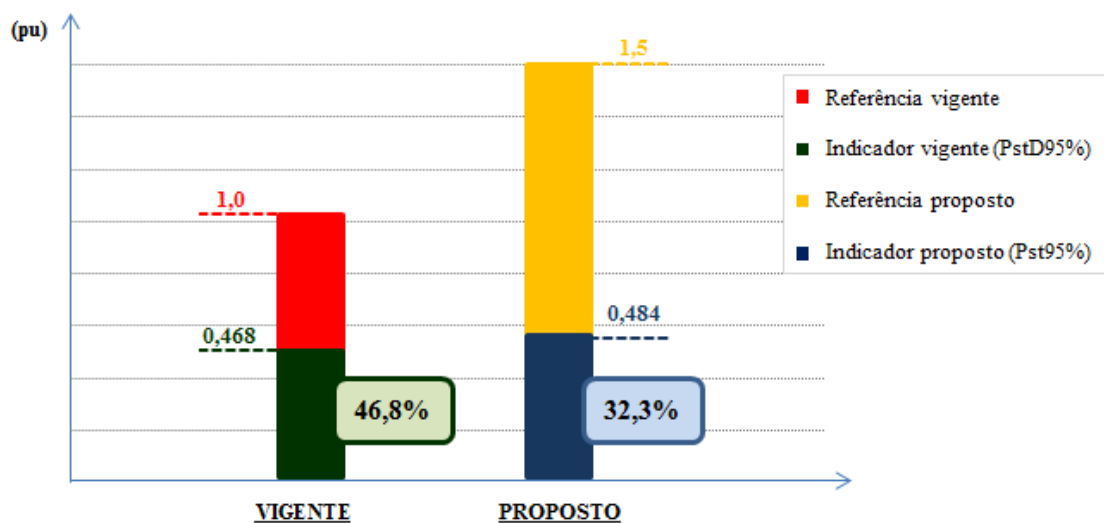
Em todos os casos, a combinação do aumento do limite, de 1,0 pu para 1,5 pu e utilização do intervalo de sete dias, em detrimento de um dia, para aplicação do Percentil 95%, culminou em uma flexibilização da metodologia proposta, em relação a vigente.

Figura 45 – Comparativo de metodologias para o Pst, subestação 1



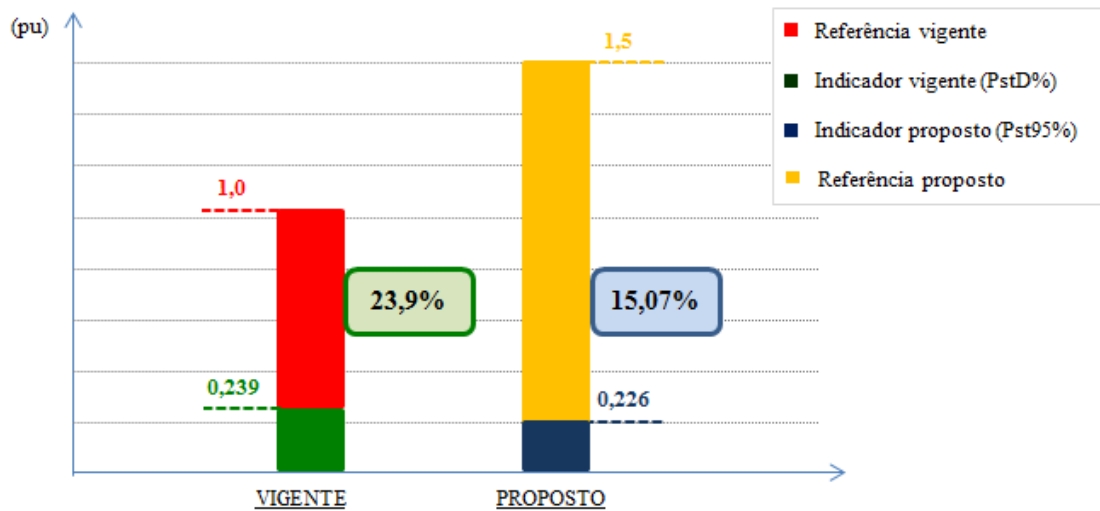
Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 46 – Comparativo de metodologias para o Pst, subestação 2



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Figura 47 – Comparativo de metodologias para o Pst, subestação 3



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Com relação ao VTCD, como na metodologia vigente não se previa um indicador e a proposta o introduz e estabelece limite, naturalmente houve um aprimoramento na tratativa deste fenômeno e consequente severização da regulamentação.

A partir das comparações estabelecidas anteriormente, a metodologia proposta, de revisão do PRODIST, não segue a mesma linha de mudança para todos os fenômenos de qualidade de energia elétrica, no tocante ao aumento ou diminuição das exigências sobre os indicadores, uma vez que alguns sofreram flexibilização do valor limite em relação a referência da norma vigente.

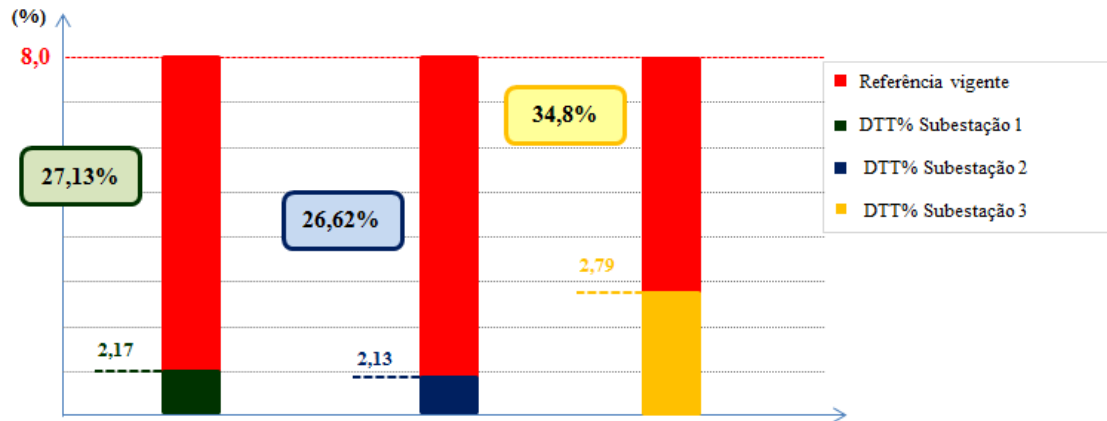
6.2.2 Análise comparativa perfis de carga

A análise a seguir tem como foco a comparação entre os perfis de carga, residencial urbano, rural e industrial, de modo a destacar suas particularidades, em relação aos fenômenos apurados da qualidade do produto.

Como ferramenta para esta comparação, também são utilizados os indicadores obtidos no capítulo anterior, para todas as perturbações abordadas, todavia, considera-se a ótica da versão vigente do PRODIST, uma vez que o foco são as diferenças entre as cargas e a versão proposta ainda não esta fechada, até o momento da conclusão deste trabalho.

Em relação a distorção harmônica, a Figura 48 compara graficamente, os indicadores DTT%, apurados para este fenômeno, nas três subestações estudadas. A subestação de perfil rural apresentou maior DTT%, seguida pela residencial e industrial, nesta ordem, sendo que as duas últimas estão bem próximas.

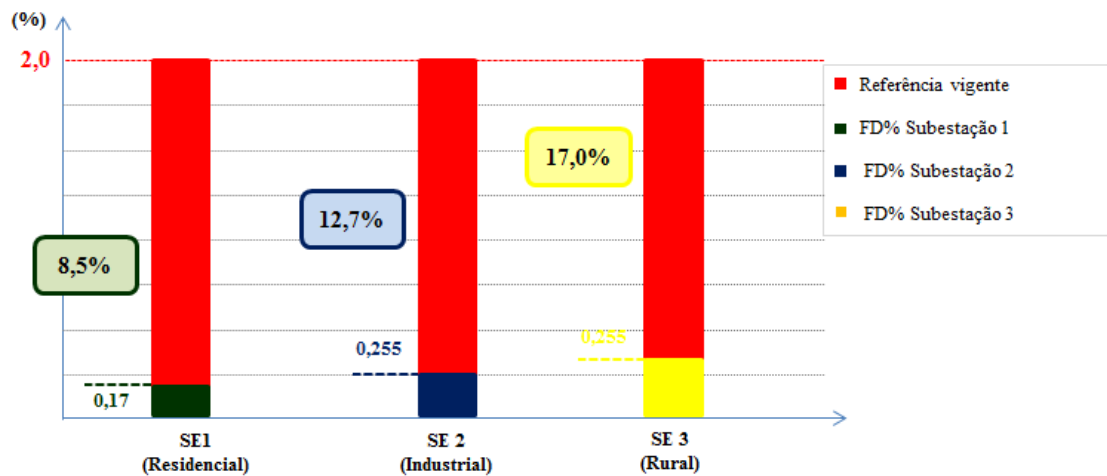
Figura 48 – Comparativo entre subestações distorções harmônicas



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Sob o ponto de vista do desequilíbrio de tensão, a Figura 49, compara o desempenho das três subestações e como pode ser visto, a o perfil rural apresentou maior expressão neste fenômeno, sendo seguida pela industrial e residencial, nesta sequência.

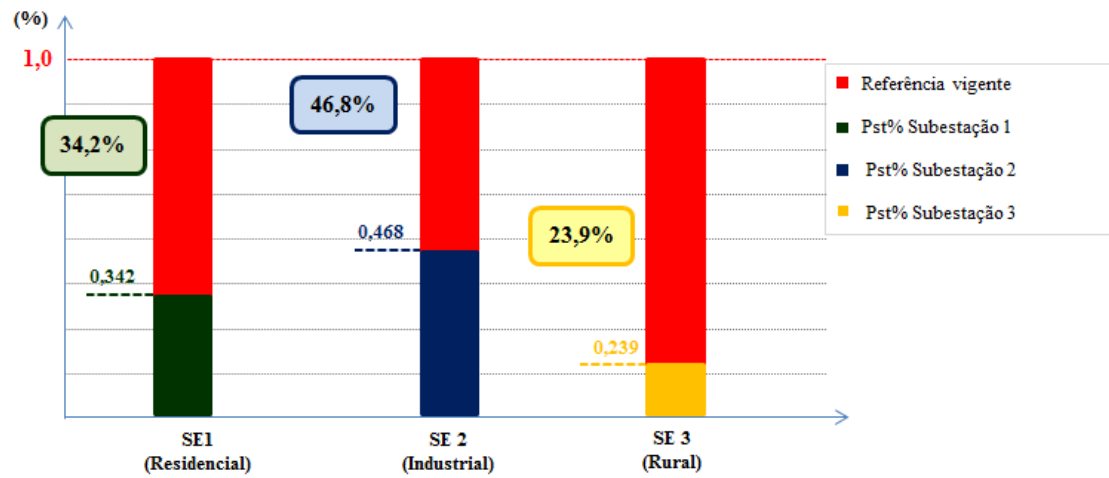
Figura 49 – Comparativo entre subestações desequilíbrio de tensão



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Em relação a flutuação de tensão, o gráfico da Figura 50 ilustra o comportamento das subestações de acordo com esse fenômeno. O perfil de carga industrial apresentou maior nível de flutuação de tensão, mediante a comparação dos PstD%, em segundo lugar esta o perfil residencial, e, por último, a carga predominantemente rural.

Figura 50 – Comparativo entre subestações flutuação de tensão



Fonte: (VENDRAMETO, 2015)

Com relação aos distúrbios classificados como VTCD, a subestação 3, com perfil rural, apresentou grande incidência de afundamentos de tensão, enquanto na subestação 1 (perfil residencial urbano), o indicador apurado respeitou os limites e apresentou magnitude inexpressiva frente a subestação 3.

7 CONCLUSÕES

A primeira versão do Módulo 8 do PRODIST, lançada no ano de 2008, em seu Submódulo 8.1 de qualidade do produto, além de incorporar, da Resolução 505, toda tratativa sobre tensão em regime permanente, inaugura, na norma brasileira, a regulamentação para os fenômenos associados a deformação da forma de onda de tensão.

O Módulo 8 do PRODIST passou por diversas revisões, nas quais desenvolveu-se o Submódulo 8.2, relativo a qualidade do serviço, e, em relação a qualidade do produto, Submódulo 8.1, consolidou-se o processo de análise da tensão em regime permanente, enquanto que, os demais fenômenos, mantiveram-se inalterados.

No ano de 2014, por meio da consulta pública nº 018/2014, pela primeira vez são propostas mudanças na regulamentação desses outros fenômenos da qualidade do produto. Dentre as mudanças propostas, basicamente, são estabelecidos indicadores, valores limites a serem respeitados e formas de acompanhamento.

A proposta deste trabalho foi analisar perturbações de qualidade de energia elétrica, em sistemas de distribuição, e verificar a aderência a versão vigente do Módulo 8 do PRODIST, assim como para as tendências regulatórias, trazidas pela consulta pública nº 018/2014, a qual propõe uma revisão da referida norma.

Foram realizados estudos de caso, em três subestações de distribuição de energia, cada qual com um perfil de carga predominante, sendo eles: residencial urbano, rural e industrial. Em cada local foi instalado um analisador de qualidade de energia elétrica, cujos resultados das medições serviram como insumo para as análises.

Em posse dos dados, levantados no período de medição, foram apurados os indicadores de qualidade de energia elétrica, para os fenômenos de distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e VTCD, tanto seguindo a metodologia vigente do PRODIST, como a metodologia proposta.

Sob a ótica da metodologia vigente, todos os indicadores calculados estão em conformidade, por tanto, nas três subestações, a norma vigente foi respeitada. Enquanto que, para a metodologia proposta, houve transgressão somente na subestação 3, cujo perfil de carga é rural, e em relação ao distúrbio VTCD.

Por meio da análise comparativa entre as duas metodologias, foi possível identificar situações em que a proposta é mais flexível ou rígida, em relação ao padrão em vigor, utilizado como referência desde 2008.

Para distorções harmônicas de tensão, a metodologia proposta tornou-se mais severa, sob dois aspectos, tanto por apresentar um nível limite menor para DTT%, passando de 8 para 6, quanto pela forma de apuração do indicador, a qual implicou em um aumento de sua magnitude.

Embora as distorções harmônicas individuais tenham sido abandonadas na regulamentação proposta, foram criados indicadores de DTT% de ordens harmônicas específicas, cujo agrupamento por ordem é semelhante ao utilizado na norma vigente, ou seja, ordens ímpares não múltiplas de três (DTT_i95%), ordens pares não múltiplas de três (DTT_p95%) e ordens múltiplas de três (DTT₃95%).

Mesmo se tratando de indicadores diferentes, é possível observar que os valores limites proposto são mais rigorosos do que os valores de referência, para cada uma das primeiras ordens de cada categoria. Na norma vigente, as ordens harmônicas 5 (ímpares não múltiplas de três), 3 (múltiplas de três) e 2 (pares), tem como referência respectivamente 6, 5 e 2, enquanto que para versão proposta, os limites de DTT_i95%, DTT₃95% e DTT_p95%, são 5, 4 e 1,5, respectivamente.

Além de que, o limite estabelecido para o indicador DTT₃95%, sofre uma queda de 50%, nos casos em que a topologia, dos transformadores de potencial, é delta aberto (*open leg*). Tal conexão de TP's é largamente utilizada, nas distribuidoras de energia elétrica, em razão da utilização de dois equipamentos, em detrimento de três, tornando menores os custos envolvidos na instalação e manutenção.

Para o desequilíbrio de tensão, por meio da análise comparativa estabelecida, verificou-se, nos casos estudados, uma manutenção ou flexibilização, em relação a norma vigente. Embora o valor limite seja igual ao de referência, a aplicação do percentil resultou em um indicador menor ou próximo ao vigente.

Nas subestações 1 e 3 foram identificados valores máximos, no período das medições, em que houve transgressão pontual ao valor limite, mesmo que tenham sido eliminadas na aplicação do percentil, por serem momentâneas, ainda assim podem representar solicitações elevadas aos equipamentos.

Para o fenômeno de flutuação de tensão houve flexibilização na metodologia proposta, tanto em razão do aumento de 50% do valor limite proposto, em relação a referência, quanto pela mudança da amostra de tempo usada na aplicação do percentil, para o cálculo do Pst, passando de diária para semanal. O caso mais evidente é o da subestação 1, em que o indicador proposto sofreu uma diminuição de 44,7%, em relação ao vigente.

Em relação a VTCD não é possível fazer comparativos entre indicadores, uma vez que na versão vigente não existia definição de nenhum indicador. Todavia, houve um evidente evolução regulatória para acompanhamento deste fenômeno, em vista da criação de um indicador, pelo estabelecimento de seu limite e proposta de implementação de um processo de reclamação, nos moldes do realizado hoje para nível de tensão em regime permanente.

Houve uma transgressão do FI para a subestação 3. Com o número de subestações analisadas, não é possível saber qual seria o impacto desta solicitação regulatória a distribuidora. Trata-se de uma situação mais delicada, uma vez que VTCD é igualado as exigências de outros fenômenos, mas sem passar pelo mesmo processo de consolidação.

Sem um indicador ou metodologia de análise previamente definidos, naturalmente, não é conhecido o desempenho do sistema em relação ao fenômeno, por parte da distribuidora, cabendo a ela, mediante a aprovação da metodologia proposta, avaliar seu produto entregue, mas sob o risco de sofrer sanções e desgaste frente aos seus clientes. Por essa razão seria fundamental um aprimoramento regulatório gradual, concedendo um tempo maior para o acerto e direcionamento de investimentos.

Outro ponto de atenção, em relação a proposta para VTCD, esta no estabelecimento de um valor mais significativo para o fator de ponderação, que abrange a região de atuação dos religadores, na tabela de estratificação, pois isso gera um impasse para a distribuidora, uma vez que este equipamento foi aplicado na rede como uma ação de melhoria da qualidade do serviço.

Neste caso, a comparação com o procedimento adotado para a qualidade do serviço é conveniente, pois a definição dos indicadores de continuidade esta bem consolidada no setor, mas mesmo assim passa por contínuo aprimoramento, além de apresentar limites diferentes entre as áreas de concessão, enquanto que, a qualidade do produto evoluiu de forma rápida e apresenta limites únicos. Desta forma, é prudente conceder um tempo para adequação as novas tendências, especialmente em relação a VTCD.

Por fim, mediante todos os resultados obtidos, nos estudos de caso, elaborados nesse trabalho, a maior parte dos indicadores estão em conformidade, indicando que a metodologia proposta pode não trazer muita demanda de correções do sistema, apesar dos custos envolvidos para a realização de campanhas de medição e equipe para análise e acompanhamento dos fenômenos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST – Procedimento de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – Módulo 8.** 6nd ed. Rio de Janeiro: ANEEL, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica nº 0105/2014-SRD/ANEEL.** [s.l.]: ANEEL, 2014. 24p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica nº 0029/2011-SRD/ANEEL: Revisão da Regulamentação sobre a Qualidade do Produto no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica.** Brasília: ANEEL, 2011. 41p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 024.** [s.l.]: ANEEL, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA **Resolução ANEEL nº 505.** [s.l.]: ANEEL, 2001.

ARAÚJO, R. J. P. **Otimização de Desempenho de Indicadores de Continuidade do Serviço em Concessionárias de Distribuição Utilizando Algoritmos Evolutivos.** 2011. 153p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BERNARDO, N. **Evolução da Gestão da Qualidade de Serviço de Energia Elétrica no Brasil.** 2013. 55p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BOLLEN, M. H. J. **Understanding power quality problems – Voltage sags and interruptions.** New York: IEEE Press Series On Power Engineering, 2000. 543p.

CENTRO DE EXCELENCIA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Curso Sistemas Motrizes: Motores elétricos e inversores de frequência.** Itajubá: EXCEN, 2015. 99p.

DECKMANN, Sigmar Maurer; POMILIO, José Antenor. **Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica.** Campinas: UNICAMP, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA; **PORTARIA DNAEE nº 46/1978.** Brasília: DNAEE, 1978. 978p.

DUGAN, R. C. et al. **Power Systems Quality**. 2 ed. [s.l.]:McGraw-Hill, 2003. 528p.

FILHO, Matheus Teodoro Silva. **Fundamentos de Eletricidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 164p.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 2003. 226p.

LEÃO, R. P. S.; SAMPAIO, R. F.; ANTUNES, F. L. M.; **Harmônicos em Sistemas Elétricos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 376p.

MEDEIROS, M. O. B. **Monitoração da Qualidade de Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição**. 2003. 182p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Instrução para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica**. Revisão 3. [s.l.]: ONS, 2013. 27p.

PIGNATTI, A. A. **O Impacto da Topologia de Conexão de Transformadores na Obtenção de Indicadores de Qualidade de Energia**. 2012, 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RODRIGUES, Ricardo M.; SERNI, Paulo J. A.; RODRIGUES, José F. et al. Qualidade de energia em instalações rurais. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000 Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000100040&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 10 set. 2015.

SCHNEIDER; PROCOBRE. Workshop Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Qualidade de Energia, Harmônicas. [s.l.]: Schneider, PROCOBRE, 2003. 19p.

SILVA, Adriano J.; MUNHOZ, Fernando C.; CORREIA, Paulo B. Qualidade na utilização de energia elétrica no setor rural: problemas, legislação e alternativas. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002 Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200047&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 10 set. 2015.

SILVA, B. G. **Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econômica de longo prazo**. 2011, 162p. Dissertação (Mestrado em

Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TEODORO, Ricardo Gouveia. **Metodologia para Compensação de Desequilíbrios em Redes Elétricas**. Ilha Solteira: UNESP, 2005. 85p.