GESTÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

João Martins (jf.martins@fct.unl.pt)

Faculdade de Ciências e Tecnologia

(MEER + MERCEUS)

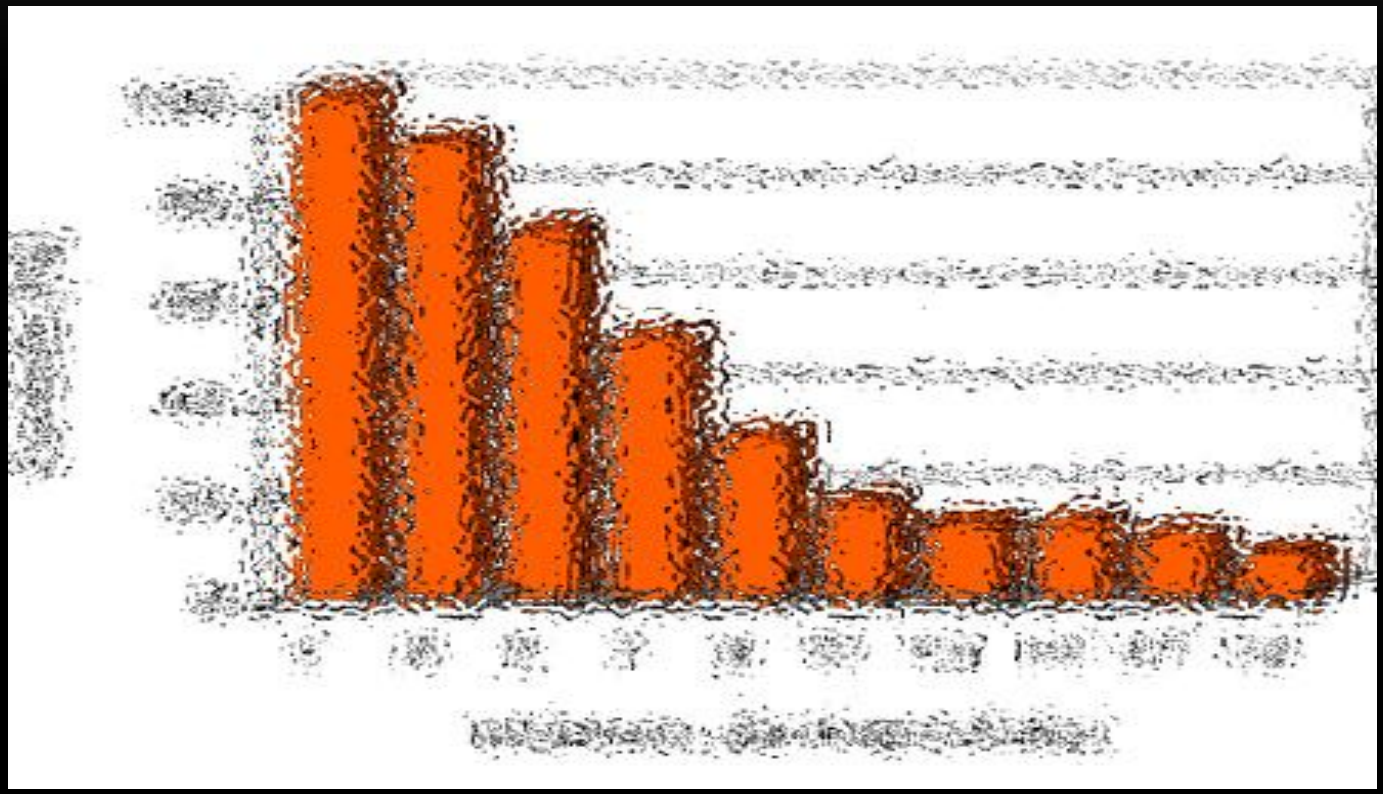
Qualidade da energia

- Qualidade de Serviço
- Qualidade da Energia
- Características da Tensão

Objetivos

- Perceber os conceitos de Qualidade de Serviço
- Aplicar indicadores de Qualidade de Serviço
- Perceber os conceitos de Qualidade da Energia e as características da forma de onda da tensão
- Identificar formas de melhorar a Qualidade da Energia
- Analisar a Qualidade da Energia
- Calcular índices de Qualidade da Energia

QUALIDADE DE SERVIÇO



QUALIDADE DE SERVIÇO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉCTRICA

A Qualidade de Serviço (RQS) do fornecimento de energia eléctrica encontra-se regulamentada (*Regulamento n.o 455/2013 - Regulamento de Qualidade de Serviço do Setor Elétrico*), no que se refere a:

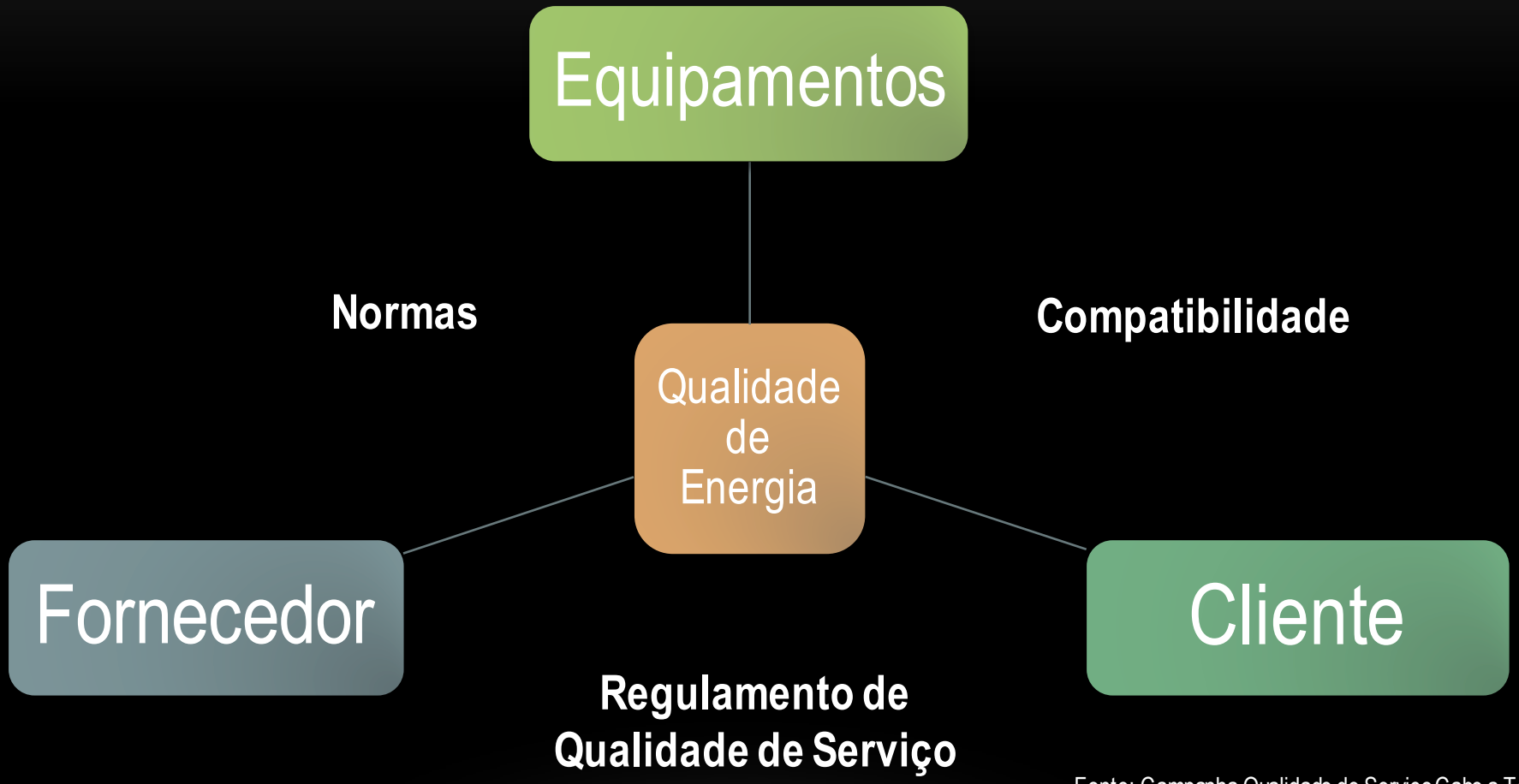
- Continuidade de Serviço - número e duração das interrupções de fornecimento
- Qualidade da Energia Elétrica - amplitude, frequência, forma da onda e simetria do sistema trifásico da tensão
- Qualidade Comercial - atendimento, informação, assistência e avaliação da satisfação dos clientes

QUALIDADE DE SERVIÇO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉCTRICA

Portugal

- Partilha de responsabilidade entre os operadores das redes e os clientes mais sensíveis às variações da qualidade da onda de tensão
- Os operadores são responsáveis por um nível de qualidade que satisfaça a generalidade dos clientes
- Os clientes mais sensíveis à qualidade da onda de tensão são responsáveis por imunizar as suas próprias instalações.

QUALIDADE DE SERVIÇO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉCTRICA



Fonte: Campanha Qualidade de Serviço Cabe a Todos

CONTINUIDADE DE SERVIÇO

Duração de uma **interrupção** num Ponto de Entrega:

- O **inicio da interrupção** é o instante em que a tensão de alimentação nesse ponto é inferior a 5% do valor da tensão declarada em todas as fases.
- O **fim da interrupção** é o instante em que a tensão de alimentação é igual ou superior, numa das fases, a 5% da tensão declarada ou o instante em que o fornecimento é reposto a partir de outro Ponto de Entrega.

SAIDI – Duração média das interrupções longas do sistema (System Average Interruption Duration Index)

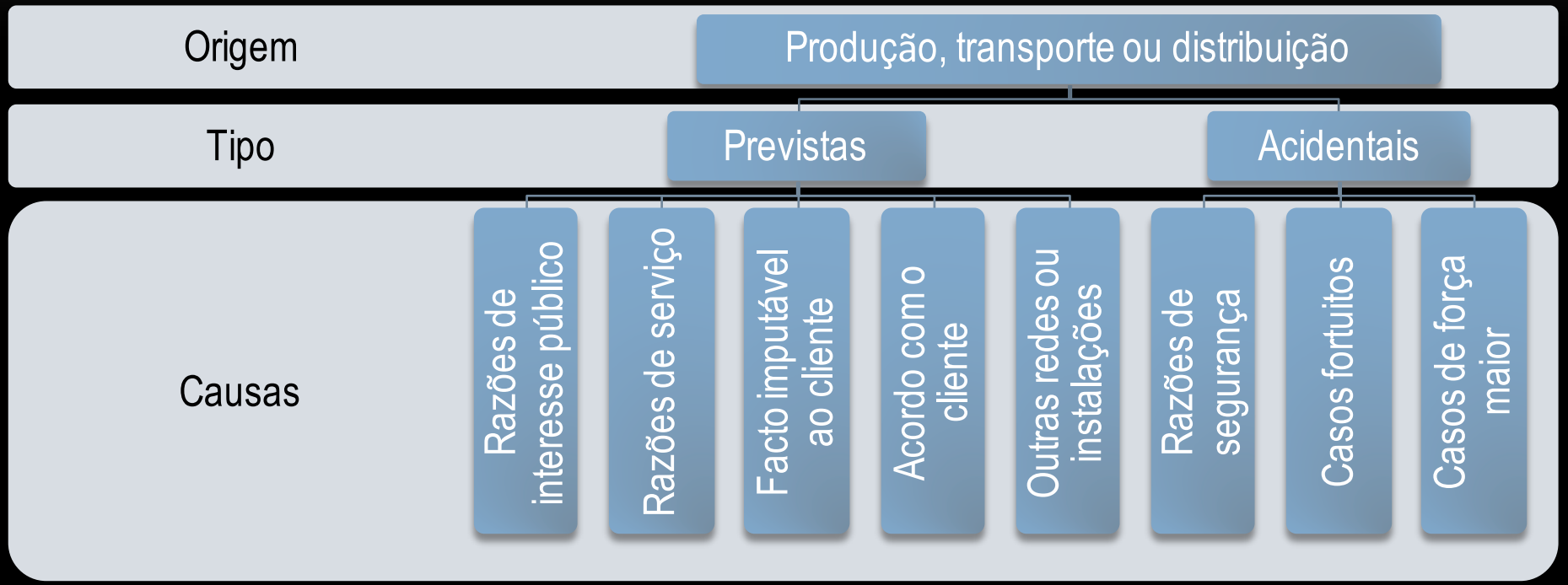
SAIFI – Frequência média de interrupções longas do sistema (System Average Interruption Frequency Index)

CONTINUIDADE DE SERVIÇO - INDICADORES

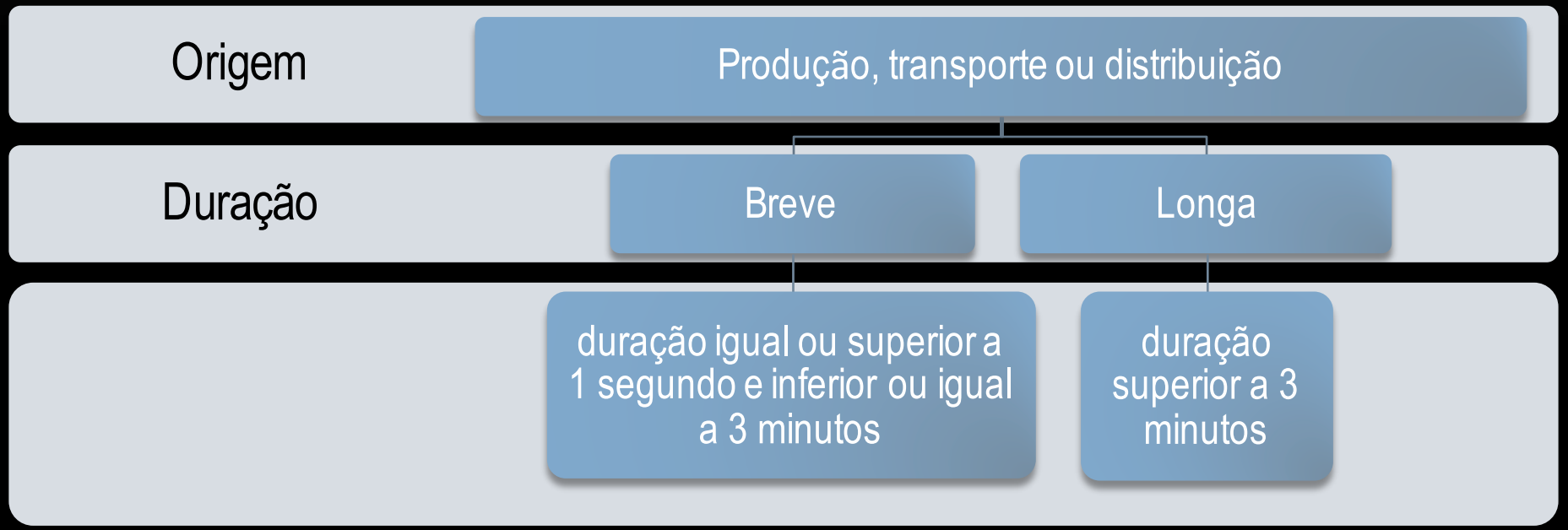
$$SAIDI = \frac{\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{x} DI_{ij}}{k} \qquad SAIFI = \frac{\sum_{j=1}^{k} FI_{j}}{k}$$

- FI_j – número de interrupções longas nos Pontos de Entrega da rede de distribuição BT (clientes BT), no período considerado
- DI_{ij} – duração da interrupção longa i no Ponto de Entrega j (clientes BT), em minutos.
- k – quantidade total de Pontos de Entrega da rede de distribuição BT (clientes BT)
- *x* – número de interrupções longas no Ponto de Entrega *j*, no período considerado

CLASSIFICAÇÃO DAS INTERRUPÇOES



CLASSIFICAÇÃO DAS INTERRUPÇOES



ZONAS DE QUALIDADE DE SERVIÇO

Zonas	
Zona A	Capitais de distrito e localidades com mais de 25 000 clientes
Zona B	Localidades com um número de clientes compreendido entre 2 500 e 25 000 clientes
Zona C	Restantes localidades

Baixa Tensão

Indicador	Zona de Qualidade de Serviço	Padrão
SAIDI (h)	A	3
	B	5
	C	8
SAIFI (interrupção)	A	3
	B	5
	C	7

ZONAS DE QUALIDADE DE SERVIÇO - EXEMPLO

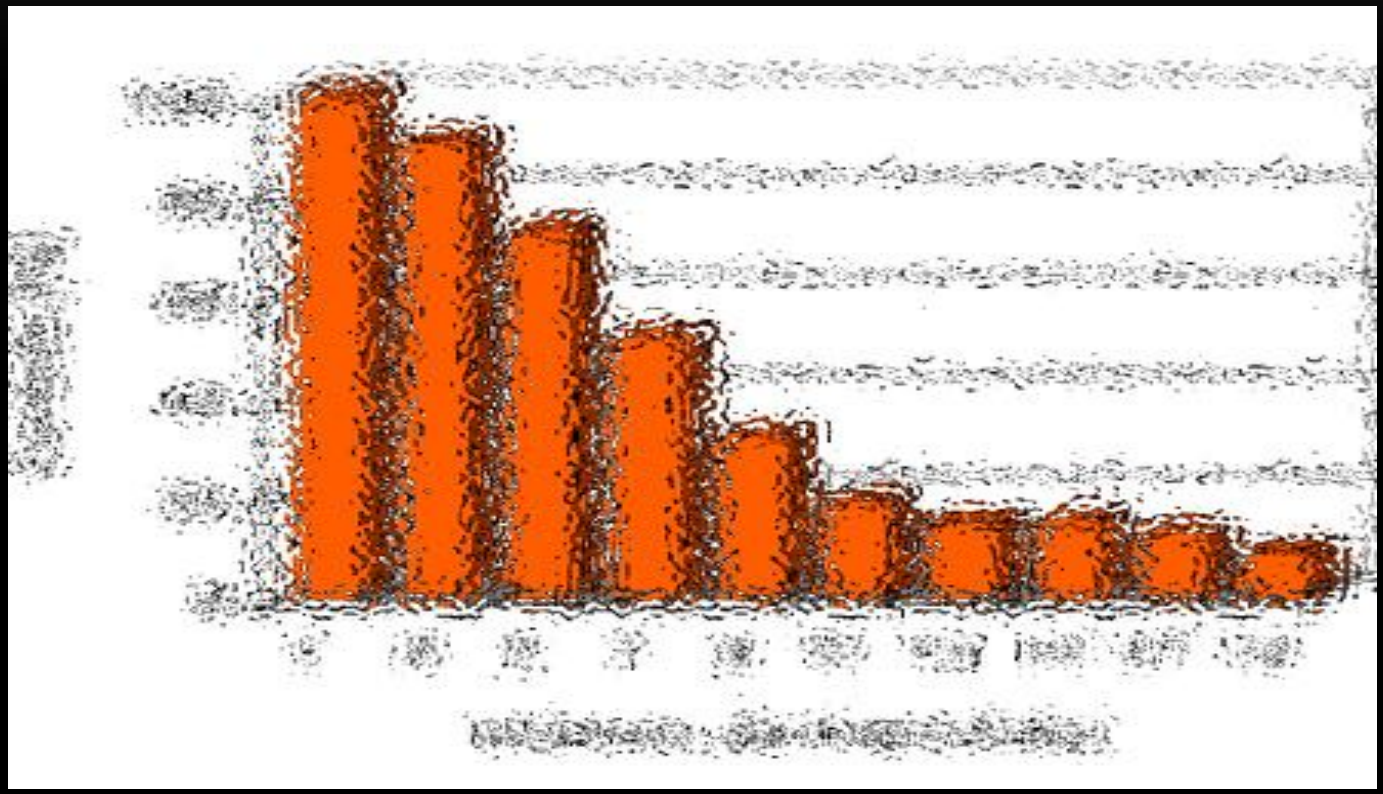


Almada - 2015

Indicador	Zona de Qualidade de Serviço	Padrão
SAIDI (min)	A	66,8
	B	63,21
	C	88,51
SAIFI (min)	A	0,95
	B	0,94
	C	1,47

Fonte: EDP Distribuição

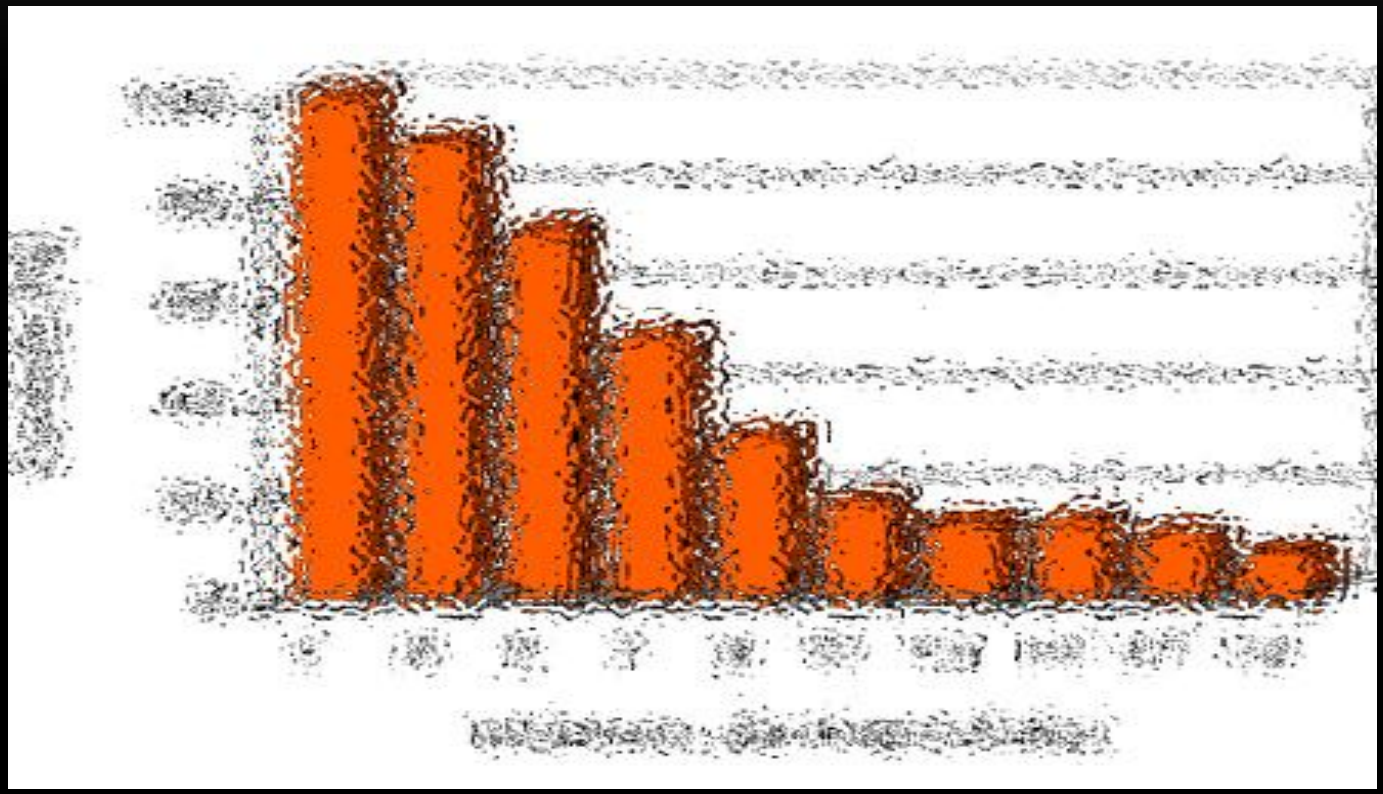
QUALIDADE DA ENERGIA ELÉCTRICA



QUALIDADE DA ENERGIA ELÉCTRICA

- Qualidade da Energia Elétrica - amplitude, frequência, forma da onda e simetria do sistema trifásico da tensão
- Qualidade da Energia Elétrica - characteristics of the electric current, voltage and frequency at a given point in an electric power system, evaluated against a set of reference technical parameters (www.electropedia.org)
- Qualidade da Energia Elétrica - The concept of powering and grounding sensitive equipment in a manner that is suitable for the operation of that equipment. (IEEE Standard 1159)

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO



CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO

- Frequência
- Valor eficaz da tensão
- Cavas de tensão (sag)
- Sobretensões (swells)
- Sobretensão transitória impulsiva (impulsive transient)
- Sobretensão transitória oscilatória (oscillatory transient)
- Tremulação (flicker) e Flutuações (fluctuations)
- Desequilíbrio do sistema trifásico de tensões
- Distorção harmónica
- Notching
- Interrupção

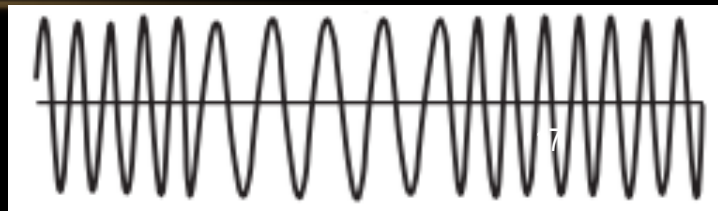
CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO - FREQUÊNCIA

O valor médio da frequência fundamental (50Hz), medido em intervalos de 10 segundos, deve estar compreendido entre os seguintes valores:

- 49,5 e 50,5 Hz (–1% e +1% de 50 Hz), durante 95% do tempo de medição de uma semana
- 47 e 52 Hz (–6% e +4% de 50 Hz), durante 100% do tempo de medição de uma semana.







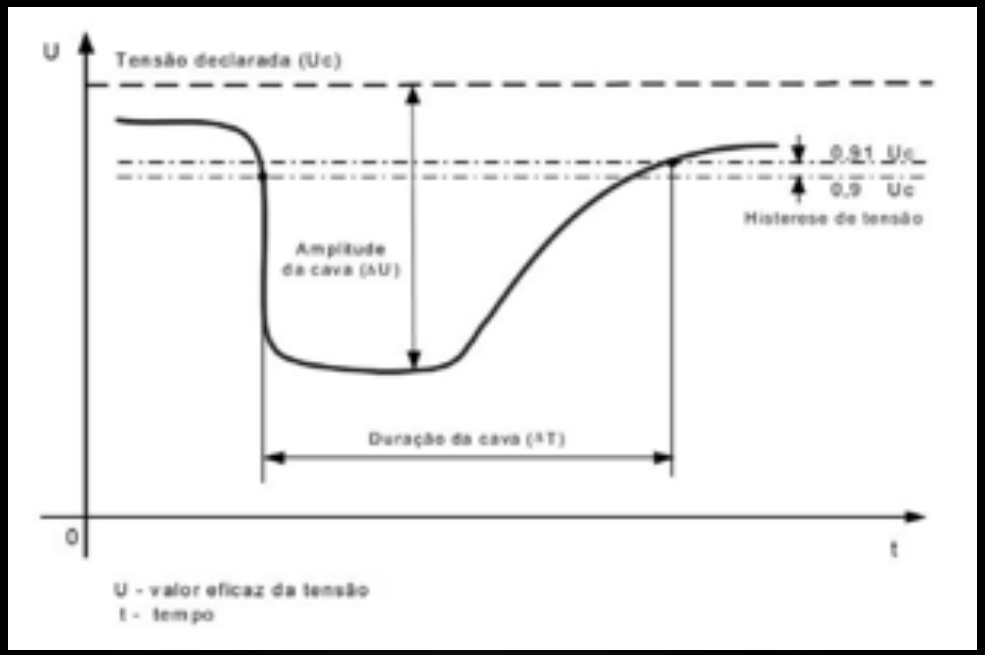
CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – VALOR EFICAZ

Tensão declarada (Uc) no Ponto de Entrega: Un ± 7% Un.

- 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos da tensão de alimentação devem estar compreendidos no intervalo Uc±5%Uc, sem ultrapassar a tensão máxima das respetivas redes, por cada período de medição de uma semana.

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – CAVAS DE TENSÃO (SAG)

Diminuição brusca da tensão de alimentação para valores situados entre 90% e 1% da tensão declarada, durante períodos de 10 milissegundos a 1 minuto.



Fonte: Regulamento RQS

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – CAVAS DE TENSÃO (SAG)

- Defeitos nos sistemas de transmissão e distribuição
- Arranque de cargas de potencia elevada
- Defeitos no sistema de neutro
- Sistemas de comutação no cliente
- Perturbação no funcionamento de equipamentos
- Diminuição no rendimento de equipamento electromecânico

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – SOBRETENSÕES (SWELLS)

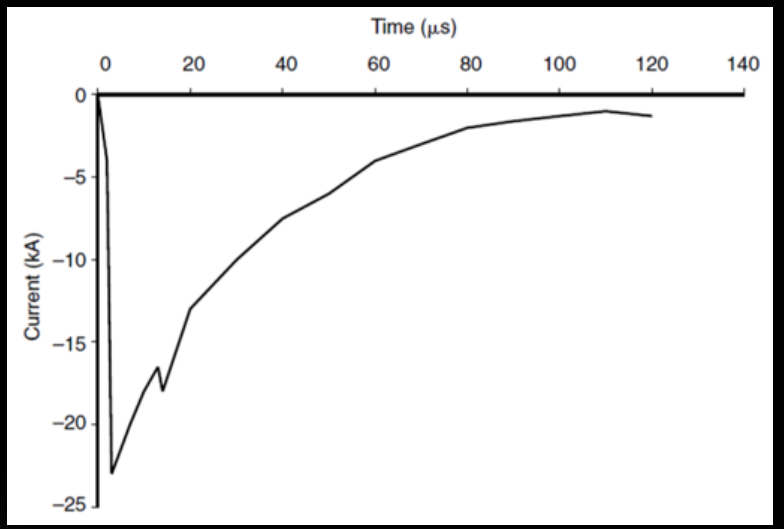
Variações extremamente rápidas da tensão, com durações tipicamente compreendidas entre os micro e os mili-segundos

	Duração	Taxa de crescimento	Amortecimento com a distância
Descargas atmosféricas	Muito curta (micro segundos)	Muito alta (1000kV/microseg)	Forte
Descargas electroestáticas	Muito curta (nano segundos)	Alta	Muito forte
Comutação	Curta (mili segundos)	Media	Médio
Sobretensões temporárias a 50Hz	Longa/muito longa (segundos/horas)		Inexistente

Fonte: Manual de Qualidade da Energia Elétrica

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – SOBRETENSÃO TRANSITÓRIA IMPULSIVA (IMPULSIVE TRANSIENT)

- Variação unidirecional da tensão, acontecendo de forma mais frequente quando uma descarga elétrica atmosférica atinge diretamente algum ponto da rede elétrica
- Geralmente, o seu efeito não vai muito além da zona de ocorrência

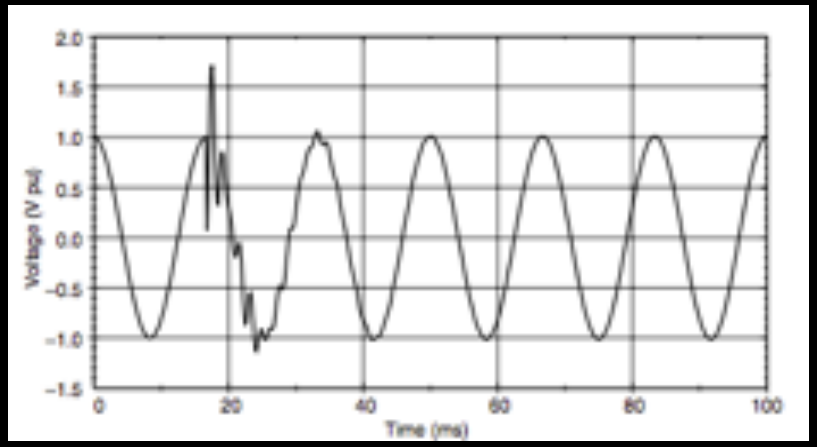


Fonte: Dugan et al

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – SOBRETENSÃO TRANSITÓRIA OSCILATÓRIA (OSCILLATORY TRANSIENT)

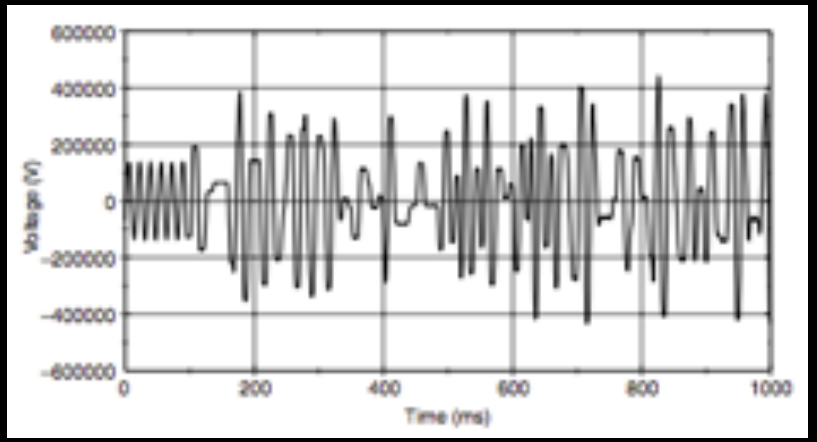
- Variação bidirecional da tensão, geralmente consequência de da excitação de uma frequência natural dos sistemas elétricos

Banco de condensadores



Fonte: Dugan et al

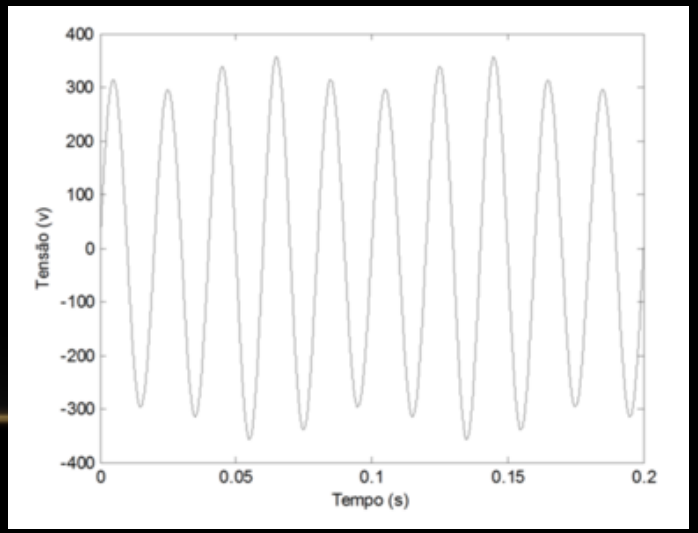
Transformador em vazio



Fonte: Dugan et al

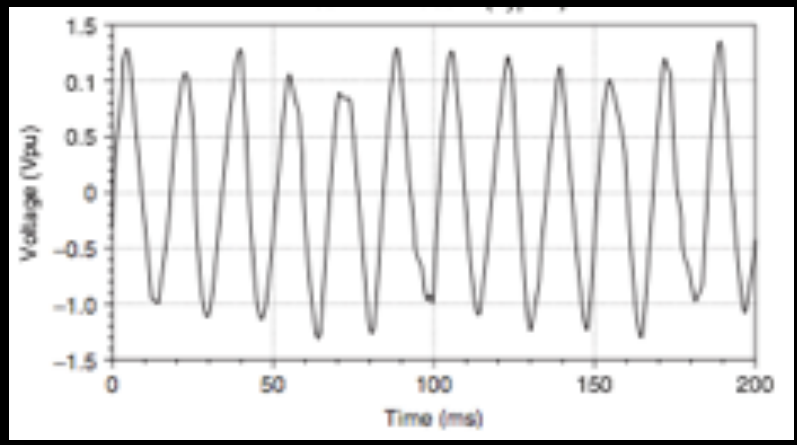
CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – FLUTUAÇÕES (FLUCTUATIONS)

- Correspondem a pequenas variações no valor eficaz da tensão (±5%)
- Variações sistemáticas da amplitude da tensão (não excedendo 10%)
- Variações aleatórias na forma de onda: Tremulação (flicker)



CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – TREMULAÇÃO (FLICKER)

- Provocadas por cargas de grande potência, com regimes de funcionamento instáveis:
  - fornos de arco
  - equipamentos de soldar



Fonte: Kusko et al

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – DESEQUILÍBRIO DO SISTEMA TRIFÁSICO DE TENSÕES

Em condições normais de exploração, para cada período de uma semana, 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos da componente inversa das tensões não devem ultrapassar 2% da correspondente componente direta.

- Sistemas de geração distribuída
- Distribuição assimétrica de cargas
- Diminuição do binário nominal em motores de indução
- Sobreaquecimento dos transformadores de potência

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – DESEQUILÍBRIO DO SISTEMA TRIFÁSICO DE TENSÕES

Cadauma das tensões trifásicas corresponde à soma vectorial das suas componentes de sequência positiva, negativa e homopolar (componentes de Fortescue ou simétricas)

Num sistema equilibrado existe apenas componente simétrica

O desequilíbrio (D) de um sistema trifásico de tensões é obtido pela razão entre a componente inversa e a componente directa

$$D = \frac{\text{Diferença entre a tensão com maior desvio e a média das três tensões}}{\text{Média das três tensões}} (\%)$$

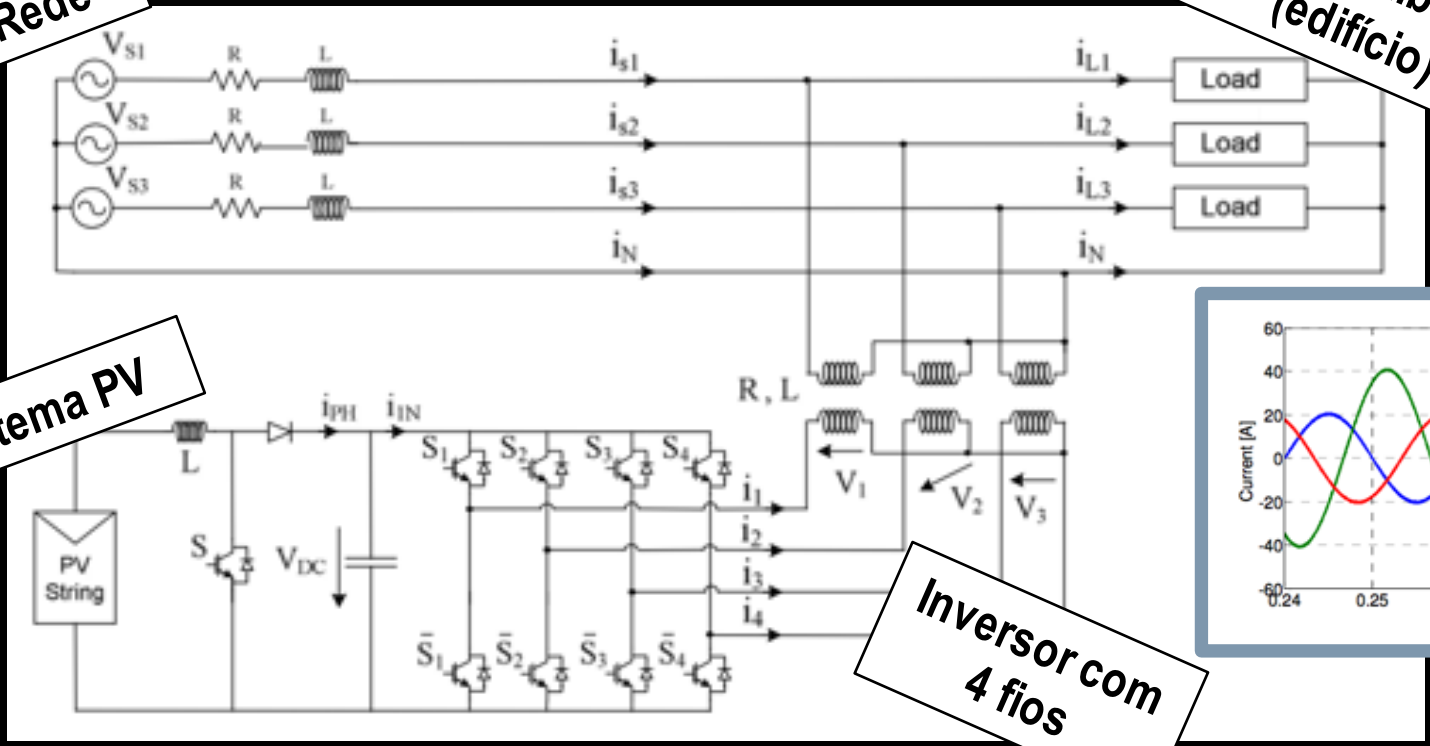
CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – DESEQUILÍBRIO DO SISTEMA TRIFÁSICO DE TENSÕES

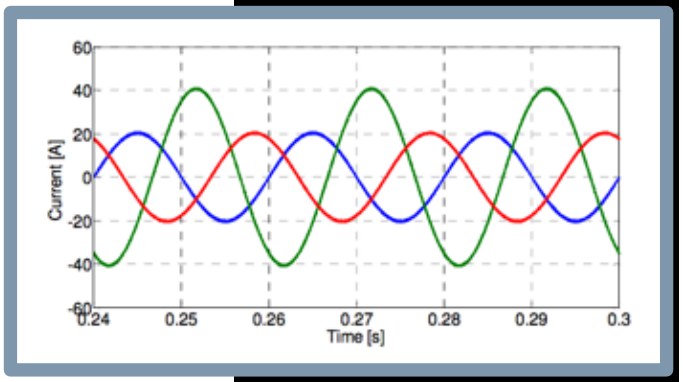
Rede

Carga desequilibrada (edifício)

Sistema PV

Inversor com 4 fios



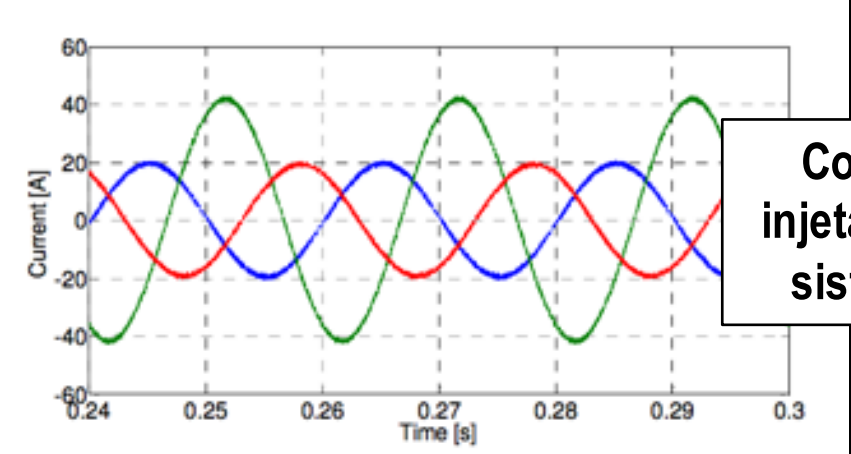


Fonte: Pires et al

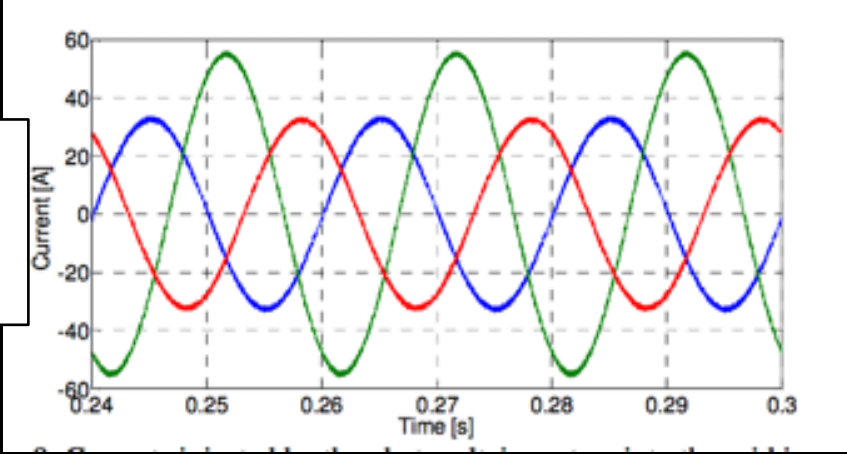
CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – DESEQUILÍBRIO DO SISTEMA TRIFÁSICO DE TENSÕES

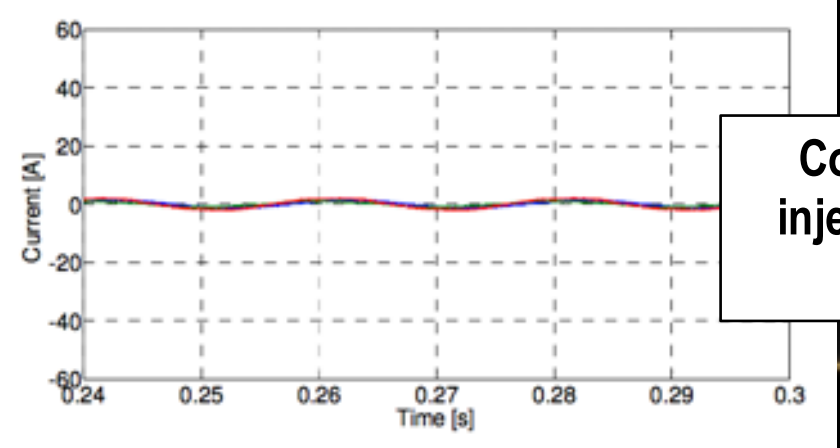
Compensação total do desequilíbrio

Sobrecompensação do desequilíbrio

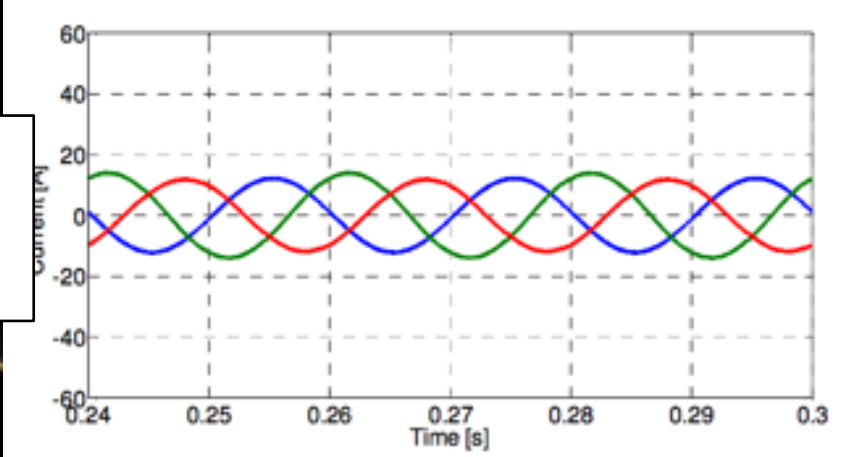


Correntes injetadas pelo sistema PV





Correntes injetadas na rede



CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – DISTORÇÃO HARMÓNICA

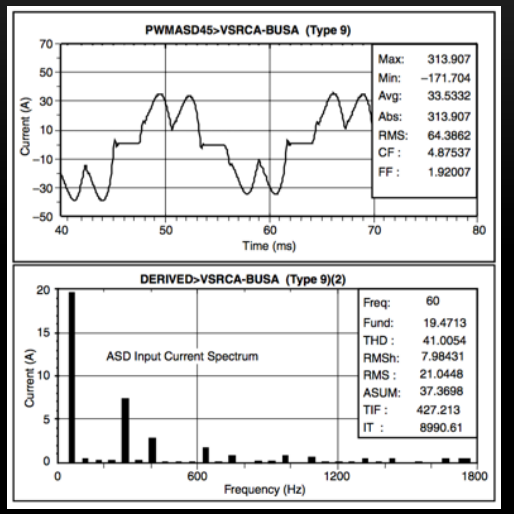
- A distorção harmónica total não deverá ser superior a 4%.
- Em condições normais de exploração, 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos de cada tensão harmónica não devem exceder os níveis de referência a seguir indicados por cada período de medição de uma semana.

Níveis de referência MAT

Harmónicas ímpares não múltiplas de três		Harmónicas ímpares múltiplas de três		Harmónicas pares	
Ordem (h)	Tensão harmónica (em percentagem)	Ordem (h)	Tensão harmónica (em percentagem)	Ordem (h)	Tensão harmónica (em percentagem)
5	3,0	3	2,0	2	1,5
7	2,0	9	1,0	4	1,0
11	1,5	15	0,3	6	0,5
13	1,5	21	0,2	8	0,4
17	1,0	>21	0,2	10	0,4
19	1,0			12	0,2
23	0,7			>12	0,2
25	0,7				
>25	0,2+0,5*25/h				

Fonte: Regulamento RQS

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – DISTORÇÃO HARMÓNICA



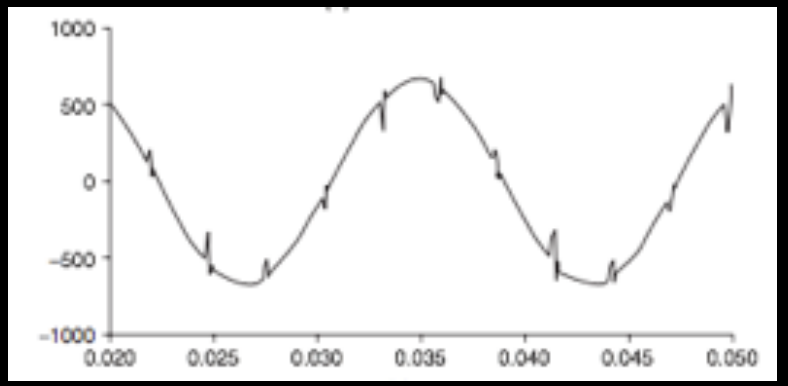
Fonte: Dugan et al

- Essencialmente causada pelas cargas
- Existem várias consequencias
  - sobreaquecimento do equipamento
  - degradação do fator de potência
  - diminuição do rendimento de máquinas eléctricas
  - possibilidade de ressonância
  - interferência electromagnética
  - erros de medida em aparelhos com determinação do valor médio
  - aumento da corrente de neutro

CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO – NOTCHING

Diminuições repetitivas no nivel de tensão com muito curta duração

- Essencialmente causada pela comutação nos conversores eletrónicos de potência
- Diminui o valor eficaz da tensão
- Harmónicas de alta frequência



Fonte: Kusko et al

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (AT)

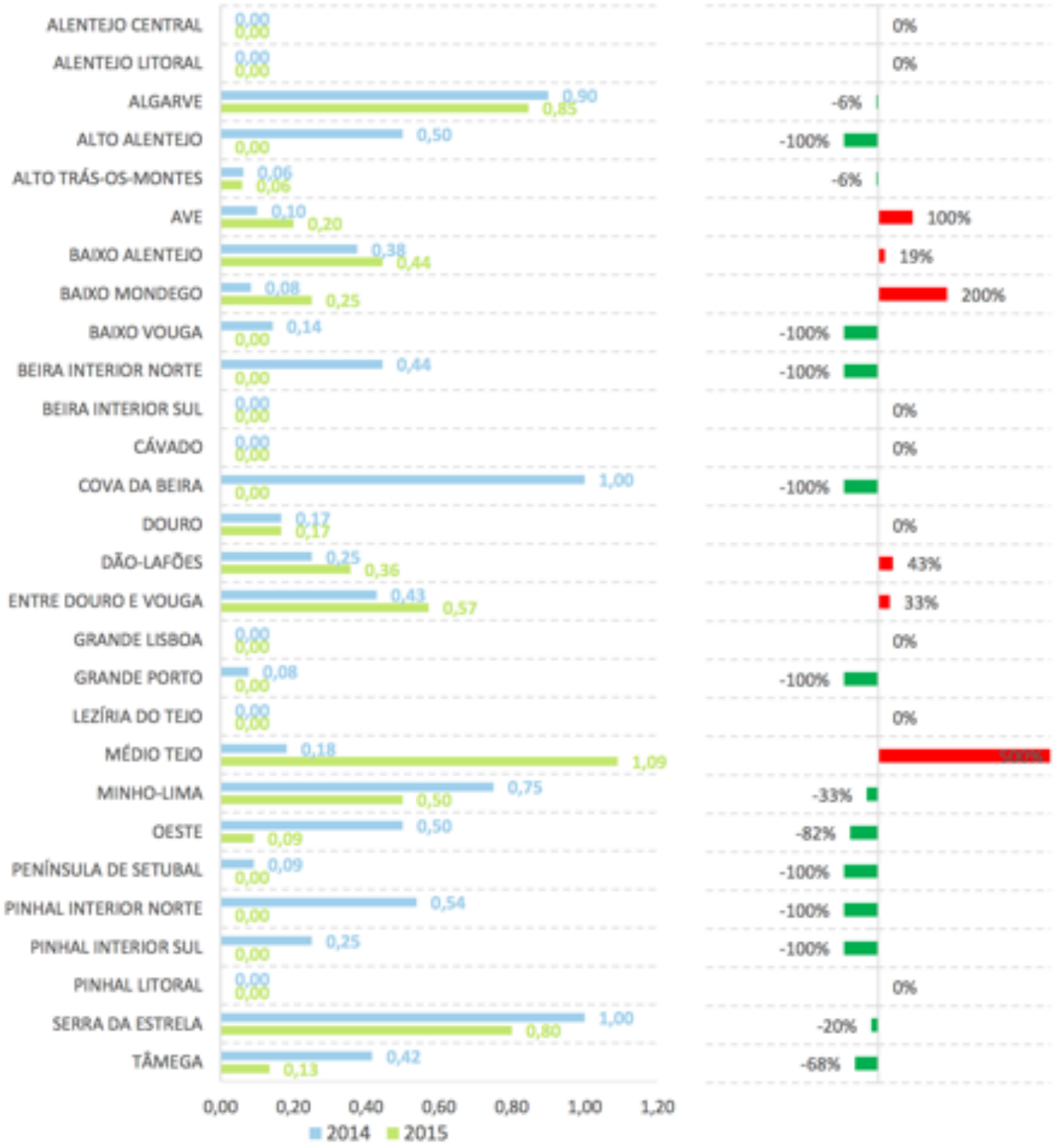


Gráfico 3.3 – Indicador SAIFI AT por regiões NUTS III e respetiva variação 2015/2014

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (AT)

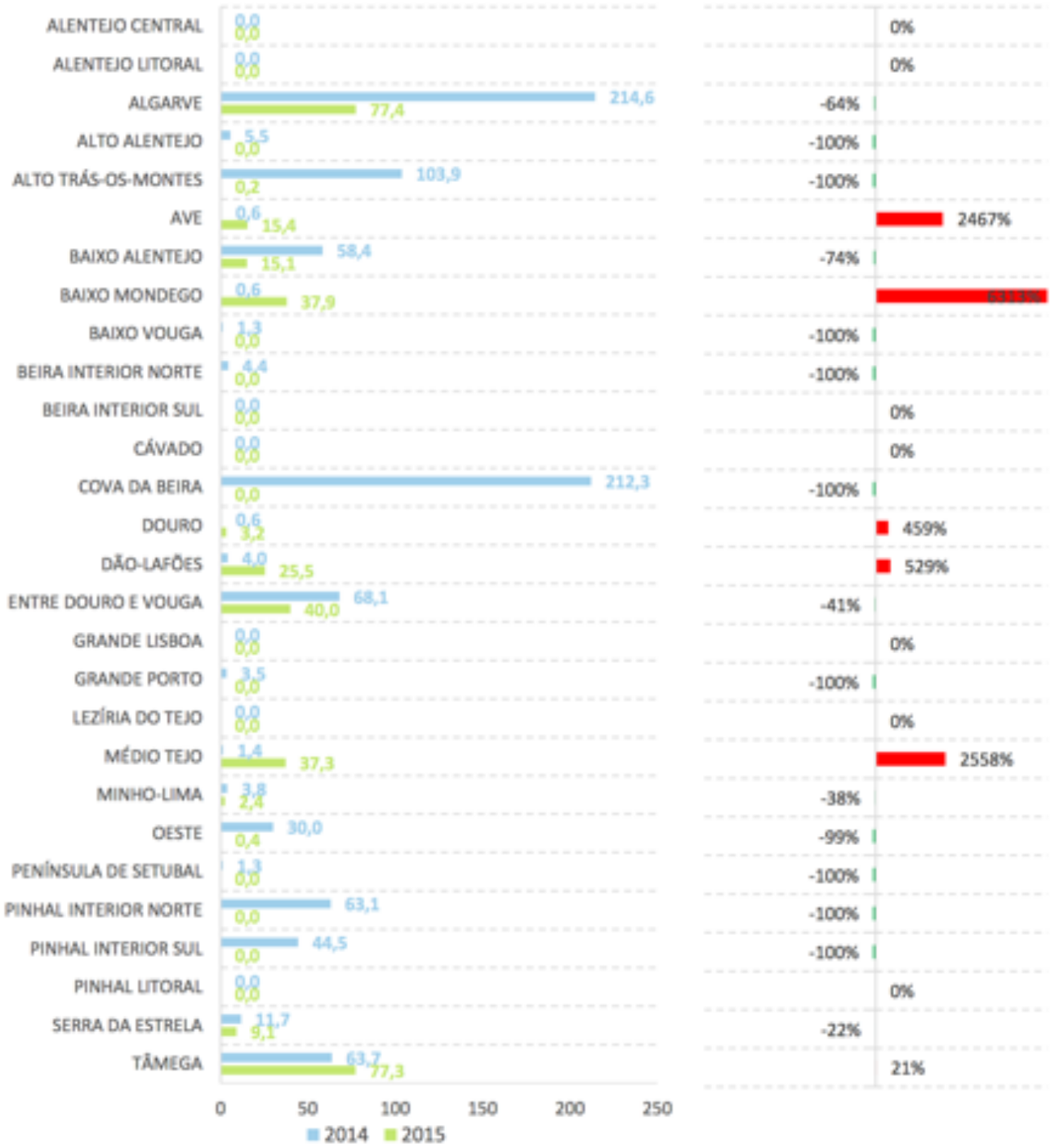


Gráfico 3.4 – Indicador SAIDI AT por regiões NUTS III e respetiva variação 2015/2014

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (MT)

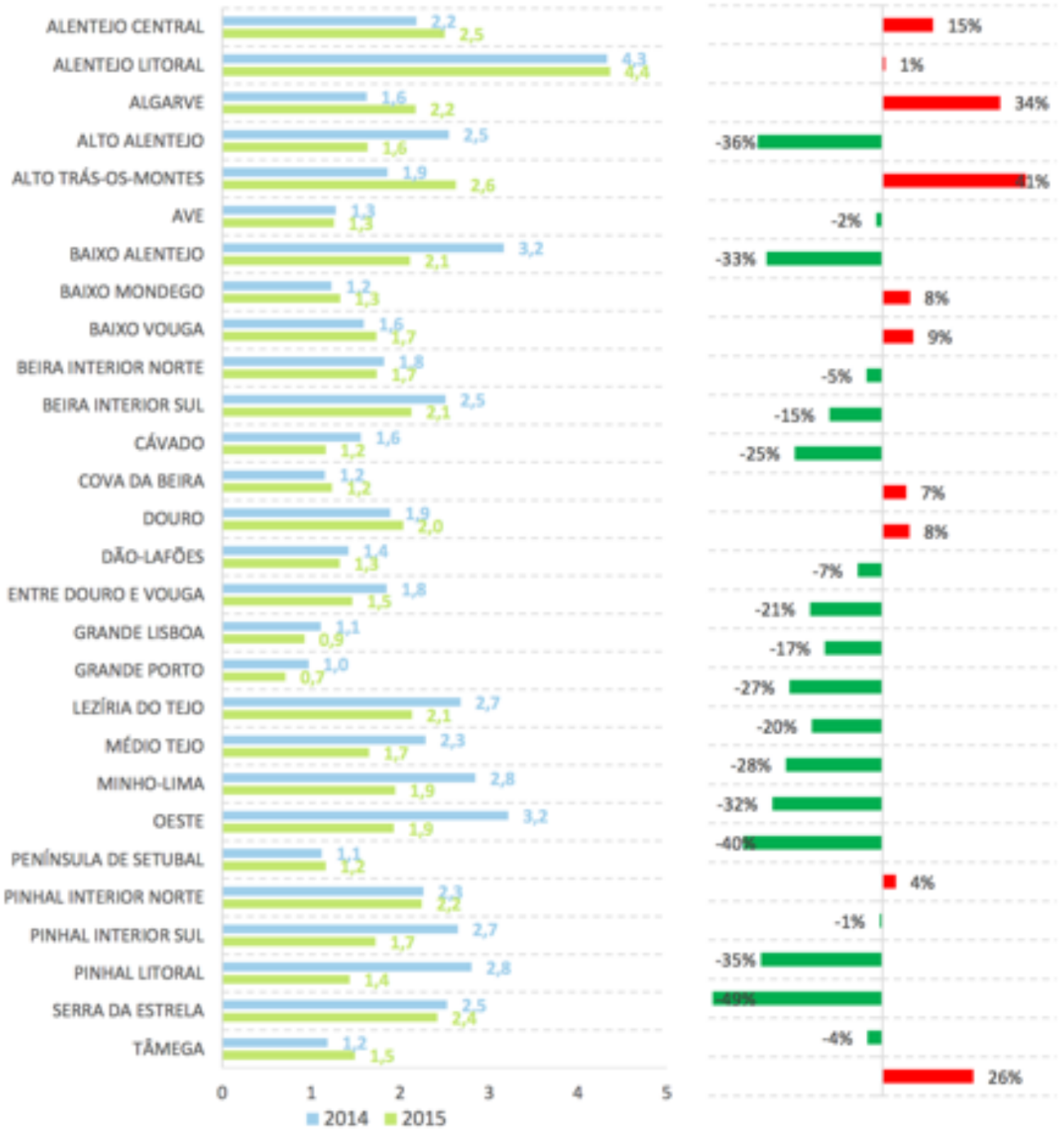


Gráfico 3.13 – Indicador SAIFI MT por regiões NUTS III e respetiva variação 2015/2014

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (MT)

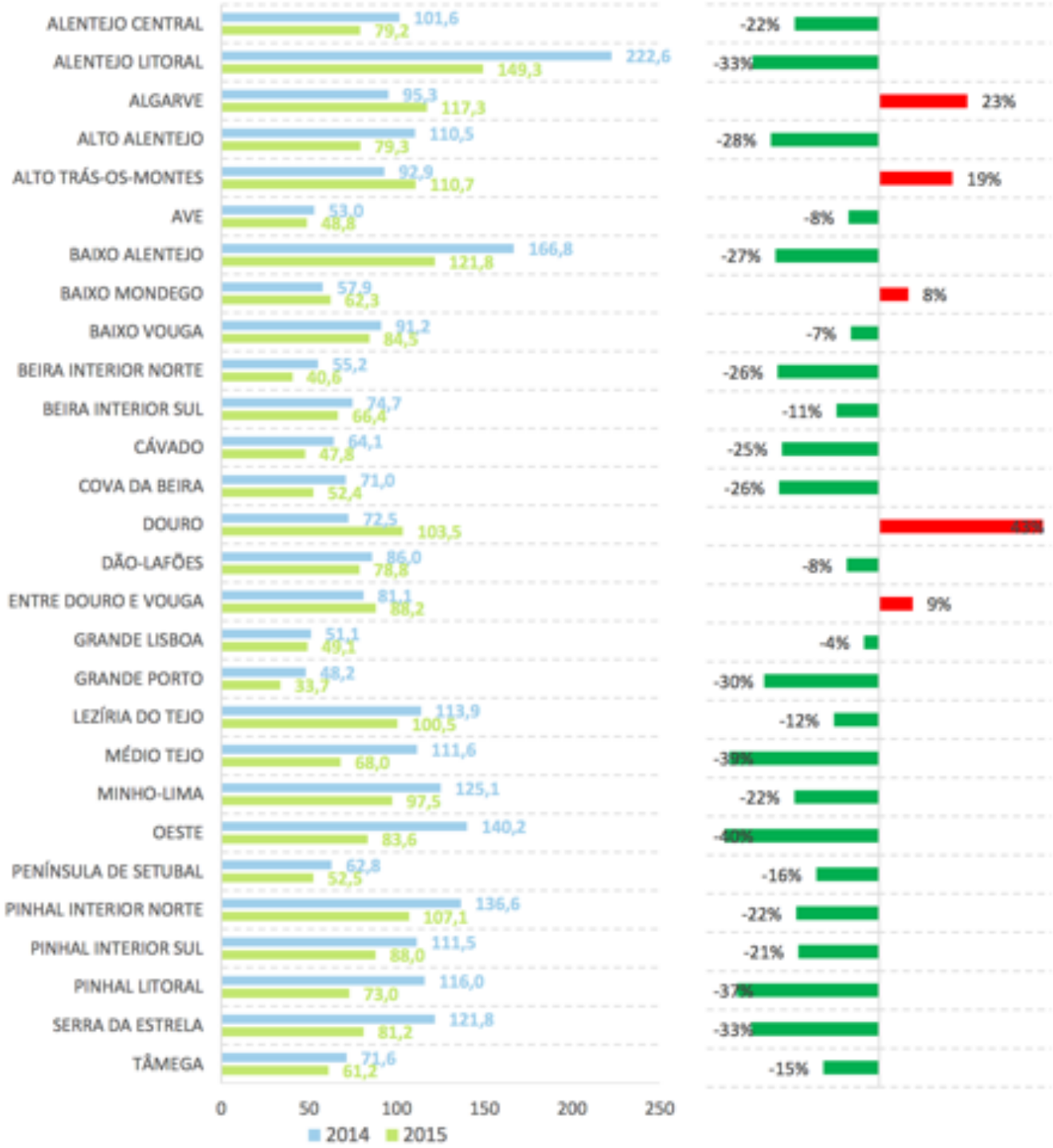


Gráfico 3.14 – Indicador SAIDI MT por regiões NUTS III e respetiva variação 2015/2014

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (BT)

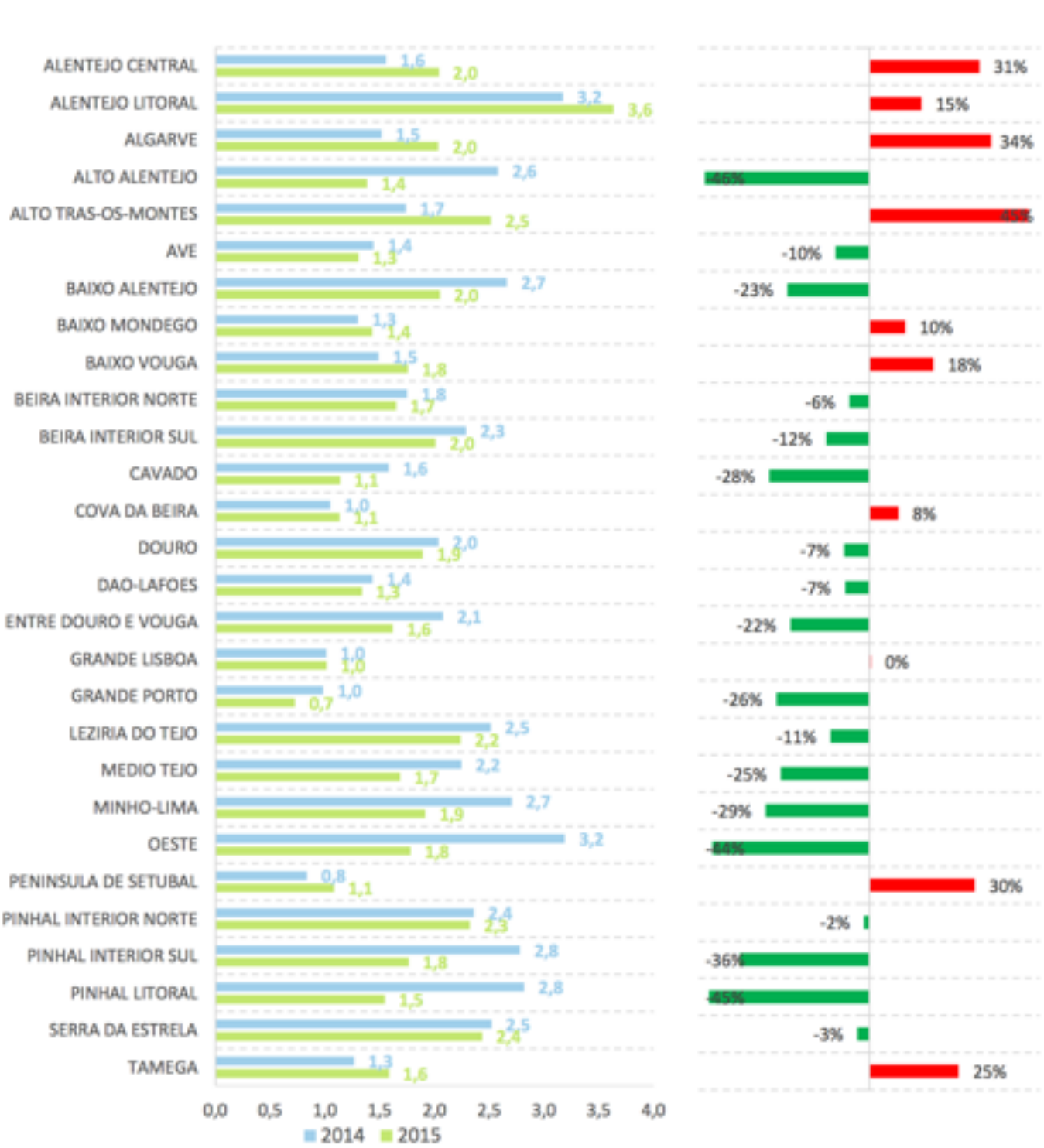


Gráfico 3.20 – Indicador SAIFI BT por regiões NUTS III e respetiva variação 2015/2014

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (BT)

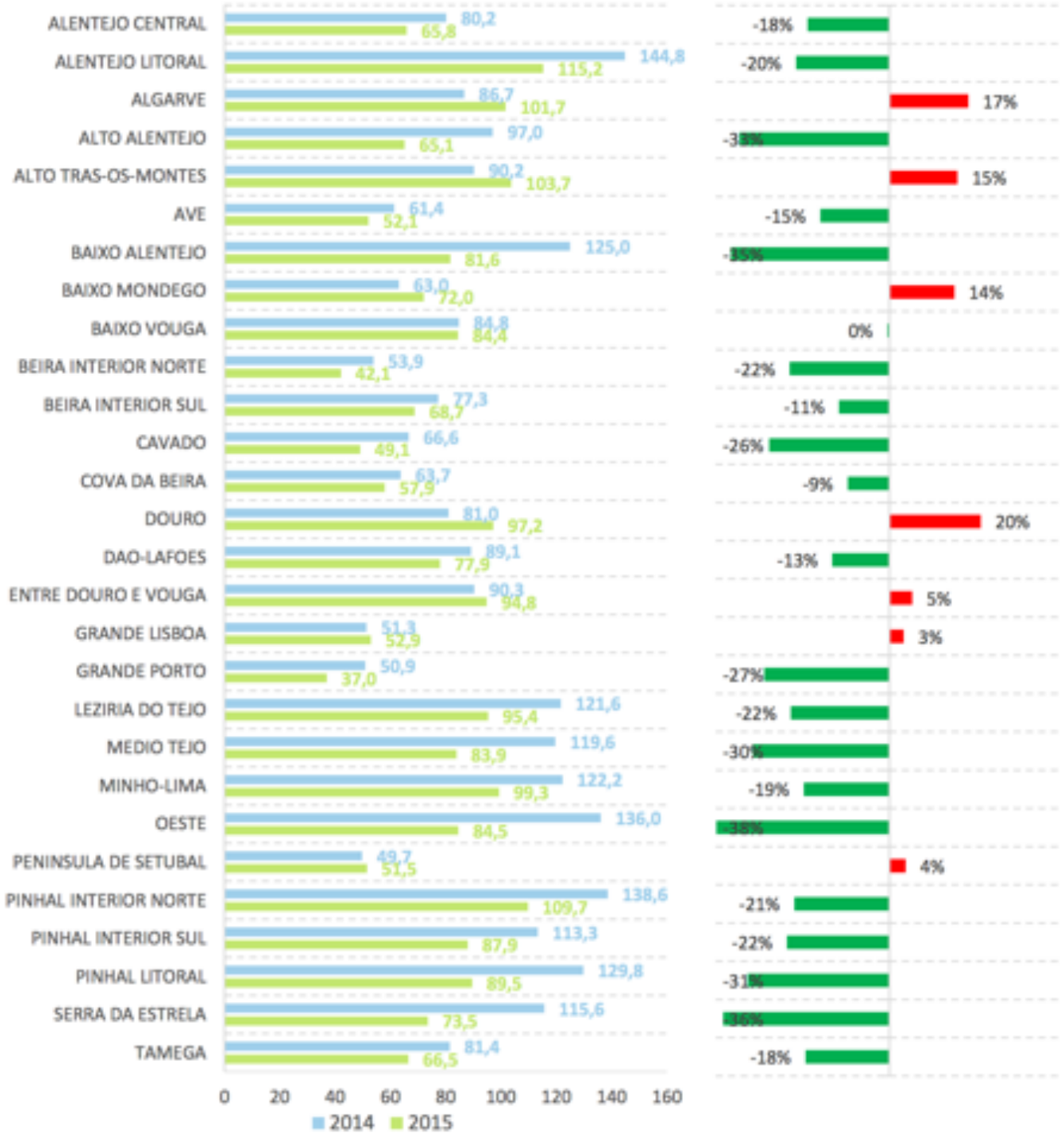


Gráfico 3.21 – Indicador SAIDI BT por regiões NUTS III e respetiva variação 2015/2014

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (MT)

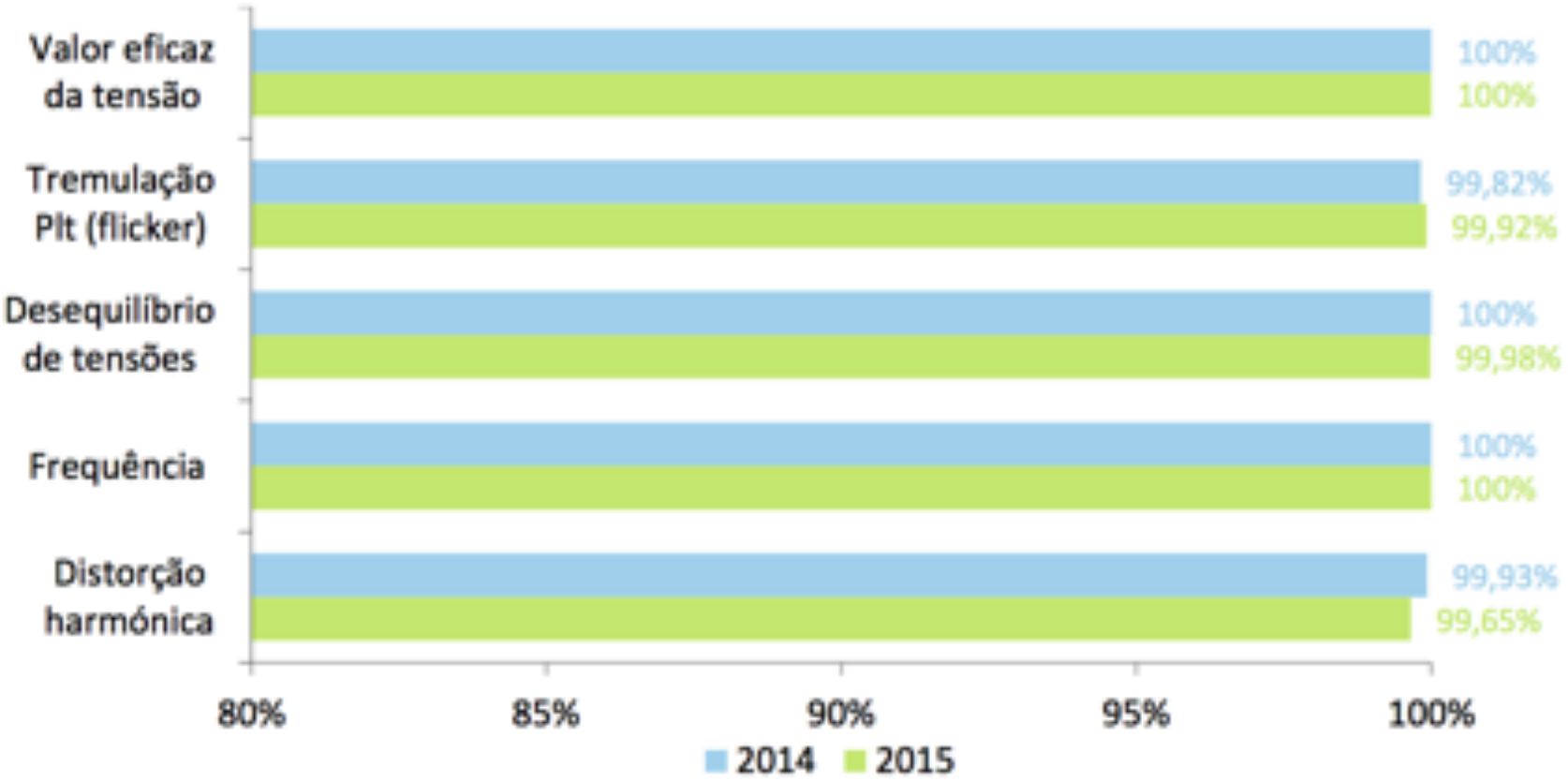


Gráfico 3.24 - Evolução da conformidade de tensão com a NP EN 50160 (percentagem de semanas) nos barramentos MT no período 2014-2015

QUALIDADE DE SERVIÇO – EDP (BT)

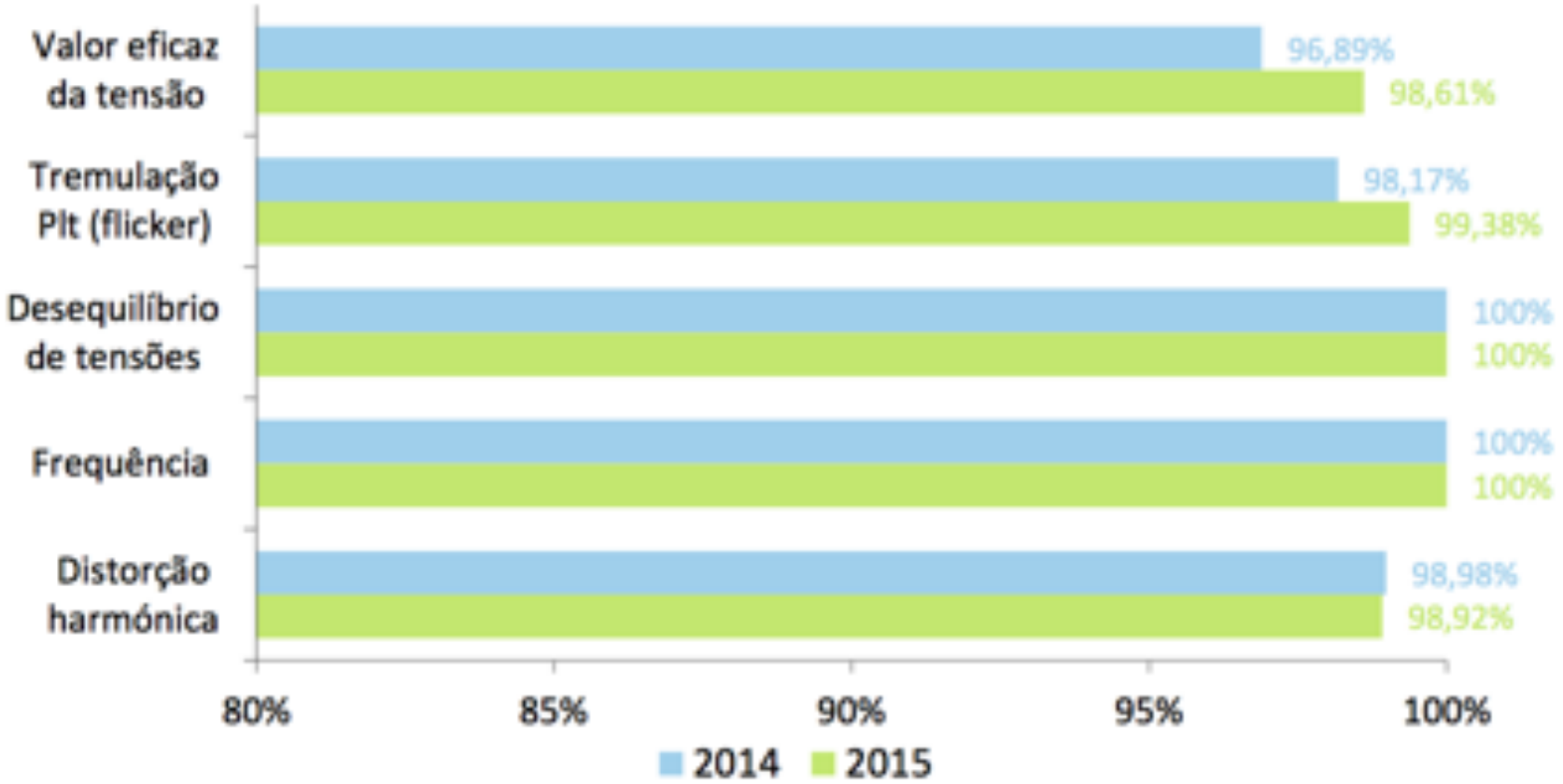


Gráfico 3.28 - Evolução da conformidade de tensão com a NP EN 50160 (percentagem de semanas) nos barramentos BT no período 2014-2015

RESUMO

- O Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS) engloba:
  - **Continuidade de Serviço** (caracterizada pela frequência e duração das interrupções de fornecimento de energia eléctrica)
  - **Qualidade da Energia Eléctrica** (caracterizada pela forma da onda de tensão, amplitude, frequência e simetria do sistema trifásico de tensões)
  - **Qualidade Comercial**
- A qualidade de serviço é melhor para niveis superiores de tensão
- A qualidade da energia elétrica está dependente do fornecedor, equipamentos e consumidor

BIBLIOGRAFIA

- Regulamento n.º 455/2013 - Regulamento da Qualidade de Serviço do setor elétrico e respetivo Manual de Procedimentos
- Diretiva n.º 20/2013 - Parâmetros de Regulação da Qualidade de Serviço do setor elétrico
- EDP, Relatório de Qualidade de Serviço, 2015
- EDP/ISR, Manual da qualidade da energia eléctrica, Dezembro 2005
- A. Kusko e M. T. Thompson, Power Quality in Electrical Systems, McGraw-Hill, 2007
- R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso e H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 2004
- V. F. Pires, O. Husev, D. Vinnikov and J. F. Martins, "A control strategy for a grid-connected PV system with unbalanced loads compensation," 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), Costa da Caparica, 2015, pp. 154-159.
- W. E. Kazibwe, R. J. Ringlee, G. W. Woodzell and H. M. Sendaula, "Power quality: a review," in IEEE Computer Applications in Power, vol. 3, no. 1, pp. 39-42, Jan. 1990.
- B. A. Ahmad, H. H. ElSheikh and A. Fadoun, "Review of power quality monitoring systems," 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), Dubai, 2015, pp. 1-8.