

## IMPACTOS DE GD PARA A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Mateus Duarte Teixeira - UFPR

# Sobre o que falaremos...

1. Fontes renováveis e sua conexão à rede elétrica
2. Capacidade de hospedagem
3. O que se entende por qualidade de energia elétrica
4. O que já se sabe sobre os impactos da renováveis para a QEE?
5. Soluções para problemas de QEE em instalações de renováveis
6. Conclusões

# Sobre renováveis como Geração Distribuída (GD)...

- ✓ Geração distribuída é o termo dado à energia elétrica gerada no local de consumo ou próximo a ele, sendo válida para diversas fontes de energia renováveis, como a energia solar, eólica e hídrica.
- ✓ A “antiga” Resolução Normativa n.º 1059, estabeleceu as condições regulatórias para a inserção da geração distribuída na matriz energética brasileira, apresentou as seguintes definições:
  - **Microgeração distribuída:** sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência **até 75 kW**;
  - **Minigeração distribuída:** sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com **potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW (3 MW desde 01/2023, mas não se aplica para fontes despacháveis)**.

<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>

# Quais os principais tipos Geração Distribuída?

- ✓ Conexão direta
  - Cogeradores
  - Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)
  - Grupo motor gerador à combustão



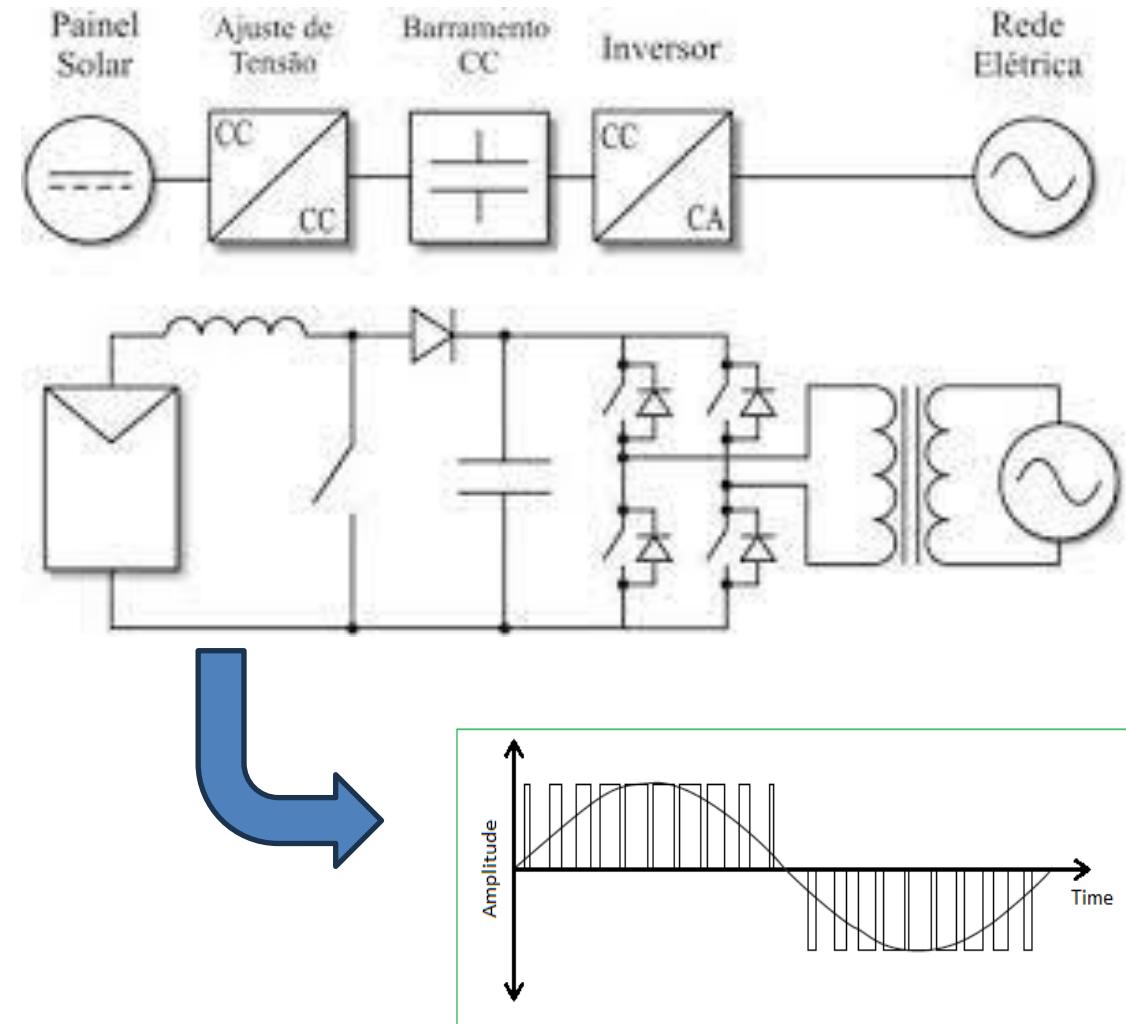
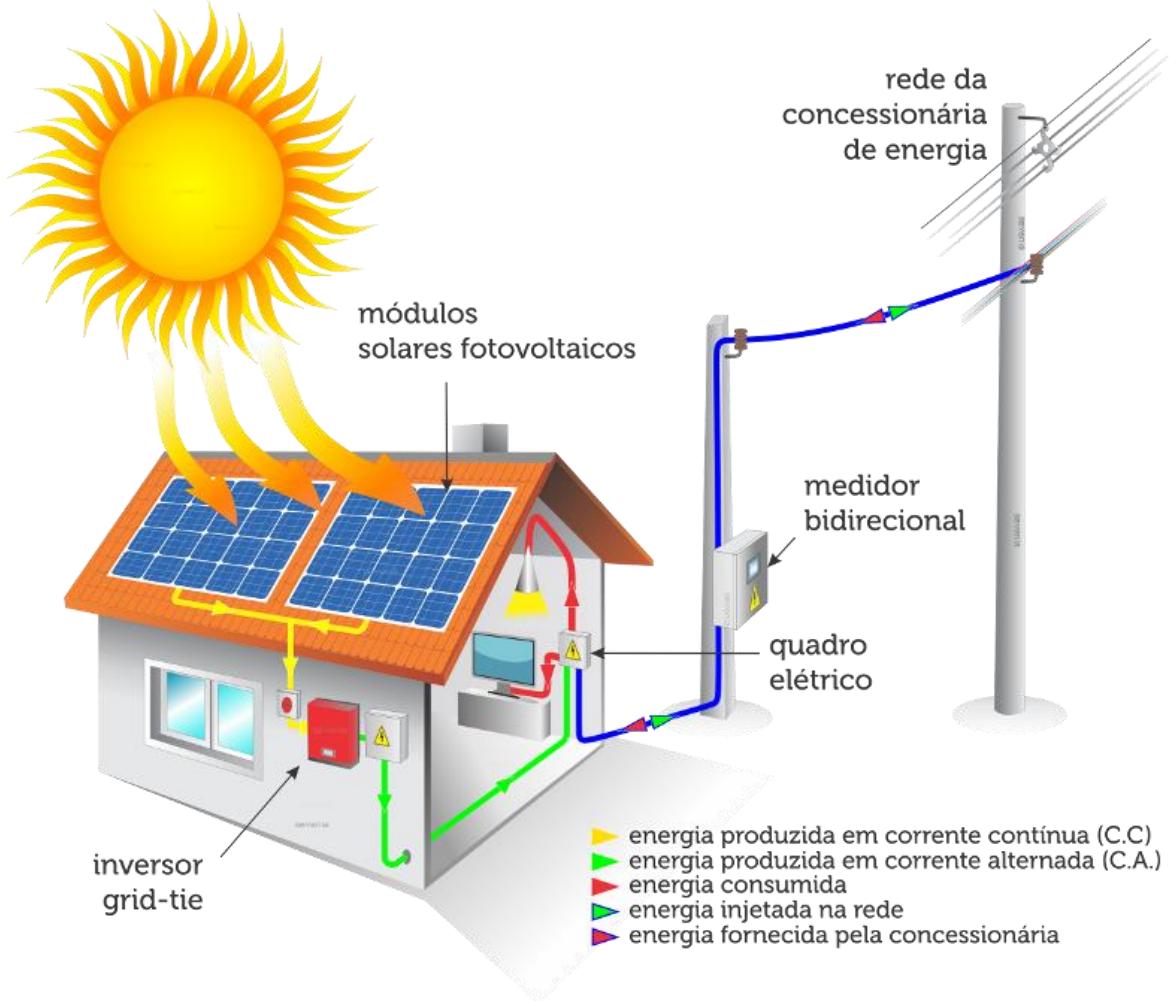
# Quais os principais tipos Geração Distribuída?

- ✓ Conexão direta
  - Cogeradores
  - Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)
  - Grupo motor gerador à combustão

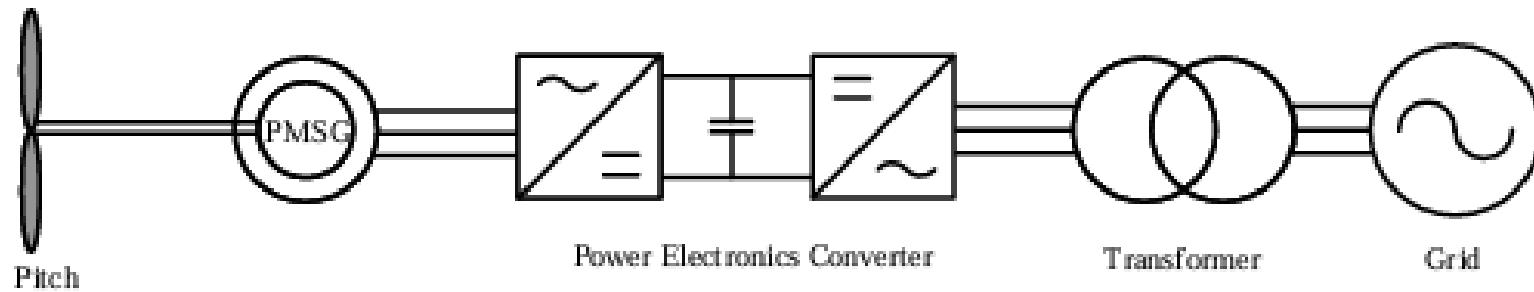
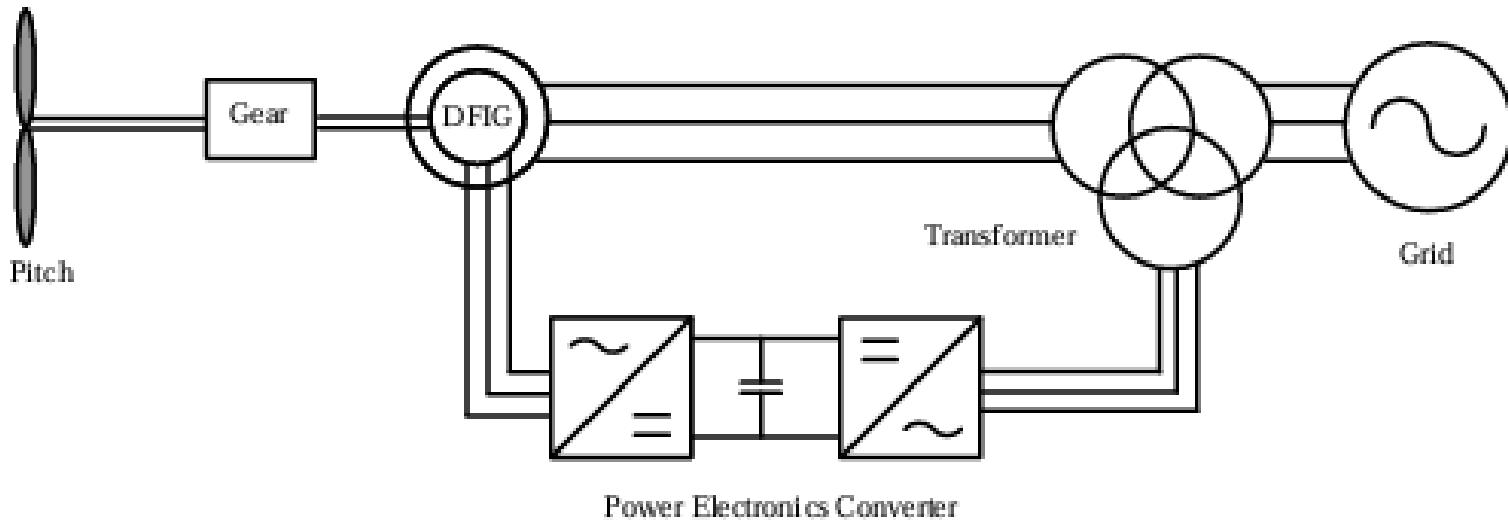
- ✓ Conexão via inversores/conversores
  - Fotovoltaica
  - Eólica
  - Células a combustível
  - Sistemas de armazenamento de energia
  - Microturbina



# Como é feita a conexão de GD na rede elétrica?

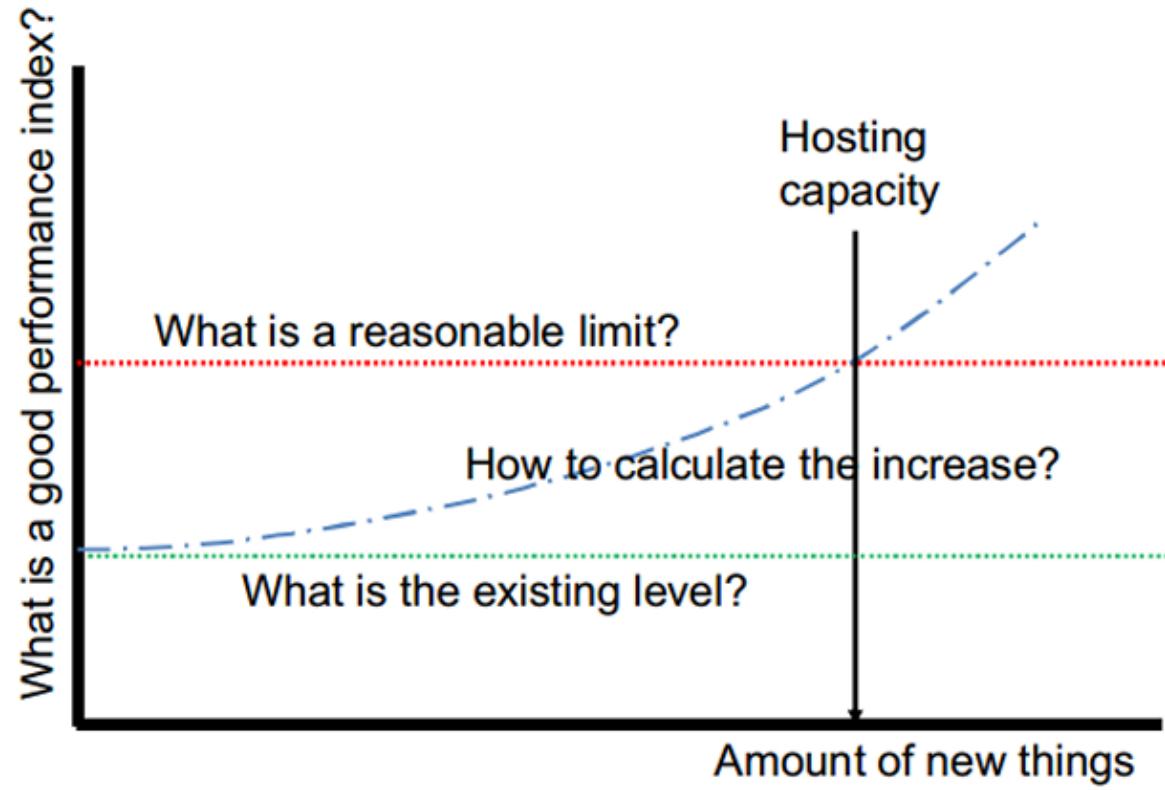


# Como é feita a conexão dos geradores eólicos?



# O que é capacidade de hospedagem de GD na rede elétrica?

A Capacidade de Hospedagem (CH) é a potência de um determinado recurso energético que pode ser conectado a uma rede elétrica **sem afetar a qualidade da energia** fornecida antes que melhorias ou reforços precisem ser executados na infraestrutura desta rede.



<https://inergial.com.br/>

# O que é Qualidade da Energia Elétrica - QEE?

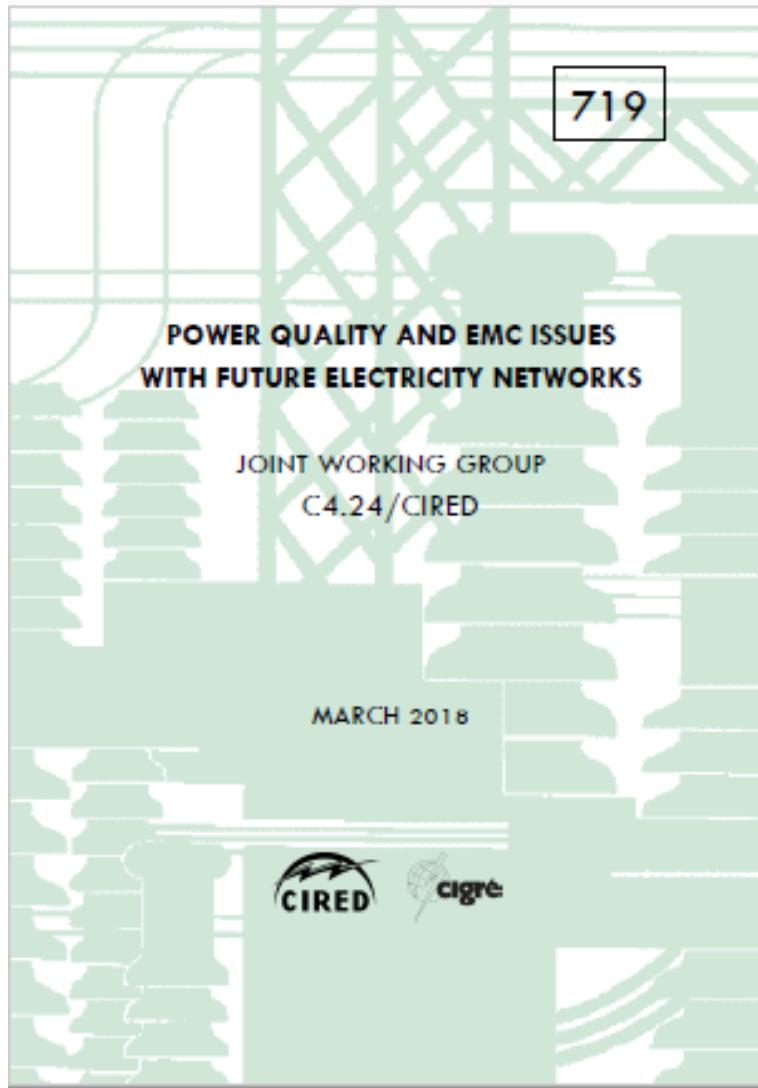
- ✓ "Qualquer desvio na magnitude, fase, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, que resulte em falha ou operação indevida de equipamentos e sistemas elétricos"
- ✓ Energia elétrica é um produto como qualquer outro, então pode ser mensurado em termos qualitativos;
- ✓ No Brasil observamos se a tensão...
  - ✓ Tem uma forma de onda senoidal constante, apenas contendo frequência fundamental;
  - ✓ Forma um sistema de energia trifásico simétrico com ângulo de 120°;
  - ✓ Tem um valor constante rms, inalterado ao longo do tempo;
  - ✓ Não é afetado por alterações da carga;
  - ✓ Possui frequência constante igual a 60 Hz
  - ✓ É confiável, ou seja, disponível quando necessário;

**Se todas estas características são mantidas ideias ou dentro de limites aceitáveis, dizemos que o suprimento de energia tem “Qualidade”.**

# Por que se preocupar com a QEE?

- ✓ Aumento de custos e/ou prejuízos em consumidores e para concessionárias;
  - ✓ Queima ou redução de vida útil de equipamentos
  - ✓ Paradas de processos e perda de material
  - ✓ Perda de produtividade
- ✓ Impactos econômicos nas concessionárias com multas e penalidades;
- ✓ Custos para solucionar o problema;
- ✓ Fabricantes preocupados com a suportabilidade de seus equipamentos;
  - ✓ Mercado competitivo
  - ✓ Características do equipamento para suportar perturbações

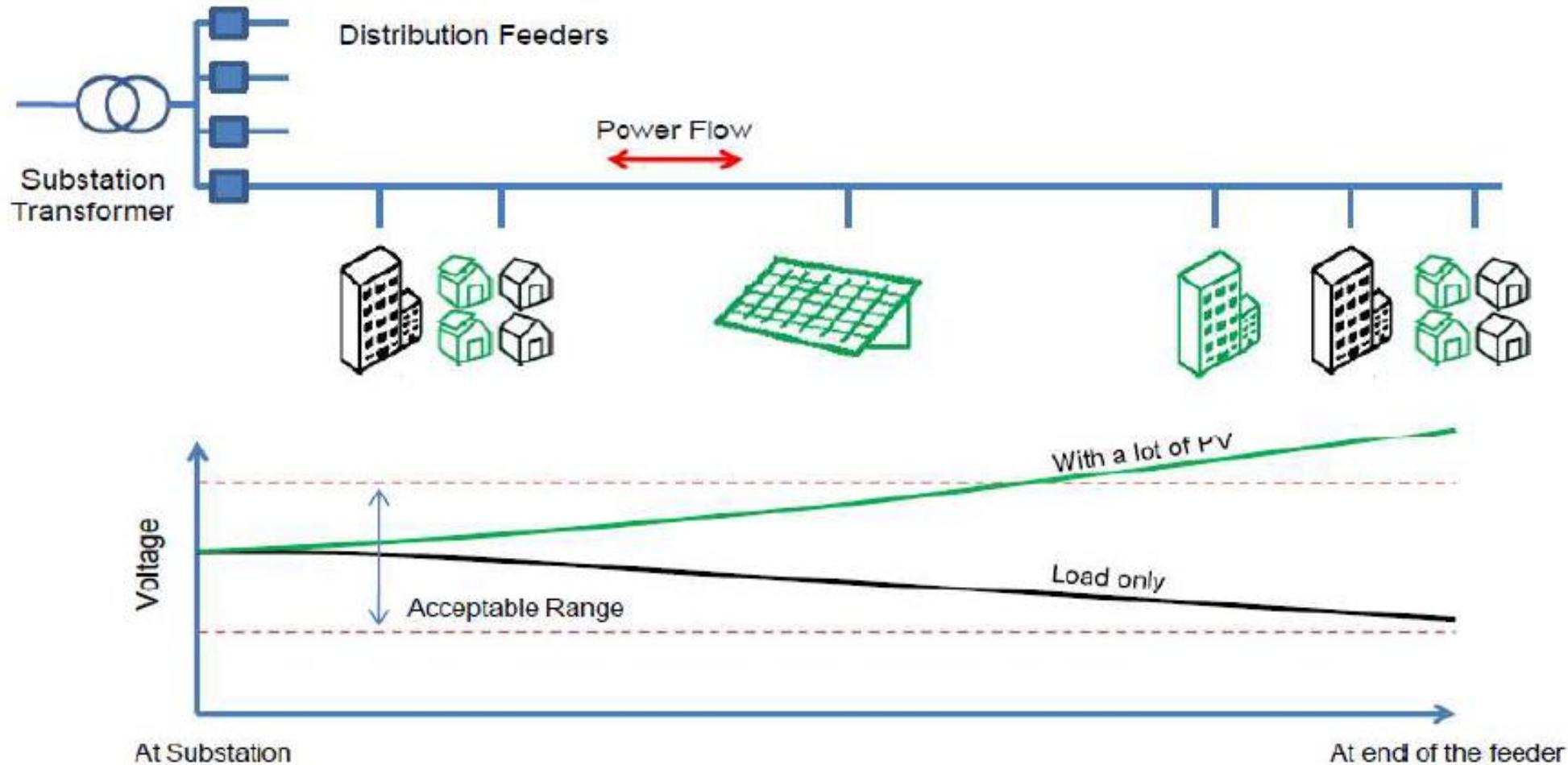
# O que já se sabe sobre os impactos da renováveis para a QEE?



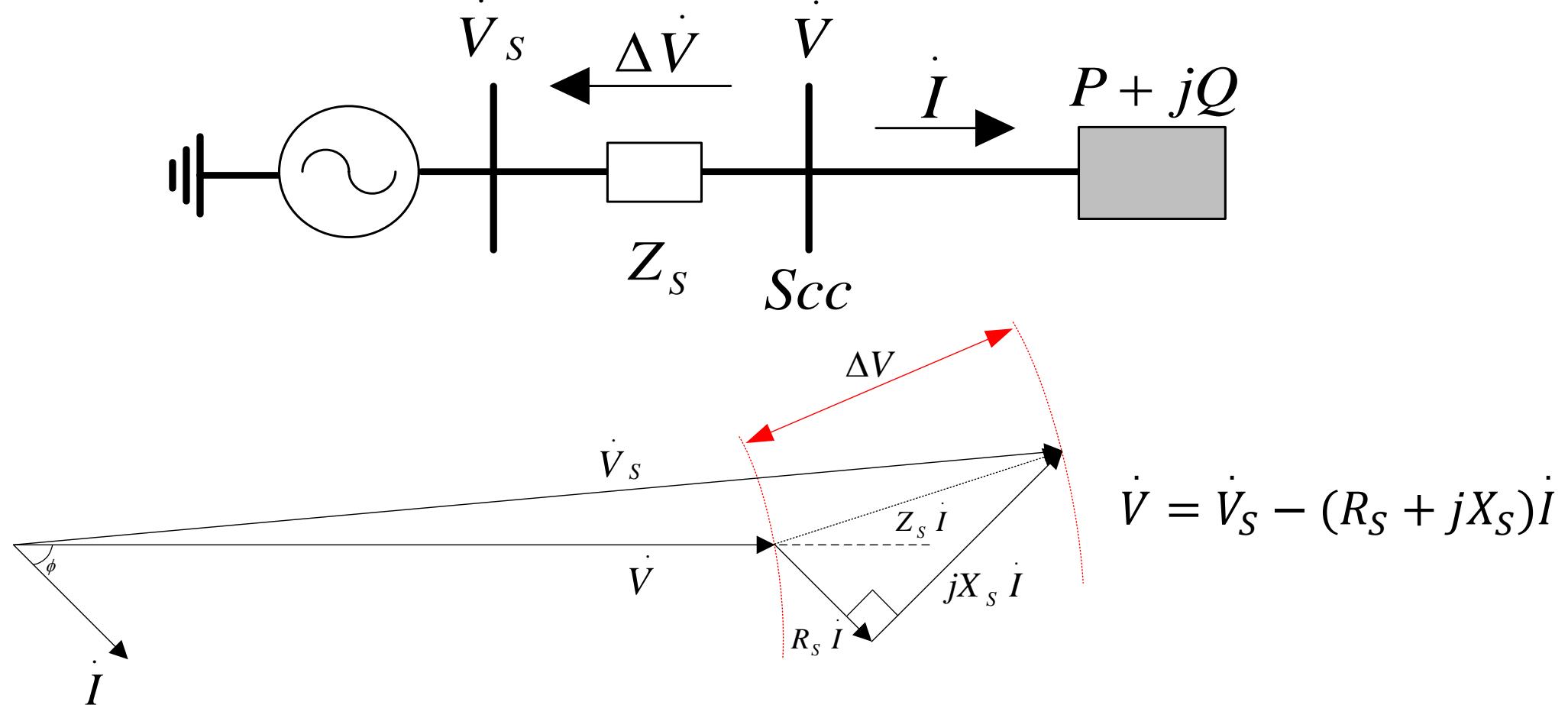
# **Principais problemas já observados com a instalação massiva de renováveis**

- ✓ Elevação da distorção harmônica no SIN devido à instalação de usinas eólicas;
- ✓ Painéis solares conectados às redes de baixa tensão tem provocado sobretensões e problemas de fluxo reverso de potência em alimentadores de distribuição;
- ✓ Elevação da distorção harmônica em circuitos com baixa potência CC;
- ✓ Problemas de flutuação de tensão (Flicker.) em alimentadores de distribuição devido à passagem de nuvens;
- ✓ Aumento do desequilíbrio de tensão tanto na BT quanto na MT;
- ✓ Problemas de baixo fator de potência em redes de distribuição;
- ✓ Atraso na atuação de fusíveis de proteção;
- ✓ Aumento da severidade e da área de abrangência de afundamentos de tensão.

# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Sobretensão por redução ou reversão de fluxo de potência.



# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Sobretensão por redução ou reversão de fluxo de potência.



# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Faixas de conformidade de tensão em Regime Permanente – PRODIST.

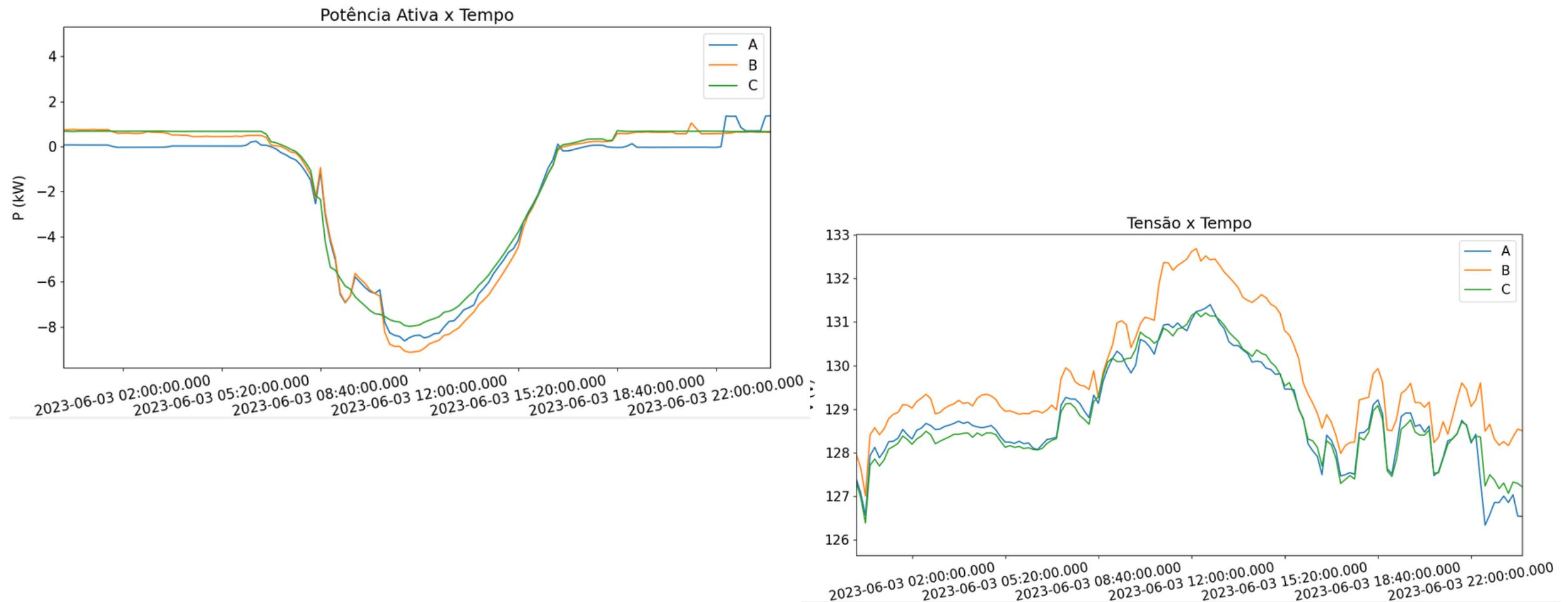
Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93\text{TR} \leq \text{TL} \leq 1,05\text{TR}$
Precária	$0,90\text{TR} \leq \text{TL} < 0,93\text{TR}$
Crítica	$\text{TL} < 0,90\text{TR}$ ou $\text{TL} > 1,05\text{TR}$

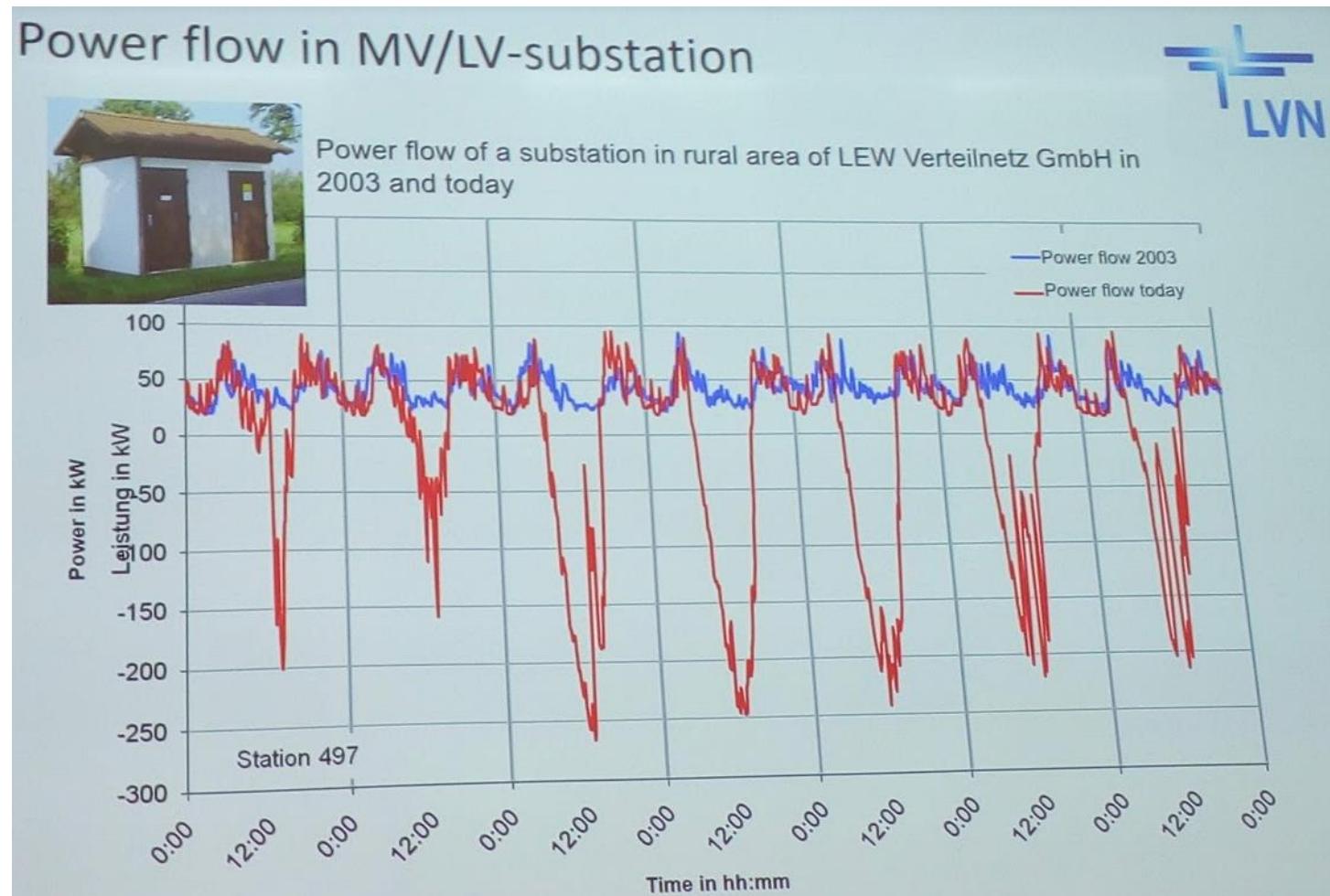
Tabela 4 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(201 \leq \text{TL} \leq 231)/(116 \leq \text{TL} \leq 133)$
Precária	$(189 \leq \text{TL} < 201$ ou $231 < \text{TL} \leq 233)/$ $(109 \leq \text{TL} < 116$ ou $133 < \text{TL} \leq 140)$
Crítica	$(\text{TL} < 189$ ou $\text{TL} > 233)/( \text{TL} < 109$ ou $\text{TL} > 140)$

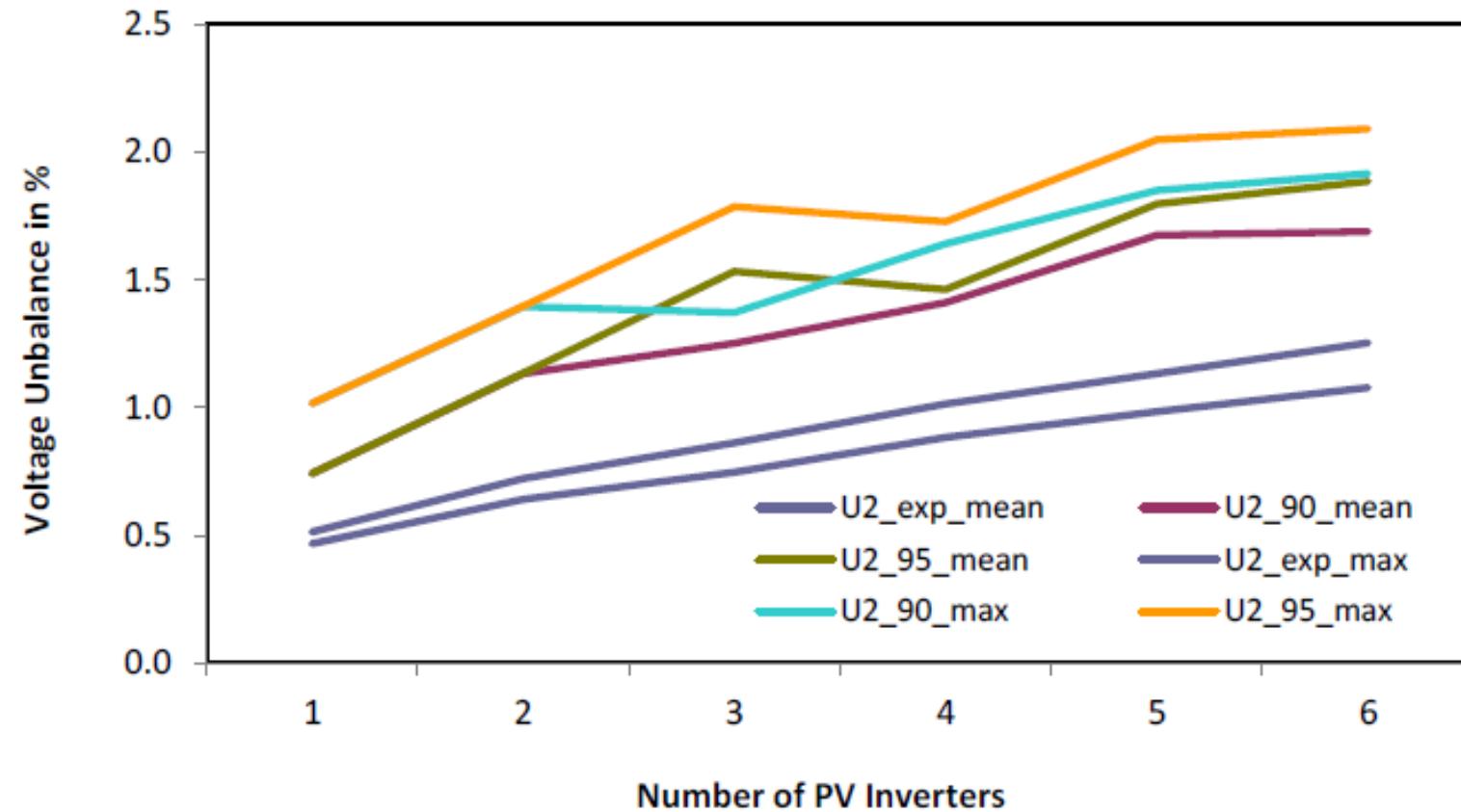
# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Medições na Microrrede do Barigui – GD de 30 kWp.



# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Círculo de distribuição na Alemanha.



# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Desequilíbrio em circuitos de BT



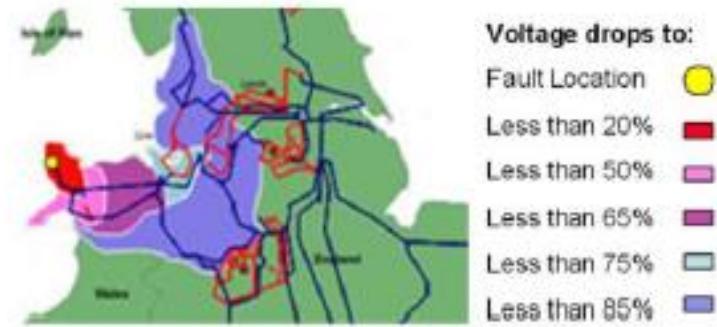
# Principais problemas já observados com a instalação massiva de GD – Aumento da área de vulnerabilidade de afundamentos de tensão



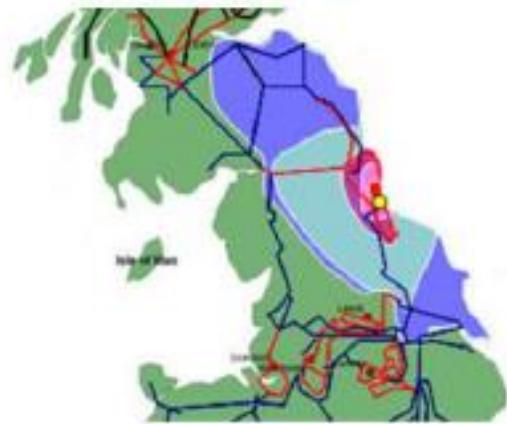
Current Data  
(Summer Min)



2023/2024 Data  
(Summer Min)



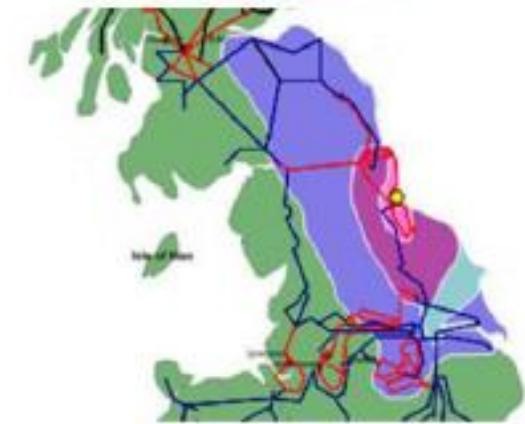
2033/2034 Data  
(Summer Min)



Current Data  
(Summer Min)



2023/2024 Data  
(Summer Min)



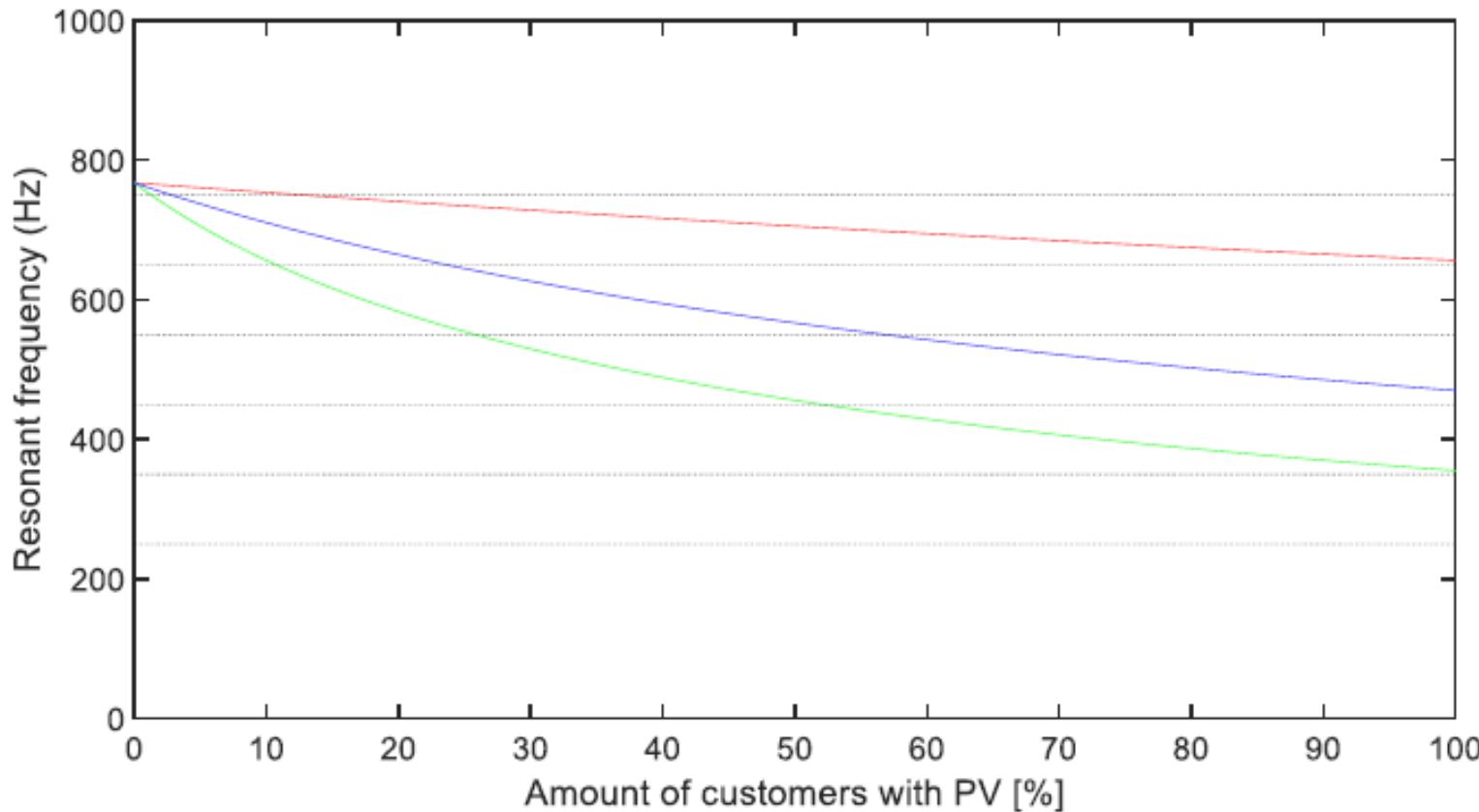
2033/2034 Data  
(Summer Min)

Voltage drops to:  
Fault Location (Yellow)  
Less than 20% (Red)  
Less than 50% (Pink)  
Less than 65% (Purple)  
Less than 75% (Light Blue)  
Less than 85% (Dark Blue)

# Distúrbios Incomuns de Qualidade de Energia

## Ressonância Harmônica

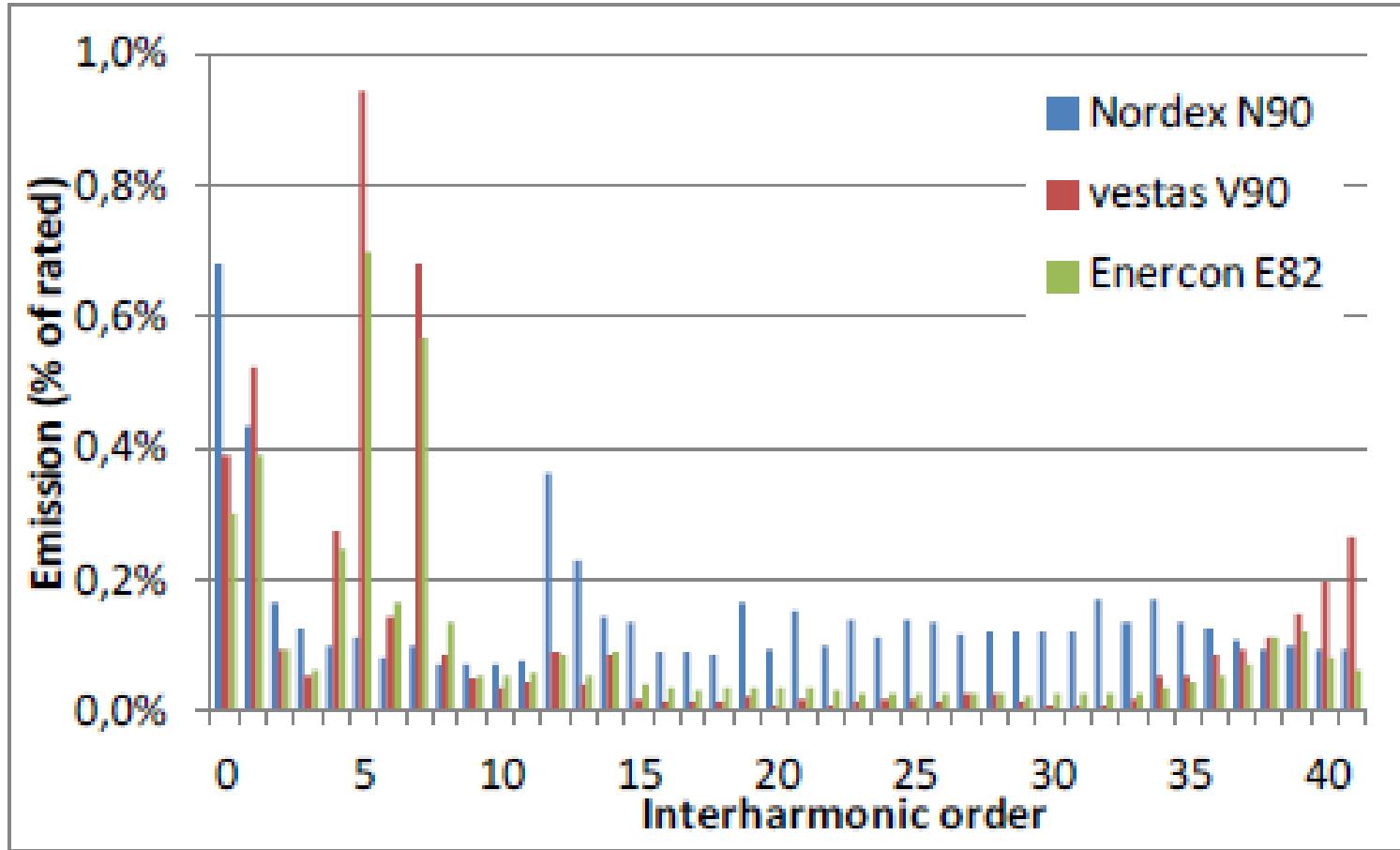
Quanto maior penetração de PV menor será a frequência ressonante



# O que ainda está sendo descoberto e investigado?

## Interharmônicos:

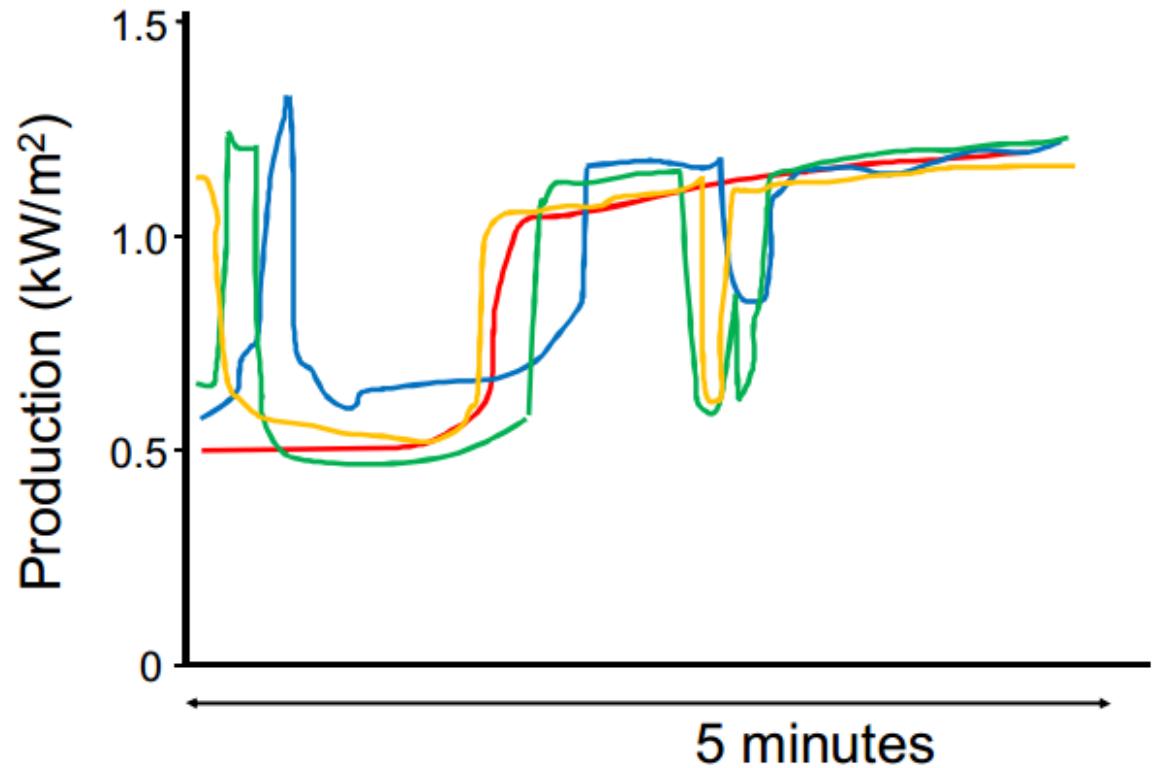
A maioria dos operadores de rede não utiliza limites para interharmônicas, mas quando utilizados, são muito baixos, impondo assim que os conversores sejam conectados usando-se filtros.



# O que ainda está sendo descoberto e investigado?

## Variação de tensão de média duração causadas por sombreamento de UFV:

- ✓ Não pode ser medido por índices atuais para quantificar a qualidade de energia.
- ✓ É muito rápido para impactar o valor rms de 10 minutos e lento para afetar a flutuação (Flicker).



# Como devem ser solucionados estes problemas?

## Controlando emissão – Atuando na causa

- ✓ Armazenamento de energia
- ✓ Métodos ativos de condicionamento de sinal - Filtragem ativa incorporada ou não aos inversores/retificadores.
- ✓ Controlando Q e P nos inversores – redução do \$\$\$ previsto pelo empreendedor.

## Atuando no efeito

- ✓ Reconfiguração de alimentadores;
- ✓ UPS
- ✓ Filtros ativos e passivos
- ✓ Reguladores de tensão
- ✓ **Reatores em derivação**
- ✓ **Compensação série de linhas de distribuição**
- ✓ DSTATCOM

# Conclusões

- ✓ Os efeitos para qualidade de energia não são muito percebidos para baixo índice de penetração de GD e sistemas “fortes”.
- ✓ Os efeitos prejudiciais da integração da GD podem ser evitados limitando os níveis de penetração dentro de limites seguros.
- ✓ Não existe regra definida ou normas para determinar o nível de penetração concentração seguro para QEE.
- ✓ O nível de penetração seguro depende de fatores como carga, comportamento do “prosumidor”, clima, etc.

## **Porém, ainda existem diversas questões pertinentes:**

- ✓ O sistema elétrico seja de alta ou baixa tensão foram projetados para essa mudança de paradigma?
- ✓ Quem pagará pelos investimentos necessários na rede elétrica?
- ✓ Quem fará o ressarcimento por danos devido à operação da GD?
- ✓ E o problema do baixo FP em consumidores tipo A com GD – não previram isso no projeto e instalação da GD?
- ✓ Como tratar sobretensões causadas por reversão de fluxo?



# OBRIGADO!

CONTATOS: [MATEUS.TEIXEIRA@UFPR.BR](mailto:MATEUS.TEIXEIRA@UFPR.BR)

Mateus Duarte Teixeira - UFPR<sup>26</sup>