



# Arcabouço regulatório para equipamentos expostos à condições de serviço não previstas na legislação metrológica aplicável

**Tema:** Sistemas de Medição

**Autores:** Luise Oliveira Rodrigues Campanholo

**Co-Autores:** -

**Empresa:** Wasion da Amazônia

---

## Resumo

O objetivo do trabalho "Arcabouço regulatório para equipamentos expostos à condições de serviço não previstas na legislação metrológica aplicável" é realizar uma avaliação sobre o arcabouço regulatório atual para casos em que observa-se redes que operam em condições críticas de distorção harmônicas, agravadas por conexões de cargas com comportamentos não lineares.

Neste contexto, busca-se observar a coerência e a aderência das regras atuais no âmbito da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO e, por fim, de Normas e Padrões estabelecidos internacionalmente utilizados como referência nacional. Embora a discussão seja mais detida no cenário dos equipamentos de medição instalados nas redes de distribuição, é salutar estender esta avaliação para demais equipamentos ligados às redes elétricas de distribuição.

## 1. Introdução

A aparição de maiores taxas de distorções harmônicas devem tornar-se mais frequentes nas redes de energia elétrica em função da presença, cada vez maior, de controles eletrônicos com características não lineares nas conectadas às redes.

Um problema que antes estava restrito a equipamentos muito específicos e a determinados tipos de consumidores, passou a se tornar mais corriqueiro e, os efeitos práticos dessa mudança de comportamento das cargas pode implicar em condições indesejáveis para outros equipamentos ligados à esta rede.

Se, por um lado, compete a ANEEL determinar padrões de qualidade da operação das redes de distribuição, ao INMETRO compete a definição de ensaios/requisitos necessários para a aprovação de equipamentos como, por exemplo: medidores de energia, equipamentos de geração e armazenamento, dentre outros. Entender a coerência entre o que é fiscalizado e exigido por um ente em relação ao que é determinado por outro agente é interessante sob o ponto de vista de identificar lacunas que possam ser aprimoradas, dirimindo efeitos indesejados para qualquer um dos grupos que atuam, em alguma medida, do sistema de distribuição.

Este trabalho tem o objetivo de discutir então, as regras aplicáveis à aprovação de equipamentos de medição de energia e as regras estipuladas para funcionamento das redes elétricas, por meio de seus padrões de qualidade.

## 2. Desenvolvimento

### 1. INMETRO

Em relação ao INMETRO, cumpre destacar que o órgão é o responsável por estabelecer, no âmbito da Metrologia Legal, o desenvolvimento do chamado Regulamento Técnico Metrológico - RTM, aplicável a instrumentos de medição comercializados no Brasil.

O RTM é um documento que estabelece os requisitos metrológicos específicos que um instrumento de medição deve seguir. Após a chamada Apreciação Técnica do Modelo, atividade realizada pelo próprio INMETRO ou laboratórios acreditados, há a chancela de atendimento do RTM com a emissão da portaria de aprovação do medidor.

Mesmo após a aprovação do modelo, os fabricantes ainda estão sujeitos a comprovação de alguns critérios, definidos em norma, por meio da chamada verificação inicial, a qual ocorre nas instalações dos fabricantes ou em local acordado com INMETRO.

Como a proposta da análise é avaliar as análises dos equipamentos de medição em relação a distorção harmônica, destacamos na sequência os ensaios e as condições exigidas pelo RTM aprovado por meio das Portarias nº 586/2012[1], nº 587/2012[2] e nº 95/2015[3]) para influência de harmônicos.

- Nome do ensaio: Ensaio de influência de componente harmônico nos circuitos de tensão e corrente
- Condição do ensaio: dentre outras condições de corrente, tensão e fator de potência fundamental, destacam-se:
  - o conteúdo do 5º harmônico na tensão:  $V_5 = 10 \% V_n$ ;
  - o conteúdo do 5º harmônico na corrente  $I_5 = 40 \% I_1$ ;
  - o fator de potência do harmônico: 1; e
  - o as tensões fundamental e harmônica devem estar em fase, cruzando em zero na subida.

Tabela 1 – Limite de variação de erro percentual admissível (adaptado de Portaria nº 587/2012)

Condição de ensaio	cos $\varphi$	Limites de variação de erro percentual por classe			
		D	C	B	A
Sem harmônicos	1	e1	e1	e1	e1
Com harmônicos	1	e1±0,4	e1±0,5	e1±0,8	e1±1,0

Tabela 2 – Limite de distorção para tensão e corrente – Apreciação técnica (adaptado de Portaria nº 587/2012)

Condição de ensaio	A, B, C e D
Fator de distorção (V, I)	± 1%

Já para os ensaios de verificação inicial ou após reparos, as condições de ensaio estabelecidas são:

Tabela 3 – Limite de distorção para tensão e corrente – Verificação inicial (adaptado de Portaria nº 587/2012)

Condição de ensaio	B, C e D	A
Fator de distorção (V, I)	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$

Em 23 de maio de 2022, houve a revogação das Portarias nº 586/2012, nº 587/2012 e nº 95/2015, pela Portaria nº 221/2022, que após publicação, consolidou e revisou a norma, adicionando ou alterando alguns ensaios para avaliação de medidores, além de trazer Disposições Transitórias que devem ser observadas por modelos aprovados na vigência de outros regramentos.

Considerando o tema “harmônicas”, passam a integrar os testes de Apreciação de Modelo de medidores de energia os ensaios de influência de harmônicas ímpares e influência de sub-harmônicas.

Neste cenário, para ilustrar melhor o período de transição entre as RTM, apresentamos a linha do tempo abaixo que demonstra tanto o marco de aprovação das portarias, como as condições estabelecidas via Portaria do INMETRO nº 221/2022 para transição.

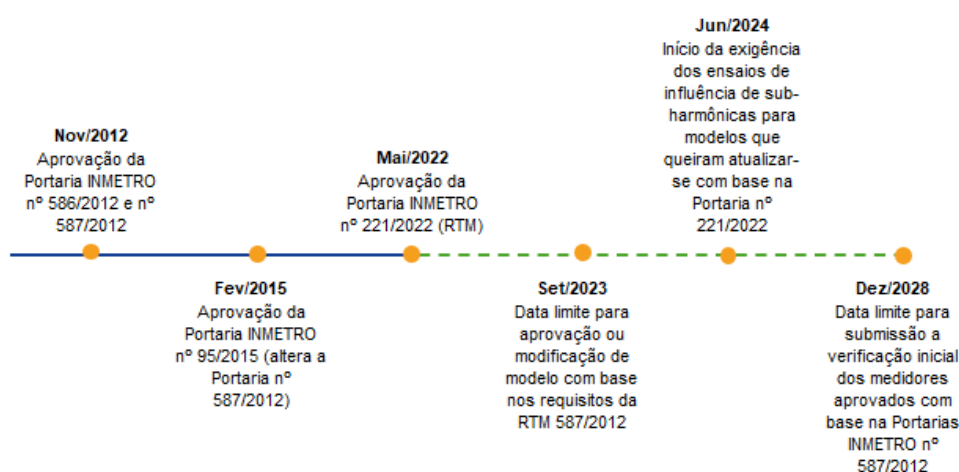


Figura 1 – Linha do tempo: vigência de portaria de aprovação de modelo e regras de transição

Com base na Figura 1, verifica-se que há a possibilidade de os modelos aprovados sob a luz de regulamento anterior serem submetidos à atualização, no entanto, isso não é determinativo e aparece apenas como uma possibilidade de ocorrer.

No caso de não serem atualizados com base nas regras novas, desde que atendam os erros máximos admitidos na Portaria nº 221/2022, os modelos têm uma espécie de prazo de validade, uma vez que a verificação inicial para estes casos poderia ser realizada até dezembro de 2028.

No caso dos novos modelos que serão submetidos a aprovação ou os modelos aprovados que serão atualizados com base na Portaria INMETRO nº 221/2022, os ensaios atinentes a harmônicas são destacados na sequência.

- Nome do ensaio: Ensaio de influência de componente harmônico nos circuitos de tensão e corrente
- Condição do ensaio: dentre outras condições de corrente, tensão e fator de potência fundamental, destacam-se:
  - o conteúdo do 5º harmônico na tensão:  $V_5 = 10\% V_n$ ;
  - o conteúdo do 5º harmônico na corrente  $I_5 = 40\% I_1$ ;
  - o corrente: 0,1 IndIdImáx
  - o fator de potência do harmônico: 1

Tabela 4 – Limite de variação de erro percentual admissível – Harmônicos nos circuitos de tensão e corrente (adaptado da Tabela 7 do Anexo A da Portaria nº 221/2022)

Condição de ensaio	cos $\varphi$	Limites de variação de erro percentual por classe			
		D	C	B	A
Com harmônicos	1	$e1\pm0,2$	$e1\pm0,3$	$e1\pm0,6$	$e1\pm1,0$

· Nome do ensaio: Ensaio harmônicos ímpares no circuito de corrente

· Condição do ensaio:

o tensão: Vn

o corrente: In

o fator de potência do harmônico: 1

Tabela 5 – Limite de variação de erro percentual admissível – Harmônicos ímpares no circuito de corrente  
(adaptado da Tabela 7 do Anexo A da Portaria nº 221/2022)

Condição de ensaio	cos $\varphi$	Limites de variação de erro percentual por classe			
		D	C	B	A
Com harmônicos	1	$e1\pm0,6$	$e1\pm1,5$	$e1\pm3,0$	$e1\pm6,0$

· Nome do ensaio: Ensaio de sub-harmônicos

· Condição do ensaio:

o tensão: Vn

o corrente: In[4]

o fator de potência do harmônico: 1

Tabela 6 – Limite de variação de erro percentual admissível – Sub-harmônicos (adaptado da Tabela 7 do Anexo A da Portaria nº 221/2022)

Condição de ensaio	cos $\varphi$	Limites de variação de erro percentual por classe			
		D	C	B	A
Com harmônicos	1	$e1\pm0,5$	$e1\pm0,75$	$e1\pm1,5$	$e1\pm3,0$

## 2. ANEEL

Os tópicos abaixo destinam-se a revisar regras e procedimentos e, identificar, em qual medida, são estabelecidos por meio da Regulação limites de referência em relação as harmônicas.

### 2.1 Resolução Normativa, REN nº 1.000/2021

A REN nº 1.000/2021 estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica, contemplando uma visão sobre os direitos e deveres do consumidor e demais usuários do serviço. De acordo com a REN 1.000/2021, no caso da identificação de instalações (cargas) que causem distúrbios na rede, estas poderão ser responsabilizadas pelas consequências destes eventos, conforme transcrições a seguir:

*Art. 44. Caso as instalações do consumidor ou dos demais usuários provoquem distúrbios e/ou danos ao sistema elétrico de distribuição, ou a outras instalações e equipamentos elétricos, desde que comprovados, a distribuidora deve exigir, por meio de comunicação escrita, específica e com entrega comprovada:*

*I - o reembolso das indenizações por danos a equipamentos elétricos que tenham decorrido do uso da carga ou geração provocadora dos distúrbios, informando a ocorrência dos danos e as despesas incorridas, garantindo o direito à ampla defesa e ao contraditório;*

*II - a instalação dos equipamentos corretivos necessários e o prazo de instalação, cujo descumprimento pode resultar na suspensão do fornecimento de energia elétrica; e*

*III - o pagamento das obras necessárias no sistema elétrico destinadas à correção dos efeitos dos distúrbios, informando o prazo de conclusão e o orçamento detalhado. (Grifos nossos)*

*Art. 355. A distribuidora pode suspender o fornecimento de energia elétrica por razões de ordem técnica ou de segurança nas instalações do consumidor e demais usuários, precedida da notificação do art. 360, nos seguintes casos:*

*I - impedimento de acesso para fins de leitura, substituição de medidor e inspeções;*

*II - inexecução das correções indicadas no prazo informado pela distribuidora, no caso de constatação de deficiência não emergencial nas instalações do consumidor e demais usuários; ou*

*III - inexecução das adequações indicadas no prazo informado pela distribuidora, no caso do consumidor e demais usuários utilizarem nas instalações, à revelia da distribuidora, carga ou geração que provoquem distúrbios ou danos ao sistema elétrico de distribuição ou às instalações e equipamentos elétricos de outros usuários. (Grifos nossos)*

Contudo, devido ao grau de subjetividade da redação, da ausência de critérios explícitos para configurar uma carga perturbadora e inexistência de medições permanentes próprias para registro de eventos associados à qualidade de energia, por exemplo, ações como a prevista no Artigo 355, são raras, principalmente considerando consumidores do grupo B, cuja tensão de fornecimento é inferior a 2,3 kV, que possuem processos de conexão mais simplificados, muitas vezes sem qualquer exigência do detalhamento da carga. Outra situação que merece ser destacada e que está presente na REN nº 1.000/2021, diz respeito a conformidade dos equipamentos de medição com relação a legislação metrológica, sem inclusão de qualquer diretriz adicional, conforme trecho destacado abaixo:

*Art. 236. Os medidores e demais equipamentos de medição devem estar em conformidade com a legislação metrológica vigente.*

*Art. 238. A verificação periódica dos equipamentos de medição nas instalações do consumidor e demais usuários deve ser efetuada segundo critérios estabelecidos na legislação metrológica.*

Tais menções convalidam a necessidade de observância às regras e critérios definidos tão somente pelo INMETRO, sendo, portanto, o atendimento aos RTM suficientemente satisfatório, do ponto de vista regulatório, no que concerne, inclusive, aos limites de distorção harmônica aos quais os equipamentos estão aptos a serem submetidos.

## 2.2 Procedimentos de Distribuição, PRODIST

O PRODIST nada mais é que um conjunto de normas e procedimentos estabelecidos pela ANEEL, com intuito de padronizar e garantir a qualidade da distribuição de energia elétrica.

Na sequência traremos alguns recortes de alguns módulos distintos, cujo tema de aprofundamento tangenciam, de alguma maneira, o objeto deste estudo, ou seja, tratam de processos que impactam ou podem ser impactados pela presença de elevado grau de distorção harmônica nas redes.

### 2.2.1 PRODIST Módulo 1 – Glossário de Termos Técnicos do PRODIST

Como o próprio título diz, este documento tem objetivo de descrever os termos técnicos utilizados no PRODIST, dos quais destacamos dois, por serem relevantes para a avaliação realizada no âmbito deste Parecer.

*Análise de perturbação: processo que corresponde à investigação das causas e dos responsáveis pelos distúrbios nas instalações de conexão, no sistema de distribuição ou nas instalações de geração e de consumidores conectadas ao sistema de distribuição. (Grifos nossos)*

*Perturbação no sistema elétrico: modificação das condições que caracterizam a operação de um sistema elétrico, para uma situação fora da faixa de variação permitida para seus valores nominais, definidos nos regulamentos sobre qualidade dos serviços de energia elétrica vigentes. (Grifos nossos)*

### 2.2.2 PRODIST Módulo 3 – Conexão ao Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

O módulo 3 do PRODIST é o documento responsável por detalhar os procedimentos do acesso as instalações de distribuição de energia, além de complementar alguns requisitos que estão dispostos na REN nº 1.000/2021.

Neste contexto, alguns trechos indicam a necessidade de maior detalhamento do tipo de carga que será ligada à rede, a depender do tipo de usuário, conforme trecho a seguir:

*5. A distribuidora pode solicitar as informações complementares do Anexo 3.F, conforme o tipo de usuário, desde que estritamente necessárias à realização dos estudos de sua responsabilidade, elaboração do projeto e orçamento da conexão. (Grifos nossos)*

As informações complementares de que trata o item 5 são solicitadas por meio de “formulários” específicos para casos de conexão de: centrais geradoras, transformadores de subestações, subestações, unidades consumidoras (fornos elétricos, motores de corrente alternada, cargas de corrente contínua, cargas alimentadas por conversores, retificadores, fornos), motores de indução, máquina síncrona, forno a arco, conversores, inversores e retificadores, local em que haverá detalhamento da característica dos equipamentos para a simulação de seus impactos na rede.

Outro trecho presente neste módulo que merece destaque, é que embora haja menção à necessidade de observância aos padrões de qualidade estabelecidos pela ANEEL por parte dos acessantes, há a delimitação do âmbito de aplicação desta recomendação, já que é voltada para o contexto de “operação e manutenção”, não abrangendo, por exemplo, unidades consumidoras.

*76. Esta seção não se aplica à conexão de unidades consumidoras, exceto quando expressamente previsto.*

[...]

*79. A operação e a manutenção devem garantir:*

*a) a segurança das instalações, dos equipamentos e do pessoal envolvido;*

*b) e que sejam mantidos no ponto de conexão os padrões de qualidade estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST. (Grifos nossos)*

### 2.2.3 PRODIST Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura

Neste módulo a ANEEL compila os procedimentos para medição do sistema de distribuição, seja para fins de faturamento ou relativo à qualidade de energia, ou ainda, medições utilizadas para o planejamento da expansão e operação do sistema.

Na análise deste documento, três passagens chamam a atenção e são apresentadas logo abaixo.

#### **Seção 5.1 Sistema de medição utilizado para faturamento**

##### **Responsabilidades**

10. São responsabilidades do consumidor e da distribuidora que acessa instalações de outra distribuidora: [...]

e) ressarcir a distribuidora pelos danos causados ao sistema de medição decorrentes de procedimento irregular ou **deficiência técnica da unidade consumidora**;

[...] (Grifos nossos)

##### **Requisitos mínimos**

14. Os medidores utilizados para faturamento devem ter modelo aprovado por portaria específica do Inmetro, **conforme a legislação metrológica**. (Grifos nossos)

#### **Seção 5.2 Sistemas de medição utilizados para coleta de dados e apuração de parâmetros de qualidade da energia elétrica**

##### **Responsabilidades**

50.1 Os sistemas de medição destinados à apuração dos parâmetros de qualidade da energia elétrica devem permitir que sejam obtidas, no mínimo, as seguintes informações:

[...]

**d) valores dos indicadores associados com a distorção harmônica total de tensão, conforme estabelecido no Módulo 8 do PRODIST;**

e) valores dos indicadores de distorção harmônica individual de tensão até a ordem harmônica máxima, conforme estabelecido no Módulo 8 do PRODIST;

[...](Grifos nossos)

Na análise dos extratos acima, é possível inferir que uma deficiência técnica nas instalações do consumidor que ocasione algum dano a um equipamento de medição, devidamente aprovado pela legislação metrológ-



ica vigente, ensejará ressarcimento à distribuidora. Contudo, aqui também há um hiato entre o que pode ser caracterizado como deficiência técnica da unidade consumidora.

Cargas com baixo fator de potência? Para estes casos, a regulação estabelece parâmetros de referência e medição de apuração, mas somente para unidades consumidoras integrantes do grupo A, cuja tensão de fornecimento é maior ou igual a 2,3 kV[5].

Para distorções harmônicas o cenário torna-se ainda mais obscuro, especialmente pela ausência de medição permanente que possa capturar tal condição.

Apenas no caso de medição destinada à coleta e apuração dos parâmetros de qualidade de energia faz-se necessário a utilização de equipamento que permita a medição e aferição de valores associados à distorção harmônica total de tensão, conforme trazido pelo item 50.1.

#### 2.2.4 PRODIST Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição

Este documento tem por finalidade descrever as metodologias e parâmetros regulatórios utilizados na apuração das perdas técnicas regulatórias, item reconhecido na tarifa das distribuidoras.

A correlação deste módulo com o presente estudo reside nas premissas adotadas para o modelo regulatório de simulação de perdas, que podem implicar em resultados e reconhecimentos distorcidos. Embora o cálculo seja realizado de maneira iterativa, e considerando medições reais de energia para chegar ao ponto de solução do fluxo de potência, a limitação no número de iterações pode fazer com que o fluxo não encontre o ponto ótimo em função da presença de harmônicas representativas.

Recentemente, por meio de uma Tomada de Subsídio, TS nº 13/2022, a ANEEL promoveu uma discussão com a sociedade abordando aprimoramentos para a regulamentação em questão, que trata do cálculo de perdas na distribuição, sendo o tema de consideração de harmônicas abordado pela contribuição conjunta encaminhada pela Universidade Federal de Uberlândia, UFU, e o *Electric Power Research Institute*, EPRI, desenvolvedor, inclusive, da atual ferramenta de cálculo de fluxo de potência utilizado para estimar as perdas técnicas.

A contribuição encaminhada por estas entidades, além de demonstrar que a perda regulatória calculada estaria sendo minorada, ainda menciona testes em equipamentos de medição que registraram erros superiores a classe de precisão em função das distorções harmônicas de corrente e tensão[6].

#### 2.2.5 PRODIST Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica

Módulo destinado a estabelecer os procedimentos relativos à qualidade do fornecimento de energia elétrica, em termos de produto (tensão), serviço (interrupções) e comercial (atendimentos).

Dentre os tópicos abarcados por este módulo do PRODIST, alguns merecem destaque, conforme trechos transcritos abaixo:

##### *Objetivos*

*[...]*

*3. Definir os fenômenos relacionados à qualidade do produto, aqui entendidos como aqueles relativos à conformidade da onda de tensão em regime permanente e transitório, estabelecendo seus indicadores, valores de referência, metodologia de medição e gestão das reclamações. (Grifos nossos)*

#### *Seção 8.1 Qualidade do Produto*

##### *Caracterização dos fenômenos que afetam a onda de tensão*



12. Os seguintes fenômenos associados à qualidade do produto são tratados nesta Seção 8.1: fenômenos de regime permanente:

i. variações de tensão em regime permanente;

ii. fator de potência;

iii. harmônicos;

iv. desequilíbrio de tensão;

v. flutuação de tensão; e

vi. variação de frequência.

[...] (Grifos nossos)

#### *Distorções Harmônicas*

43. As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

[...]

46. Os limites para os indicadores das distorções harmônicas totais constam na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	Tensão nominal ( $V_n$ )		
	$V_n \leq 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT <sub>95%</sub>	10,0%	8,0%	5,0%
DTT <sub>p95%</sub>	2,5%	2,0%	1,0%
DTT <sub>95%</sub>	7,5%	6,0%	4,0%
DTT <sub>395%</sub>	6,5%	5,0%	3,0%

47. Os limites correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição. (Grifos nossos)

#### *Instrumentação e metodologia de medição da qualidade do produto*

[...]

89. A tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras obtidas por medição apropriada, de acordo com a metodologia descrita para os indicadores individuais e coletivos, nas seguintes modalidades:

a) eventual, por reclamação do consumidor ou por determinação da ANEEL;

b) amostral, por determinação da ANEEL, de acordo com sorteio realizado para cada trimestre; e

c) permanente, por meio do sistema de medição de unidades consumidoras de BT com funcionalidades adicionais ou para os casos em que o usuário conectado ao SDMT ou ao SDAT optar por medidor de qualidade da energia elétrica, conforme critérios e procedimentos estabelecidos nesta Seção 8.1 e no Módulo 5 do PRODIST. (Grifos nossos)

90. As distorções harmônicas de tensão, o desequilíbrio de tensão, a flutuação de tensão e as VTCD devem ser avaliados por meio de um conjunto de leituras obtidas por medição apropriada, de acordo com metodologia específica, nas seguintes modalidades:

a) eventual, por reclamação do usuário conectado ao SDMT ou ao SDAT ou por determinação da ANEEL;

e

b) permanente, nos casos em que o usuário conectado ao SDMT ou ao SDAT optar por medidor de qualidade da energia elétrica, conforme critérios e procedimentos estabelecidos nesta Seção 8.1. (Grifos nossos)

#### *Crítérios para a medição amostral de tensão em regime permanente*

91. Para as medições amostrais de tensão devem ser adotados sistemas de medição permanente, de acordo com o estabelecido no item 80.

92. O sorteio da amostra das unidades consumidoras de cada distribuidora para fins de medição será realizado pela ANEEL no mês de outubro de cada ano, por meio de critério estatístico aleatório, a partir das Bases de Dados Geográficas das Distribuidoras – BDGD.

93. A unidade consumidora sorteada passa a compor a base de medições amostrais da distribuidora e deve ser monitorada de forma permanente.

94. A base de medições amostrais da distribuidora será ampliada a cada ano, com adição das novas unidades consumidoras sorteadas, mantendo-se as unidades sorteadas nos anos anteriores.

[...]

### *Critérios para a medição permanente da qualidade da energia elétrica*

111. O usuário pode solicitar à distribuidora sistema de medição com funcionalidades específicas de qualidade da energia elétrica para fins de acompanhamento permanente de todos os fenômenos e parâmetros de que trata este Módulo (Grifos nossos)

### *Estudos específicos de qualidade do produto para conexão aos sistemas de distribuição de energia elétrica*

134. Os estudos específicos de qualidade do produto devem avaliar o potencial impacto da conexão e operação do usuário.

135. A distribuidora deve realizar estudos no caso de usuário com cargas potencialmente perturbadoras.

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

137. As conclusões dos estudos e recomendações deverão constar no orçamento prévio.

138. Caso se verifique nos estudos específicos que há problema de qualidade do produto, a instalação dos equipamentos de correção ou outras adequações necessárias devem ser providenciadas pelo usuário ou pela distribuidora, de acordo com as responsabilidades de cada um apuradas nos estudos.

139. Requisitos e procedimentos para fins de conexão ao sistema de distribuição devem observar o Módulo 3 do PRODIST.

O que se observa através dos trechos extraídos do Módulo 8 do PRODIST é que as harmônicas são consideradas um distúrbio, sendo, inclusive, estabelecido um limite máximo, por nível de tensão, que deve ser verificado nos sistemas de distribuição. Embora não tenha limitação para cargas, a corrente distorcida traz impactos à forma de onda de tensão, podendo resultar em distorções igualmente elevadas de tensão.

Adicionalmente, a despeito da existência de uma *medição amostral* para acompanhamento da qualidade do produto, dentre as informações que devem compor o relatório, o índice de distorção harmônica não é contemplado, já no caso de *medição permanente* de qualidade, todos os tipos de distorções são acompanhados e devem permanecer nos registros das distribuidoras, por meio de sistemas informatizados.

Por fim, a ANEEL menciona a execução de estudos específicos para conexão de cargas perturbadoras, no entanto, estas ações são comumente focadas em consumidores de maior porte, sendo raro, se não, inexistente, a realização de tais estudos no âmbito da baixa tensão, como é o caso que se verifica neste Parecer.

### 2.3 Estudos de Pesquisa e Desenvolvimento e Agenda Regulatória

Além das regras e procedimentos em vigência, buscou-se levantar estudos realizados no âmbito dos programas de Pesquisa e Desenvolvimento, P&D, e temas que tenham sido cotados para compor a Agenda

Regulatória da Agência, para entender se este tema, de altas taxas de distorção harmônica têm sido tratado de maneira recorrente e se é um problema conhecido pela ANEEL.

A lista de P&Ds, extraída da base de dados aberta da ANEEL que tratam do tema de harmônicas é possível observar que as discussões que permeiam este assunto não são recentes.

Ademais, através de buscas no site da ANEEL, foram identificadas duas notícias relacionadas ao tema de qualidade: i) Indicativo de temas para investimento em P&D, sob a chamada “Qualidade e Confiabilidade dos Serviços de Energia Elétrica (QC)”, que elenca dentre os subtemas prioritários o item de compensação financeira por violação de indicadores de qualidade[7] e ii) Chamada de credenciamento de empresas especializadas para suporte à área de fiscalização da ANEEL, SFT, abrangendo tema “Qualidade do fornecimento de energia elétrica”[8], cuja descrição da atividade é: “Apoiar a equipe da SFT em fiscalizações e/ou estudos que exijam conhecimentos aprofundados sobre regulação aplicada a fiscalização técnica, em ênfase na qualidade do fornecimento de energia elétrica, **objetivando identificar, por meio de técnicas de auditoria, problemas relativos à aderência dos serviços prestados pelas Distribuidoras às normas vigentes e auxiliar na identificação das possíveis não conformidades**, utilizando aplicativos e ferramentas como Excel, Word e Power Point, entre outros.” (Grifos nossos)

Já na Agenda Regulatória não foi identificado nenhum processo que esteja em andamento ou previsto para iniciar no tocante à qualidade e regramento de cargas.

Por meio das informações trazidas por este tópico, é possível perceber que não há ainda processo instruído, contudo já há indícios de que a Agência planeja olhar mais detidamente as questões de qualidade, inclusive, implementando ações fiscalizatórias que poderão trazer implicações às distribuidoras que estejam com suas redes operando sob altas taxas de distorções harmônicas, superiores às referências estabelecidas pelo Módulo 8 do PRODIST.

### 3. Normas e Padrões

#### 3.1 IEEE 519-2022

O IEEE 519-2022 estabelece metas para o projeto de sistemas elétricos que incluem cargas lineares e cargas não lineares. A norma descreve as formas de onda de tensão e corrente que existem em todo o sistema, especifica limites de distorção de forma de onda para os projetos do sistema e detalha a interface entre fontes e cargas.

Os limites de distorção de tensão e corrente na IEEE 519-2022 se aplicam no ponto de acoplamento comum (PCC) do usuário para a instalação geral contendo os harmônicos.

**Cargas lineares:** Cargas que não produzem distorção harmônica, exemplo: lâmpada incandescente, motores e transformadores.

**Cargas não lineares:** Cargas que produzem distorção harmônica (por exemplo, lâmpada fluorescente, PC e TV e impressoras).

**PCC:** Ponto em um sistema de energia elétrica que se conecta ao sistema elétrico da concessionária, como o medidor de energia elétrica ou o transformador de serviço das instalações. O PCC é um ponto localizado a montante da instalação considerada.

**Harmônicos (componentes harmônicos):** Tensões ou correntes múltiplos inteiros da frequência de energia fundamental, produzidas pela ação de cargas não lineares. Harmônicos podem causar dois problemas principais — **superaquecimento e corrente indesejada** — levando a avaria de equipamentos, distúrbios em linhas telefônicas e redes de comunicação. Especificamente, os harmônicos podem causar distorção da tensão de alimentação, superaquecimento de equipamentos, disparos inesperados de disjuntores e falha de ignição de acionamentos de velocidade variável. Por essa razão, a IEEE 519-2022 especifica o controle harmônico.

**Qual é o propósito dos limites de distorção de tensão harmônica?**

Os limites de distorção de tensão harmônica são fornecidos para reduzir os potenciais efeitos adversos para os usuários e para os equipamentos presentes no sistema elétrico. A IEEE 519-2022 especifica que manter tensões harmônicas abaixo de níveis questionáveis exige o seguinte:

**Os usuários** devem limitar suas emissões de corrente harmônica a valores razoáveis. Especificamente, os usuários não devem adicionar equipamentos que afetem a característica de impedância de uma forma que possa aumentar a distorção de tensão, produzindo distorções harmônicas de tensão excessivas.

**Os concessionários ou operadores do sistema de distribuição** devem controlar as características de impedância do sistema para diminuir a distorção de tensão quando necessário.

### 3.2 IEC 61000

A série de normas IEC 61000 fornece informações aceitas internacionalmente para controlar harmônicos e Inter harmônicos em sistemas elétricos. Algumas das normas IEC para distúrbios harmônicos incluem: IEC 61000-3-2: Limita as emissões de corrente harmônica para equipamentos com uma corrente de entrada de 16 A ou menos por fase. Esta norma define quatro classes de equipamentos e especifica limites para níveis harmônicos. A norma inclui requisitos para distorção harmônica total, DHT, bem como as correntes de terceira e quinta harmônica. Por exemplo, a corrente de terceira harmônica não deve exceder 35% da corrente fundamental, e a corrente de quinta harmônica não deve exceder 25%.

IEC 61000-3-3: A norma limita flutuações de tensão e oscilações em sistemas de baixa tensão. Ele se aplica a equipamentos elétricos e eletrônicos conectados a sistemas de distribuição de baixa tensão. Para melhores resultados, a DHT da tensão não deve exceder 5%, e a DHT da corrente não deve exceder 20% da frequência fundamental.

IEC 61000-3-12: Limita as emissões de corrente harmônica para equipamentos com uma corrente de entrada maior que 16 A, mas não maior que 75 A por fase. Esta norma classifica os dispositivos em quatro tipos e especifica limites para cada tipo.

IEC 61000-2-2: Aplica-se a sistemas públicos de fornecimento de energia de baixa tensão.

IEC 61000-2-4: Aplica-se a instalações industriais de LV e MV.

IEC 61727: Abrange as especificações de interface entre sistemas fotovoltaicos (PV) e a rede.

Perturbações harmônicas podem causar uma série de problemas em sistemas elétricos, incluindo: mau funcionamento de motores e geradores, aumento de perdas de eficiência, disparo de disjuntores ou queima de fusíveis, perturbações em equipamentos eletrônicos e ressonâncias inesperadas.

[1] RTM de software para medidor eletrônico de energia elétrica e software para sistema distribuído de medição de energia elétrica.

[2] RTM para medidores eletrônicos de energia elétrica ativa e/ou reativa, monofásicos e polifásicos, inclusive os reconicionados.

[3] Revisão da Portaria nº 587/2012.

[4] A corrente distorcida de ensaio se apresenta com dois ciclos presentes, com valor eficaz igual ao nominal da placa de identificação e dois ciclos ausentes (corrente zerada por dois períodos).

[5] REN 1.000/2021, Artigo 302

[6] Contribuições técnicas para a Tomada de Subsídios nº 13/2022 da ANEEL – UFU e EPRI

[7] Material na íntegra disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-pesquisa-de-senvolvimento-e-inovacao/temas-para-investimentos/qc>

[8] Material na íntegra disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/acesso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/credenciamentos/fiscalizacao-tecnica-dos-servicos-de-energia-eletrica-sft>

### 3. Conclusão

Este material buscou compilar, de maneira objetiva e direta, as informações legais e regulatórias atreladas a equipamentos de medição expostos à condições de serviço não previstas na legislação metrológica aplicável, considerando a coerência entre o que estabelece os órgão de controle e fiscalização como INMETRO e ANEEL, além de avaliar também o que está presente em normas e padrões internacionais.

Com a revisão das regras metrológicas do ente competente para certificar os equipamentos de medição, INMETRO, foi possível constatar que os equipamentos de medição são sim submetidos a testes de influência de harmônicas, contudo valores elevados de distorção, como por exemplo, distorção harmônica total  $\geq 90\%$ , estão fora do escopo de testes, razão pela qual, nessas condições não há como assegurar o comportamento do equipamento.

No que tange a ANEEL, ao revisar regras e procedimentos da Agência, verificamos que não há hoje de maneira objetiva uma limitação ou regra para distorção das cargas, o que há é a previsão de análise, por parte da distribuidora, de cargas que podem causar distúrbios ou perturbações na rede e que, por esse motivo precisam de algum dispositivo acessório ou obras na rede para permitir sua conexão. Essa discussão, contudo, fica muito mais direcionada a cargas mais representativas e ligadas a níveis de tensão maiores.

Em contrapartida, através do PRODIST Módulo 8, a Agência estabelece uma referência de distorção máxima de tensão a ser verificada nos sistemas de distribuição (Distorção harmônica total  $< 10\%$ , para tensão abaixo de 2,3 kV). Contudo, não é clara quanto às sanções aplicáveis no caso de descumprimento desta referência.

Há também, conforme a REN nº 1.000/2021, a previsão de ressarcimento, por parte do consumidor que der causa ao distúrbio, aos consumidores ou ao sistema afetado. No entanto, esta penalidade só é passível de ser aplicada mediante comprovação da distribuidora de que a instalação foi causadora do distúrbio, o que tem baixa probabilidade de ocorrer, em razão da indisponibilidade de medição de qualidade de energia permanente que permita apurar adequadamente os níveis de harmônicas.

Importa destacar que, a questão envolvendo a apuração correta das harmônicas não impactam apenas equipamentos e instalações, mas tem potencial efeito, inclusive, no reconhecimento tarifário das distribuidoras, tendo em vista o cálculo de perdas técnicas regulatórias que é a referência de reconhecimento na tarifa. Quanto às normas e padrões, ao buscar referências nacionais e internacionais, foi possível verificar que existem limitações de distorção harmônicas para equipamentos com níveis estabelecidos de acordo com a corrente de entrada do equipamento.

No caso da IEC 61000-3-2, que abrange equipamentos com corrente de entrada de até 16 A por fase, observa-se uma segregação por classe de equipamento: Classe A (equipamento trifásico balanceado, dimmers, eletrodomésticos (não abarcados pela Classe D), equipamento de áudio, demais equipamentos não inclusos nas demais classes), Classe B (ferramentas portáteis, sistema de soldagem por arco), Classe C (equipamento de iluminação não inclusos na Classe A) e Classe D (computadores pessoais e monitores de computadores pessoais, receptores de televisão).

De maneira sumariada, nota-se que há uma evolução na discussão do tema, através do estabelecimento de padrões, índices de referência ou ações de fiscalização. Todavia, no cenário nacional, percebe-se que ainda há uma certa carência de critérios objetivos para caracterizar cargas perturbadoras e, conseqüentemente, atuar de maneira assertiva para solucionar os problemas advindos da conexão da instalação causadora da perturbação.

## 4. Referências bibliográficas

IEEE 519-2022, disponível em: <https://standards.ieee.org/ieee/519/10677/>

IEC 61000, disponível em:

<https://webstore.iec.ch/en/products/?p=3&f=eyJkYXRlUmFuZ2VzIjp7fSwidGVybyBMiOnt9LCJ2YWxpZi9ubHkiOnRydWUsInB1Ym9pY2F0aW9uSWRzIjpudWxsLCJzaG93VHJmIjp0cnVILCJkaXNwbGF5TW9kZSI6ImdyaWQifQ==>

Procedimentos de Distribuição - PRODIST - ANEEL, disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>

Regulamentos Técnicos Metrológicos e de Avaliação da Conformidade - INMETRO, disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/legislacao/consulta.asp?seq\\_classe=1&sig\\_classe=RTAC](http://www.inmetro.gov.br/legislacao/consulta.asp?seq_classe=1&sig_classe=RTAC)