



Apresentação N°8

- **Sistemas HVDC como alternativa flexível de interconecção internacional**
- **Considerações sobre Novas tecnologias de T&D para integrar prosumidores**

Eng. João Guedes de Campos Barros,
Ph.D.

53 RAE

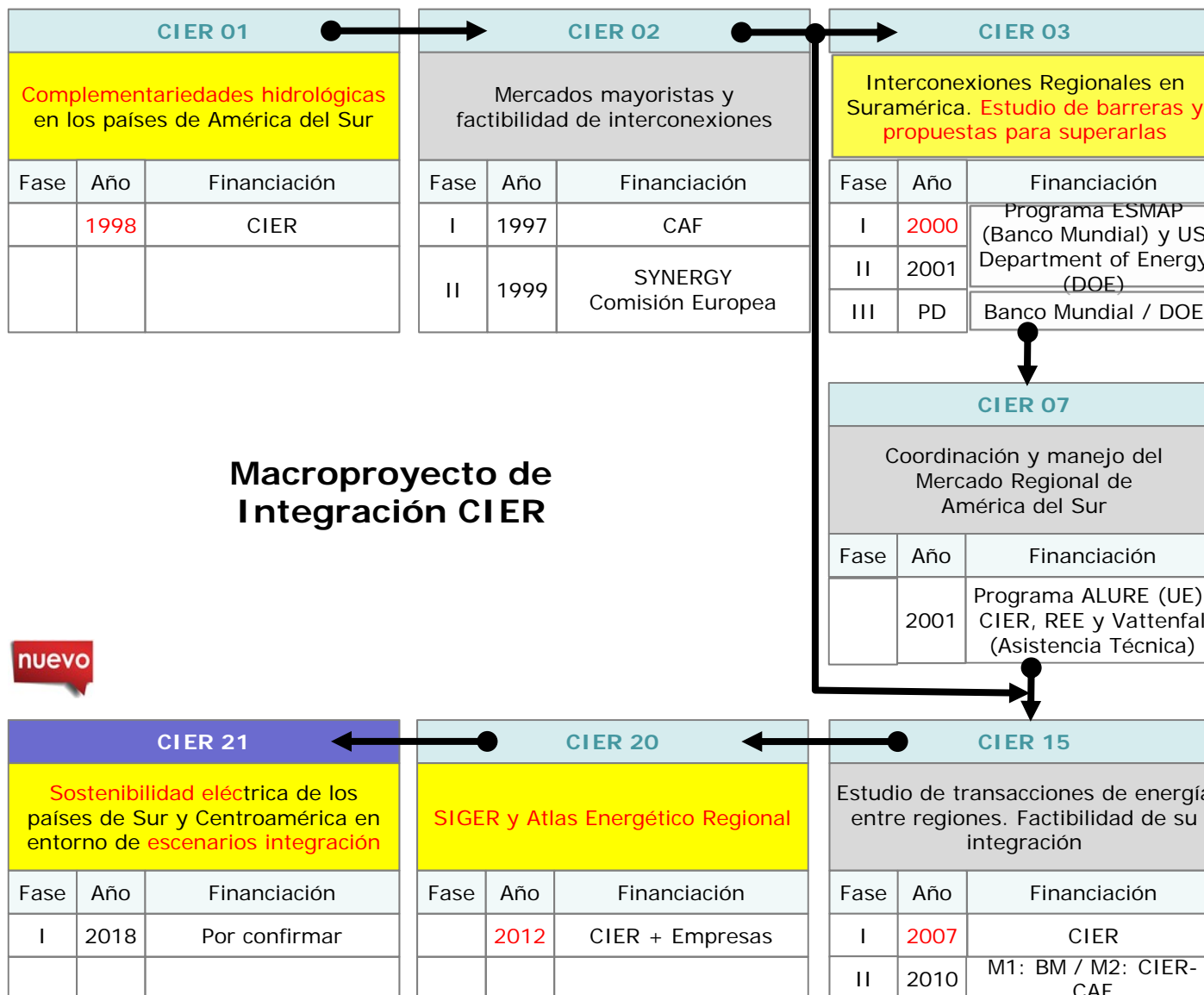
14 al 16 NOVIEMBRE 2018
BUENOS AIRES - ARGENTINA



REUNION DE ALTOS
EJECUTIVOS DE LA

CIER

Considerações Introdutórias



Participação do Cepel em projetos HVDC

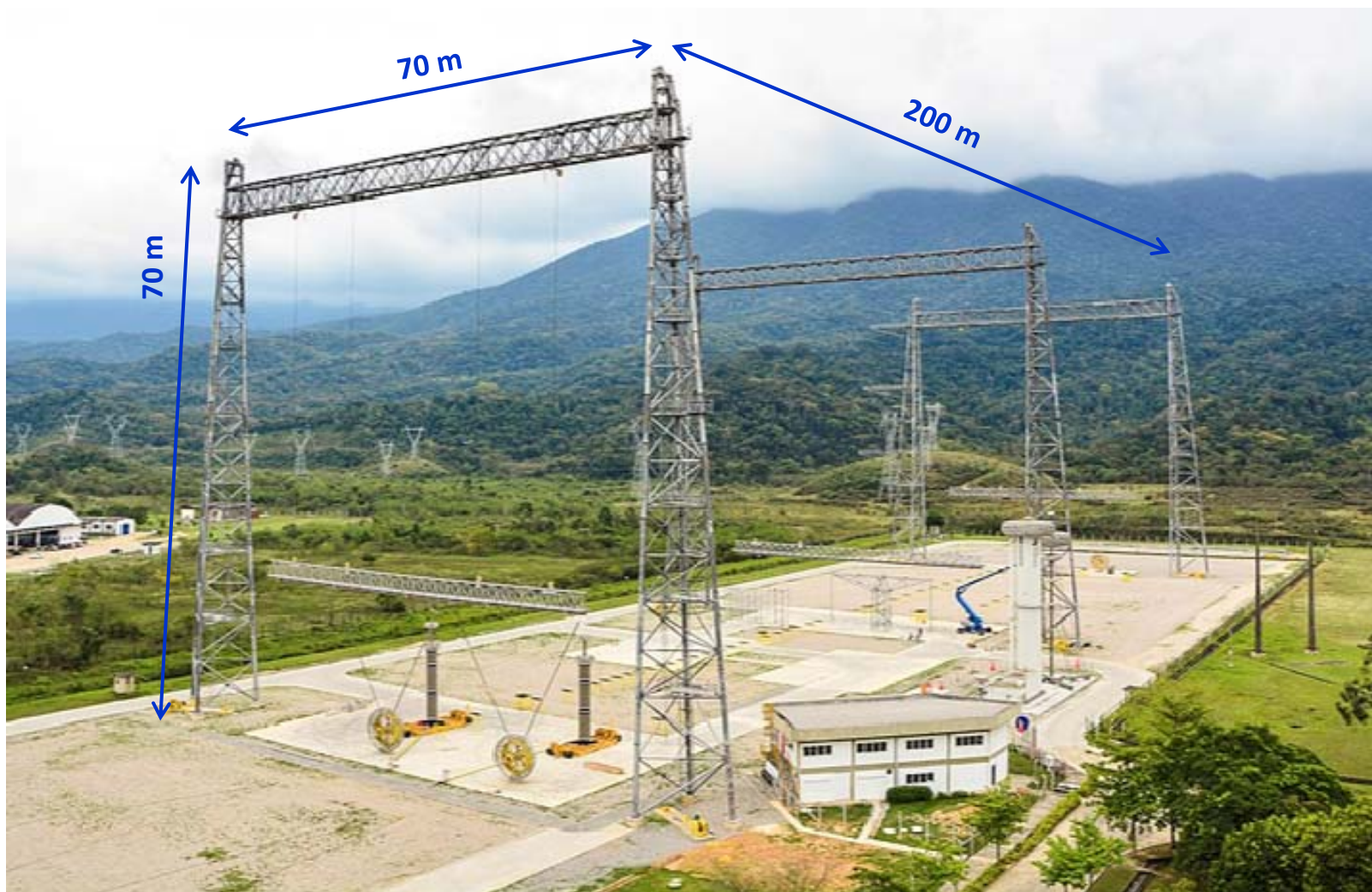
Ano	Projeto	País	Tipo	Atividade
1977 - 1984	Itaipu	Brasil	Transmissão HVDC +/- 600 kV 800 km, 2 x 3.150 MW	Participação na especificação das conversoras Transferência de tecnologia Treinamento de engenheiros Desenvolvimento de software Simulador HVDC e TNA
1985	Uruguiana	Brasil / Uruguai	Estação Back-to-back 50MW	Concepção e especificação da conversora
1985	Vindhyachal	India	Estação Back-to-back 400MW	Projeto de filtros CA
1995	Bakun	Malasia	Transmissão HVDC cabo submarino + LT aérea, 2.800 MW.	Estudos elétricos para avaliação da viabilidade técnica.
1999 - 2002	Garabi 1 e 2	Argentina / Brasil	Estação Back-to-back CCC, 2 x 1.100 MW.	Desenvolvimento de software e realização de estudos elétricos.
2011	Melo	Uruguai / Brasil	Estação Back-to-back 500 MW	Suporte para Eletrobras e Eletrosul nos estudos elétricos.
2009 - 2012	Rio Madeira	Brasil	Transmissão HVDC +/- 600kV, 2 x 3.150 MW. Estação Back-to-back CCC, 2 x 400MW.	Concepção da solução em HVDC Disseminação do conhecimento da tecnologia do HVDC e treinamento das equipes técnicas das empresas Eletrobras
2012-2014	Belo Monte I	Brasil	Transmissão HVDC +/- 800kV 4.000 MW	Estudos elétricos e ensaios em HVDC para o 800 kV Belo Monte. Procedimentos de Manutenção em linha viva (em andamento)
2014- > 2020	Belo Monte II	Brasil	Transmissão HVDC +/- 800kV 4.000 MW	

Lab Equipamentos Elétricos Cepel 1983/84



Lab Ultra Alta Tensão do Cepel - AT 5 (janeiro 2018)

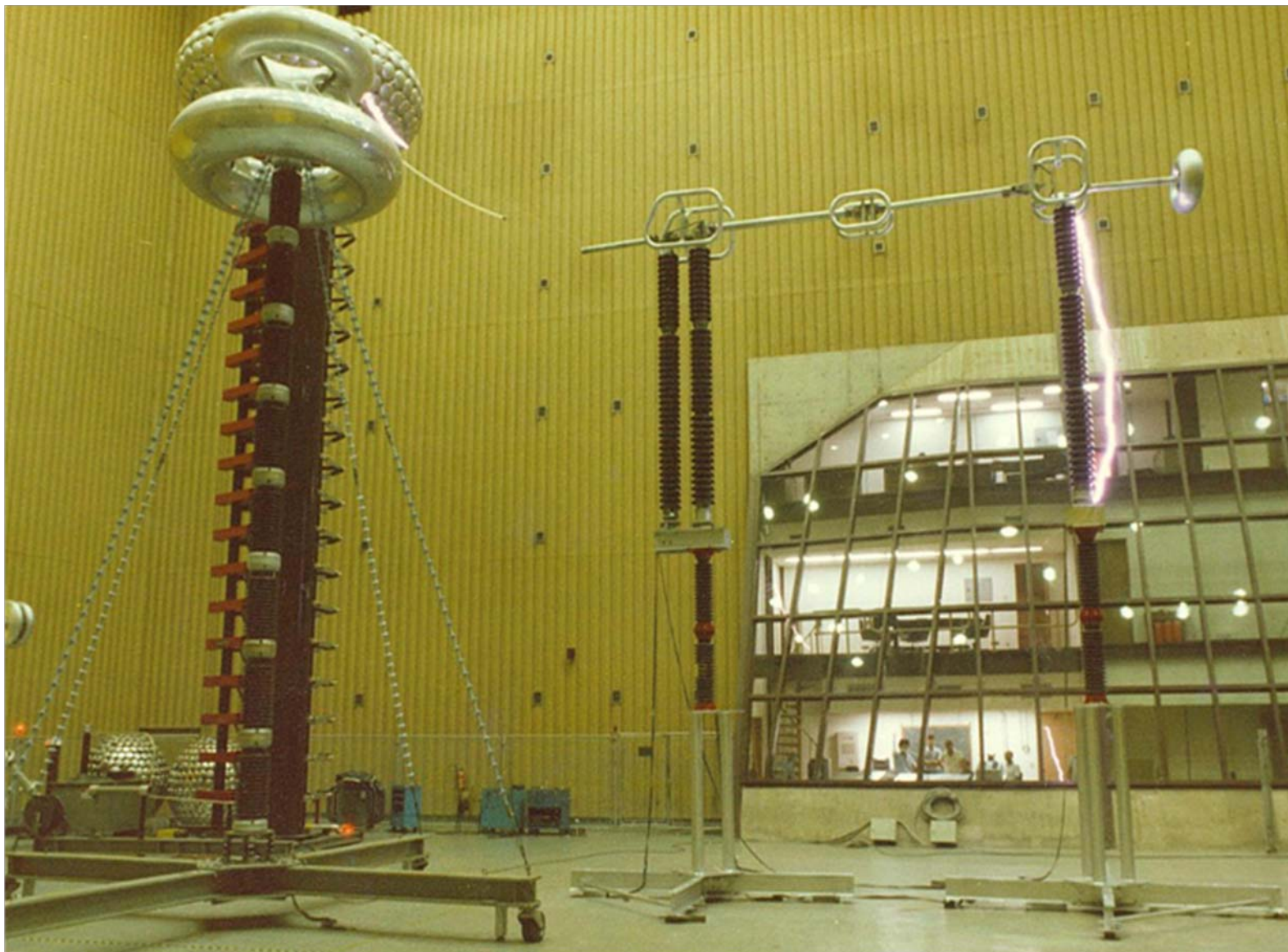
Desenvolvimento de procedimentos para manutenção em linha viva em **+/- 800 kV** para os bipolos de Belo Monte: montagem de "mock up" de um bipolo



Lab Ultra Alta Tensão do Cepel - AT 5 (janeiro 2018)

Ensaio para determinação de tensão crítica de segurança em arranjo ± 800 kV, do sistema Belo Monte, para fins de procedimento de manutenção em linha viva.

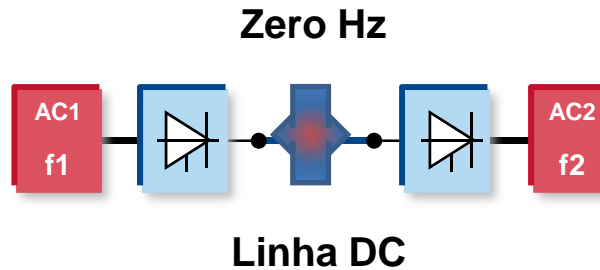




HVDC: Características inerentes

- ✓ Desacoplador de frequências

f1 independente de f2

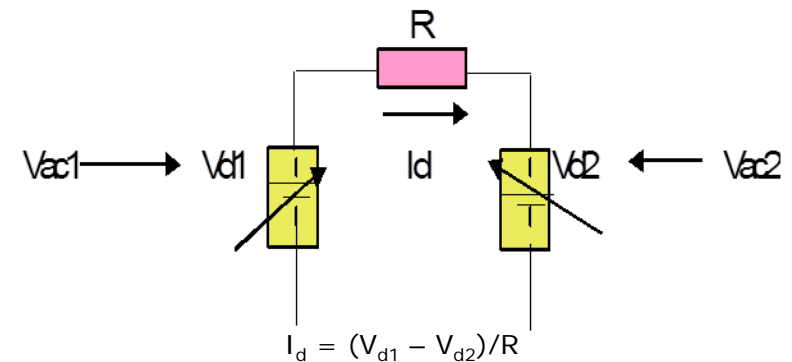


- ✓ Zero Hz: minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação
- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais elimina efeito de diferenças de fase

- ✓ Não há fluxo de potência reativa na linha

- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador

(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)

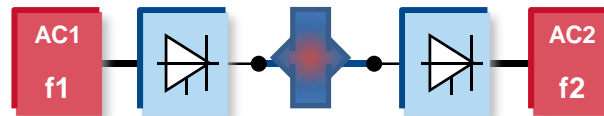


- ✓ Desacoplamento das Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro

Zero Hz

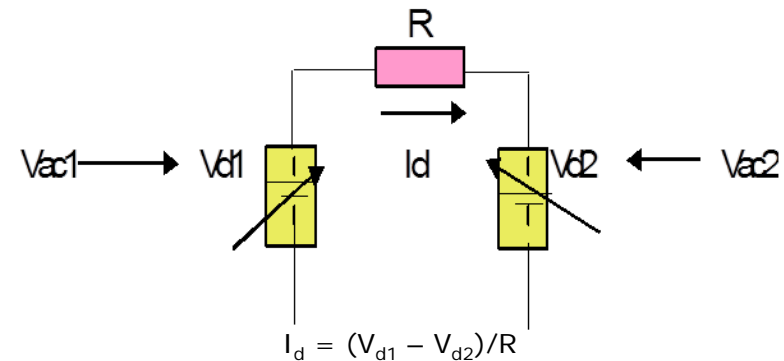
✓ Desacoplador de frequências

f1 independe de f2



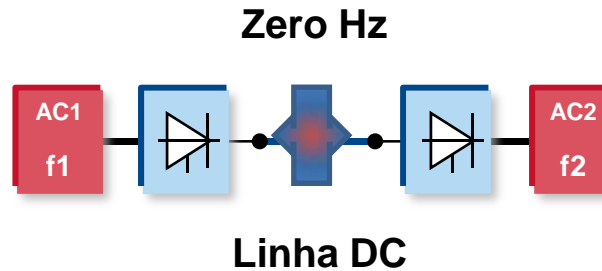
Linha DC

- ✓ Zero Hz: minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação
- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais elimina efeito de diferenças de fase
- ✓ Não há fluxo de potência reativa na linha
- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador
(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)



- ✓ Desacoplamento das Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro

- ✓ Desacoplador de frequências

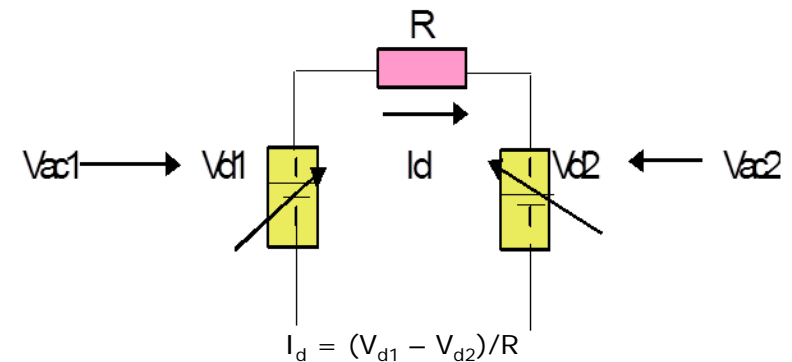


- ✓ Zero Hz: **minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação**

- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais elimina efeito de diferenças de fase
- ✓ Não há fluxo de potência reativa na linha

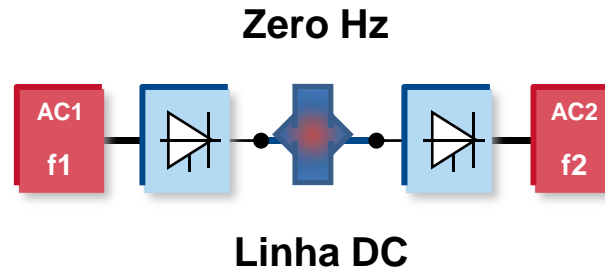
- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador

(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)



- ✓ Desacoplamento das Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro

- ✓ Desacoplador de frequências



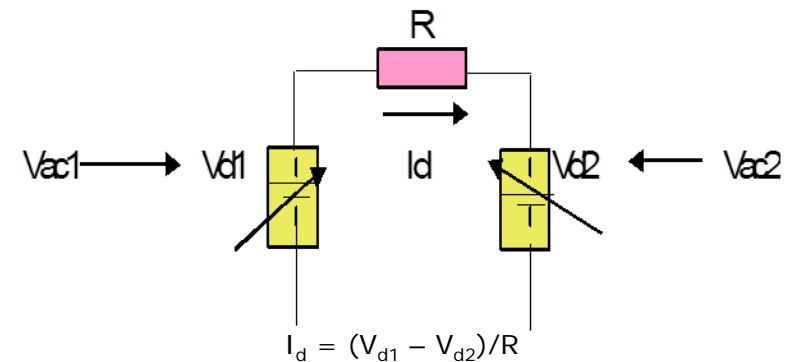
- ✓ Zero Hz: minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação

- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais **elimina efeito de diferenças de fase**

- ✓ Não há fluxo de potência reativa na linha

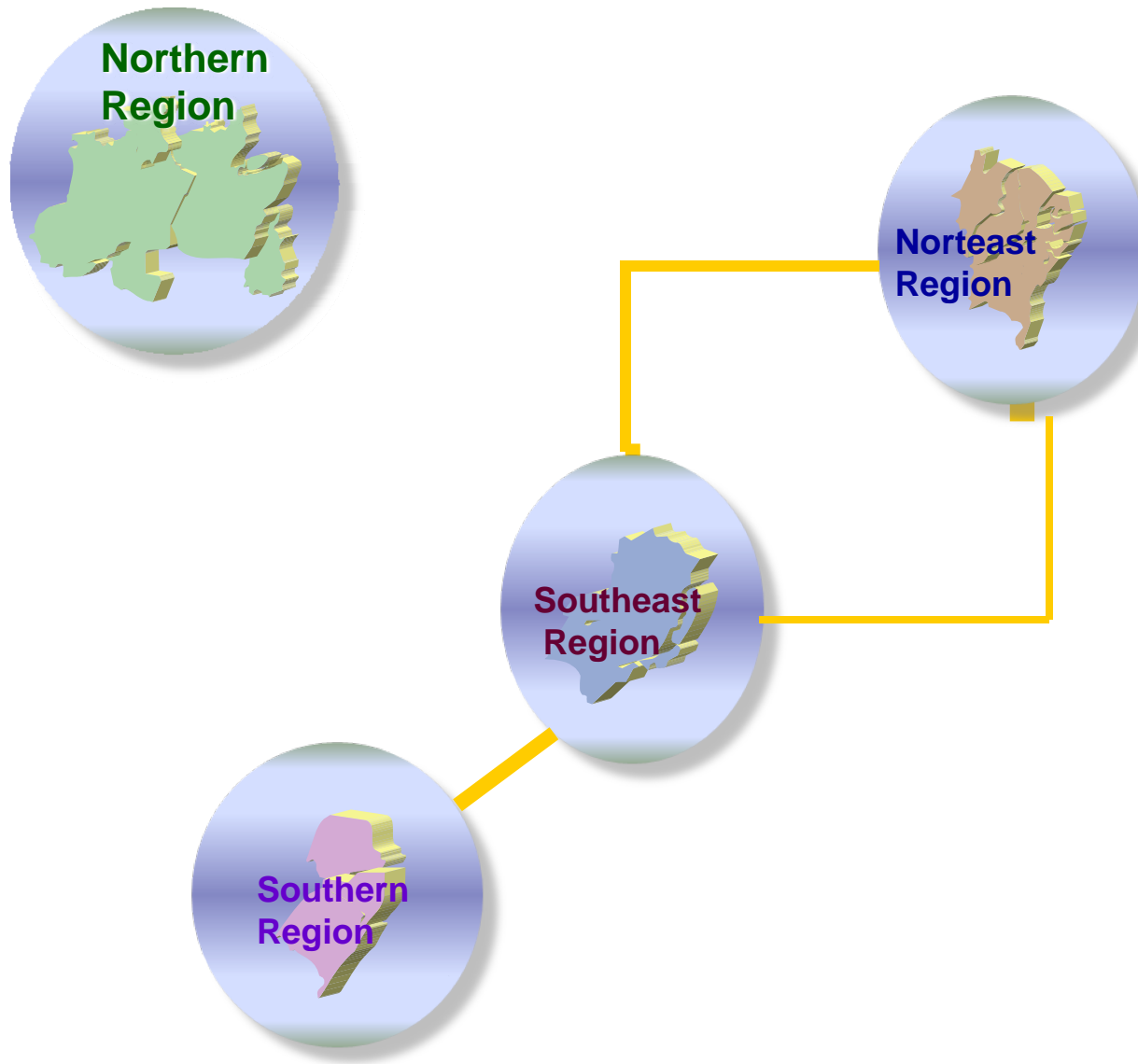
- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador

(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)

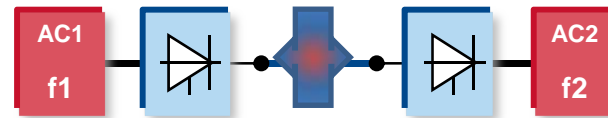


- ✓ Desacoplamento das Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro

Efeito proximidade trazido pelos elos HVDC entre submercados Brasileiros



Zero Hz



Linha DC

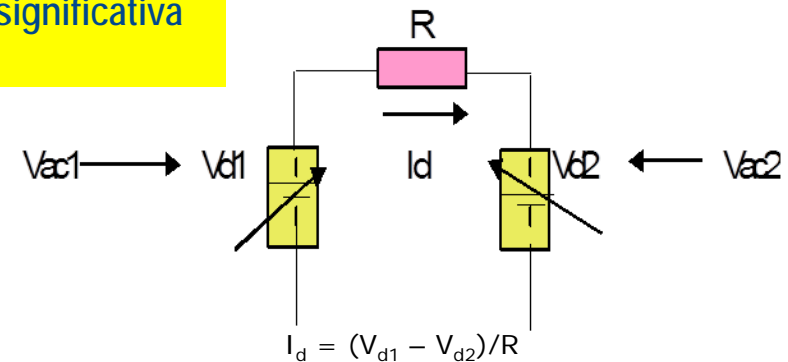
- ✓ Desacoplador de frequências

- ✓ Zero Hz: minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação
- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais elimina efeito de diferenças de fase

- ✓ Não há **fluxo de potência reativa** na linha – redução significativa de perdas ôhmicas na interligação

- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador

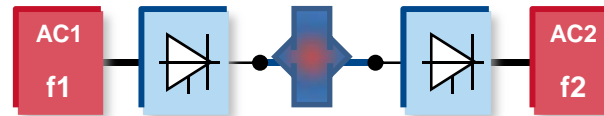
(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)



- ✓ Desacoplamento das Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro

Zero Hz

- ✓ Desacoplador de frequências

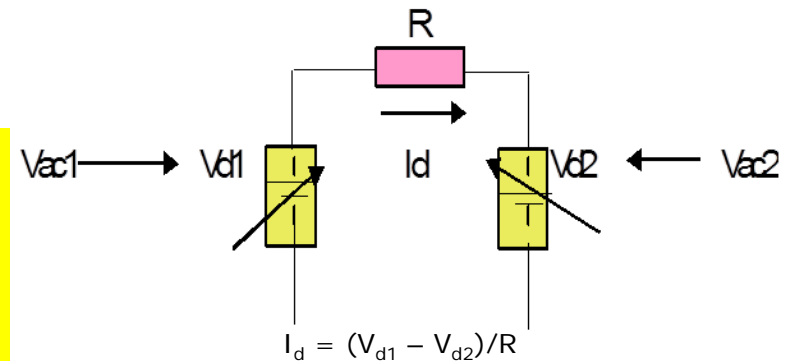


Linha DC

- ✓ Zero Hz: minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação
- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais elimina efeito de diferenças de fase
- ✓ Não há fluxo de potência reativa na linha

- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador

(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)



- ✓ Desacoplamento das Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro

Elos HVDC em longa distância no BRASIL

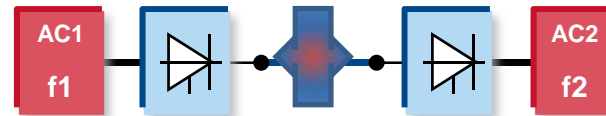


O novo Bipolo permitirá controlar a distribuição do fluxo de potência AC

Belo Monte, assim como o novo Bipolo, tem rotas próximas a grandes troncos em 500 kV AC

Zero Hz

- ✓ Desacoplador de frequências

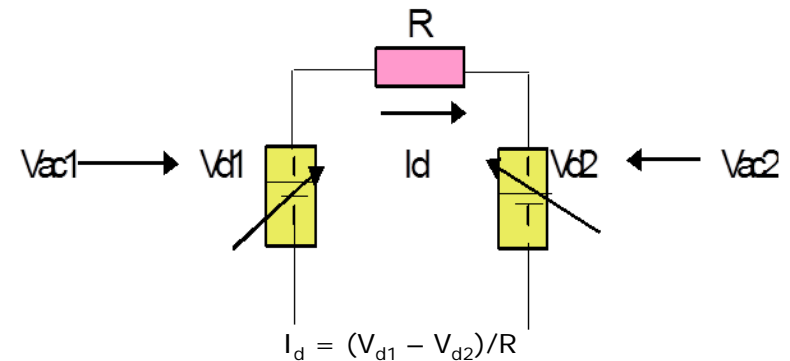


Linha DC

- ✓ Zero Hz: minimiza e pode modular/controlar a transferência de modos de oscilação
- ✓ Zero "km": efeito de aproximação entre terminais elimina efeito de diferenças de fase

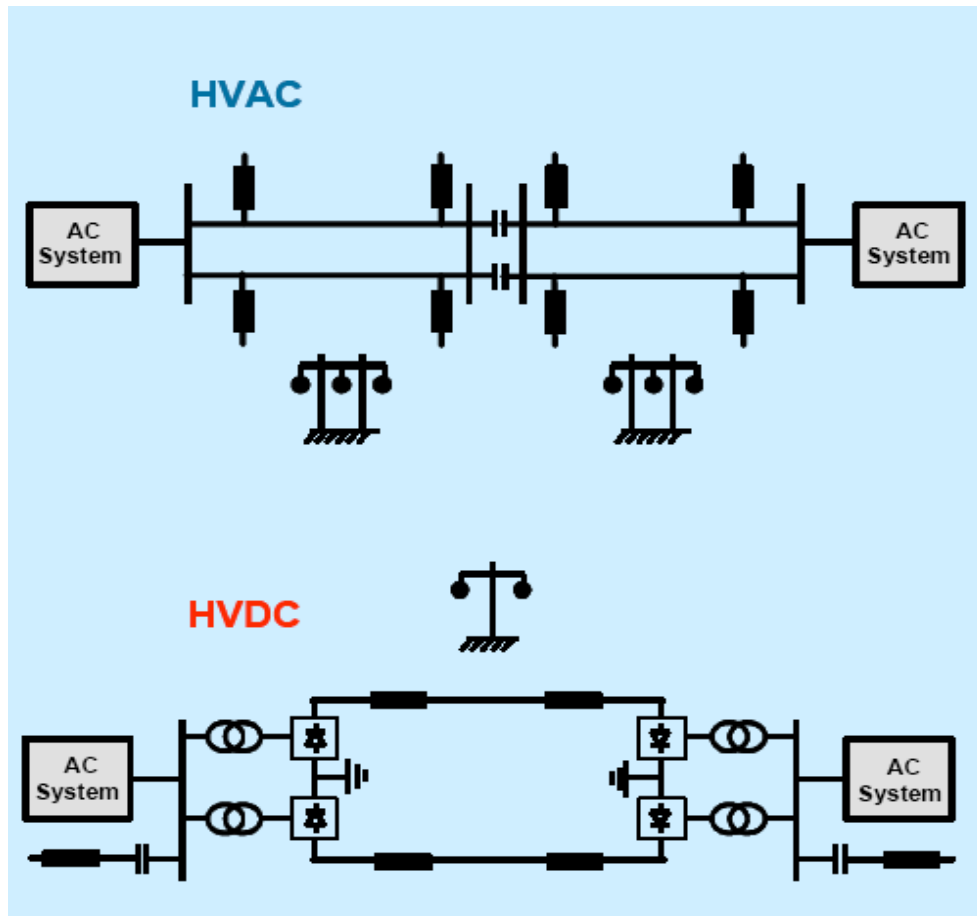
- ✓ Não há fluxo de potência reativa na linha
- ✓ Fundamentalmente um resistência pura: o *fluxo de potência ativa (power flow)* corresponde exatamente ao valor definido pelo operador

(elimina "wheeling" em linhas CA paralelas ao elo CCAT)



- ✓ **Desacopla as Potências de Curto Circuito entre terminais: minimiza superação de equipamentos (disjuntores e chaves) em um terminal por aumento de potência no outro**

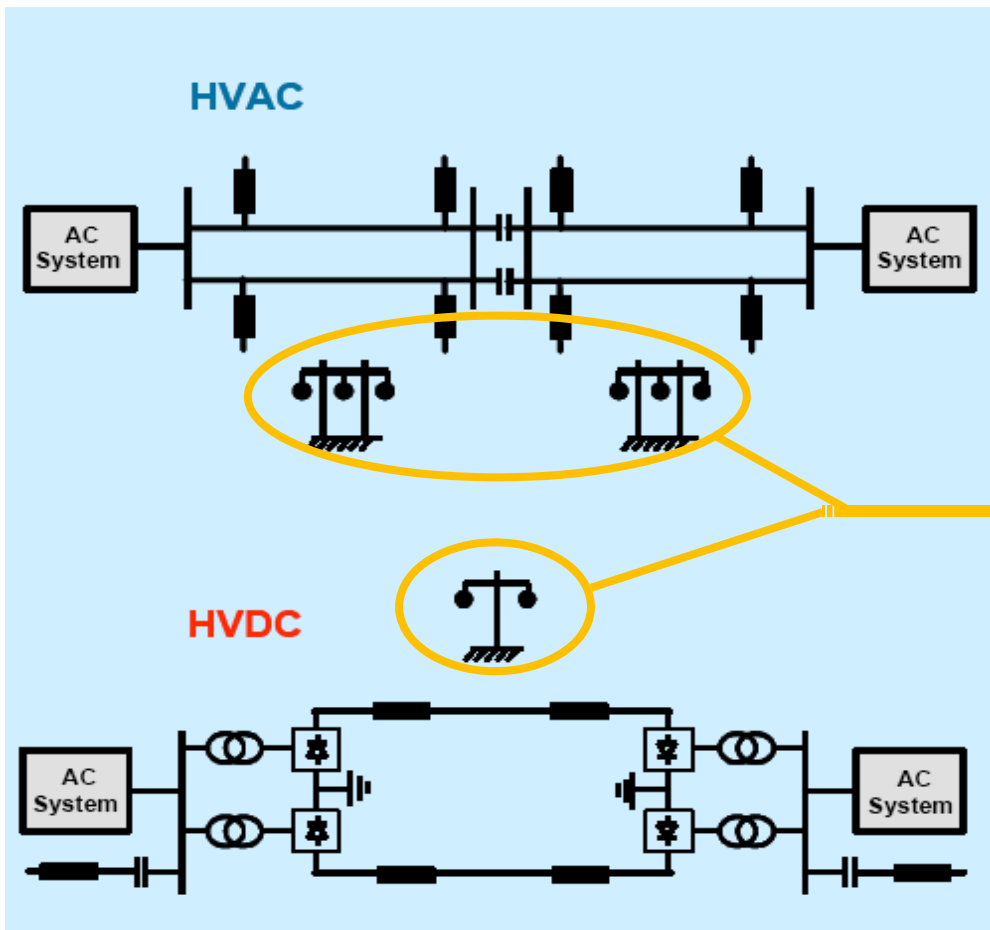
1) Transmissão em distâncias longas/extra longas :



- ✓ **Sistemas Síncronos**: sensíveis a instabilidade dinâmica
- ✓ **Três condutores** por linha
- ✓ **Subestações Intermediárias** para controle de Tensão e Sobretensões de Manobra a cada 300/400 km

- ✓ **Sistemas Assíncronos**
- ✓ **2 Condutores** por bipolo (polos + e -)
- ✓ **Transmissão direta** sem necessidade de Subestações intermediárias

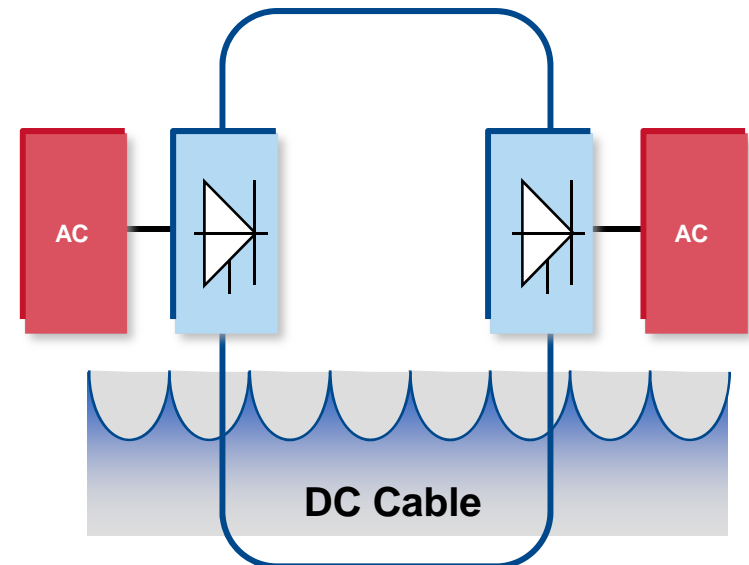
1) Transmissão em distâncias longas/extra longas :



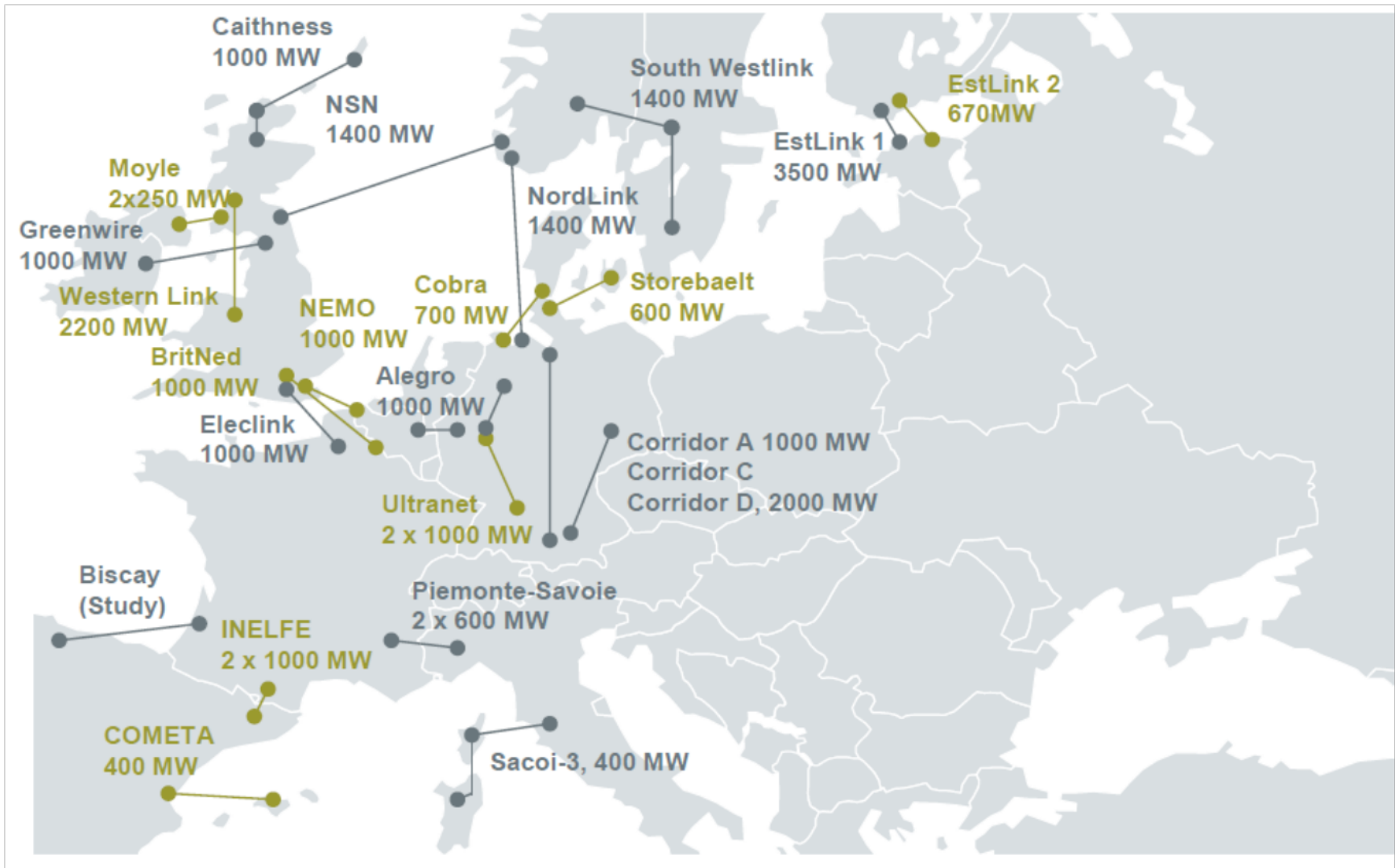
Por razões de confiabilidade contra descargas atmosféricas, se necessitam **duas linhas CA** para substituir **um bipolo**, ou três em substituição a dois bipolos

2) Transmissão Submarina ou Subterrânea:

Na ausência do efeito *do carregamento reativo capacitivo*, aplicações maiores do que 100 km são factíveis em HVDC



Como podemos ver por toda a Europa!



Exemplos recentes de interconexões no Mar do Norte

NordLink – Norway - Netherlands

Statnett, Tennet, KfW

1400 MW +/- 525 kV

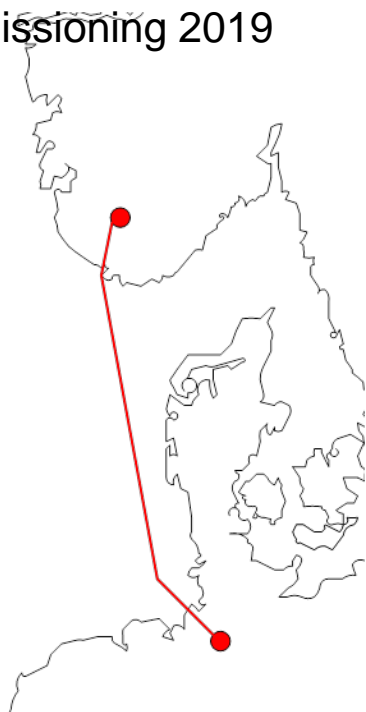
VSC Converters

Bipole

Tonstad in Norway – Wilster in
Germany

571 km cable + 53 km OH-line

Commissioning 2019



North Sea Link

Statnett and National Grid

1400 MW +/- 515 kV

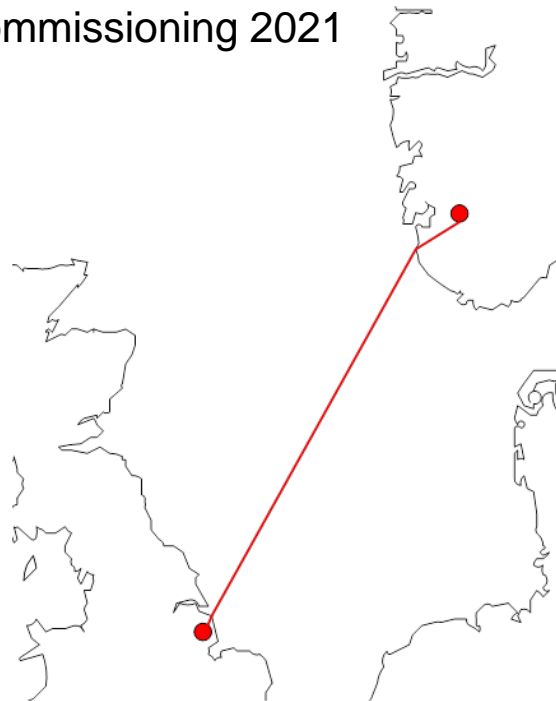
VSC Converters

Bipole

Suldal in Norway – Newcastle area in
England

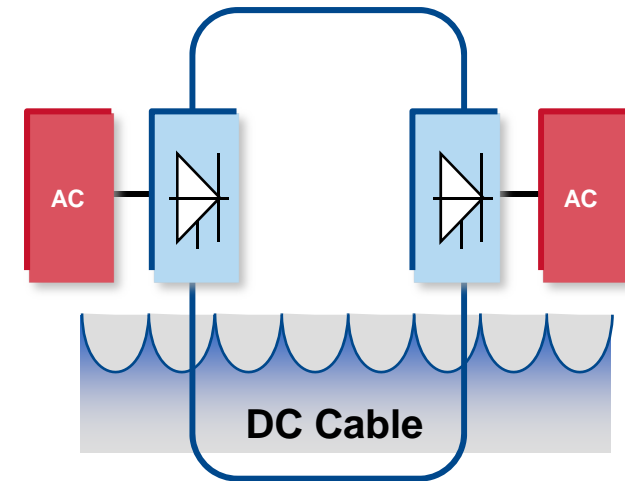
722 km cable

Commissioning 2021



HVDC Traditional applications

3) Transmissão a partir de Fazendas Eólicas no mar (Off-shore Wind Farms)

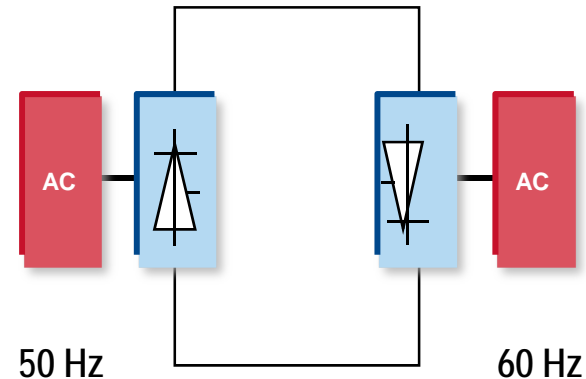


4) Interconecção de sistemas em diferentes frequências usando estações "back to back":

Muitos exemplos na América do Sul:

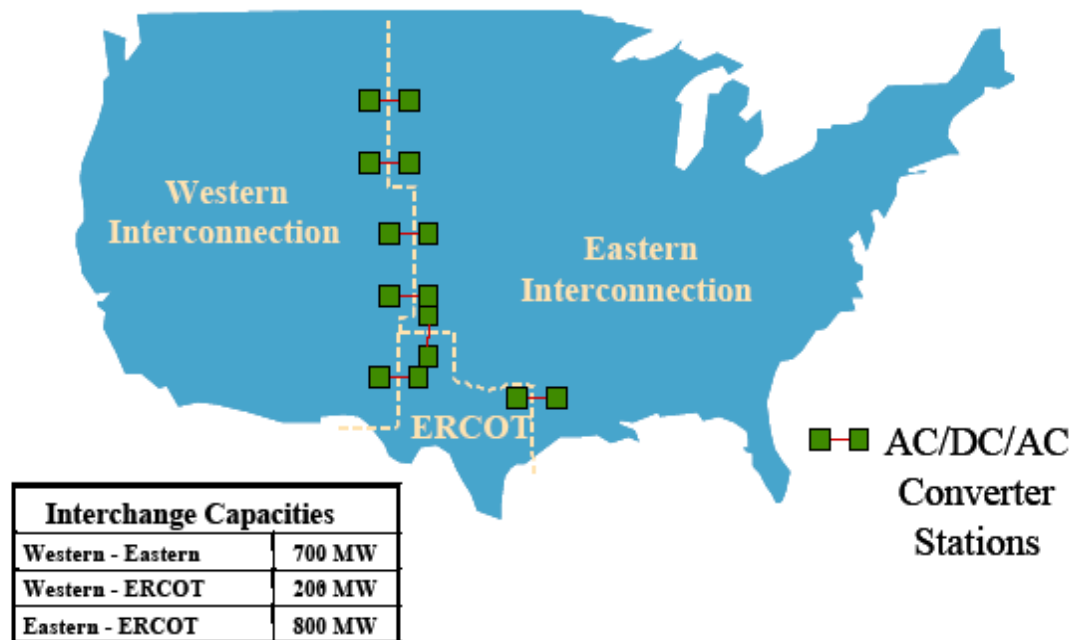
Garabi (AR/BR),

Rivera, Mello (UR/BR)



- 5) Asynchronous Operation:

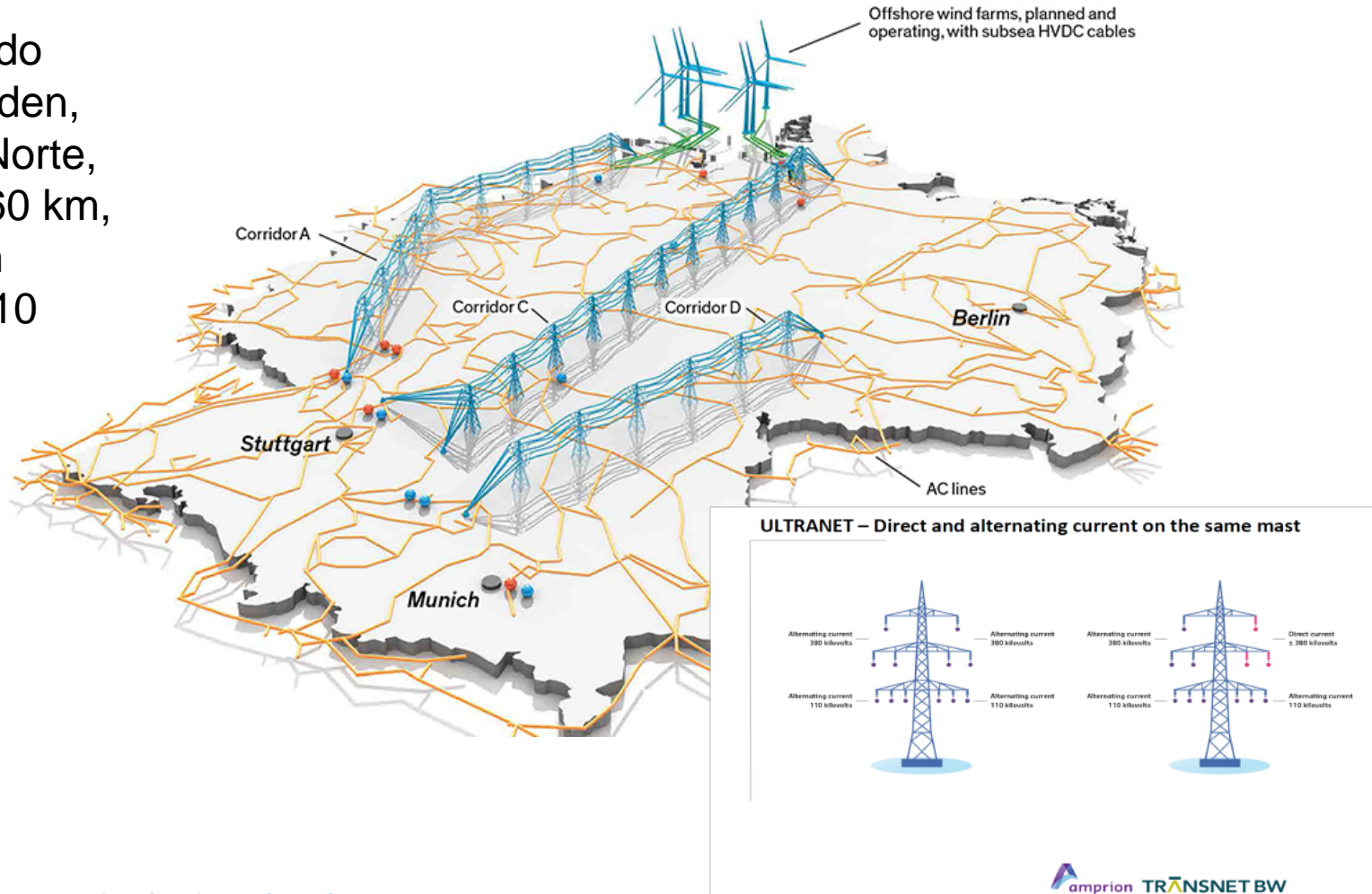
Exemplo de ilhamento
("islanding") usando BtB:
East/West/Texas USA



HVDC – novas aplicações “tradicionais”

Transporte de Energia Eólica em grande escala na Alemanha: projeto em debate no Parlamento Alemão

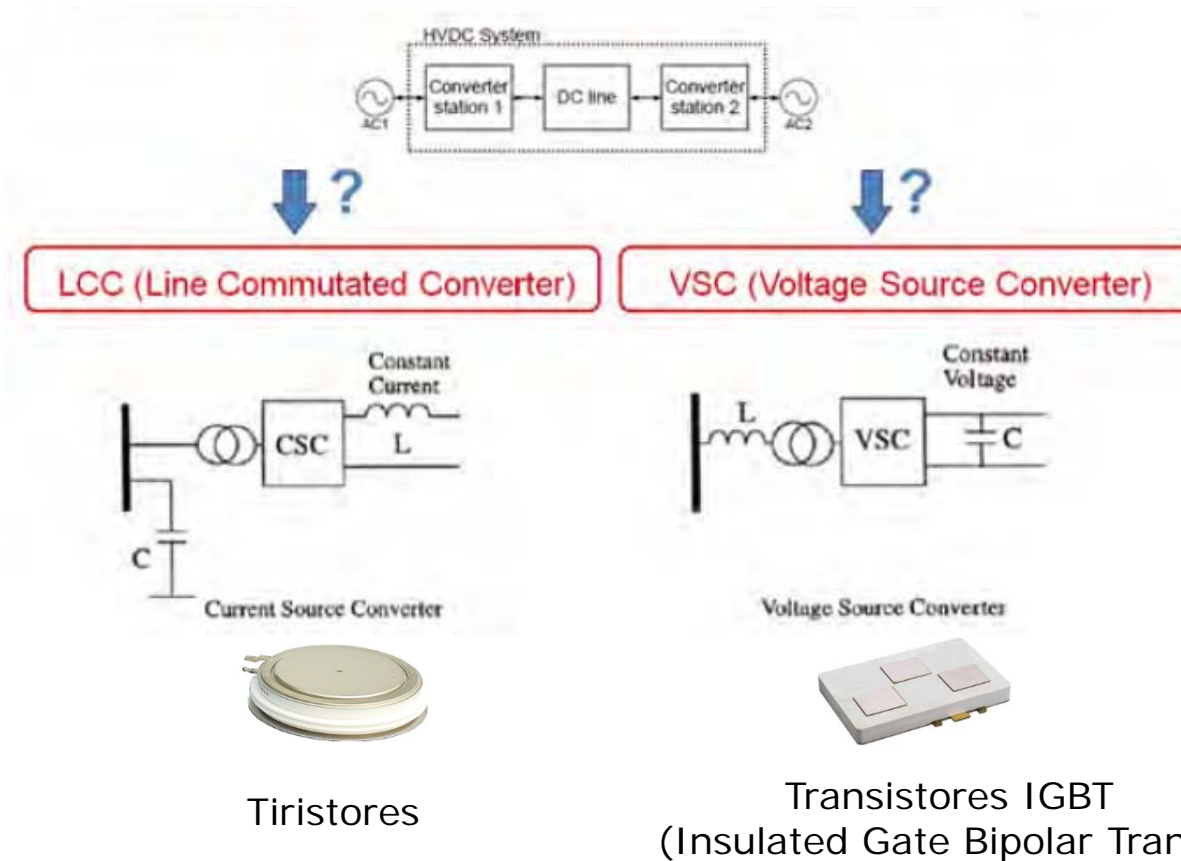
Corredor A, do
porto de Emden,
no Mar do Norte,
1000 MW 660 km,
parte de um
projeto de €10
billion



HVDC: Evolução Tecnológica e Tendências

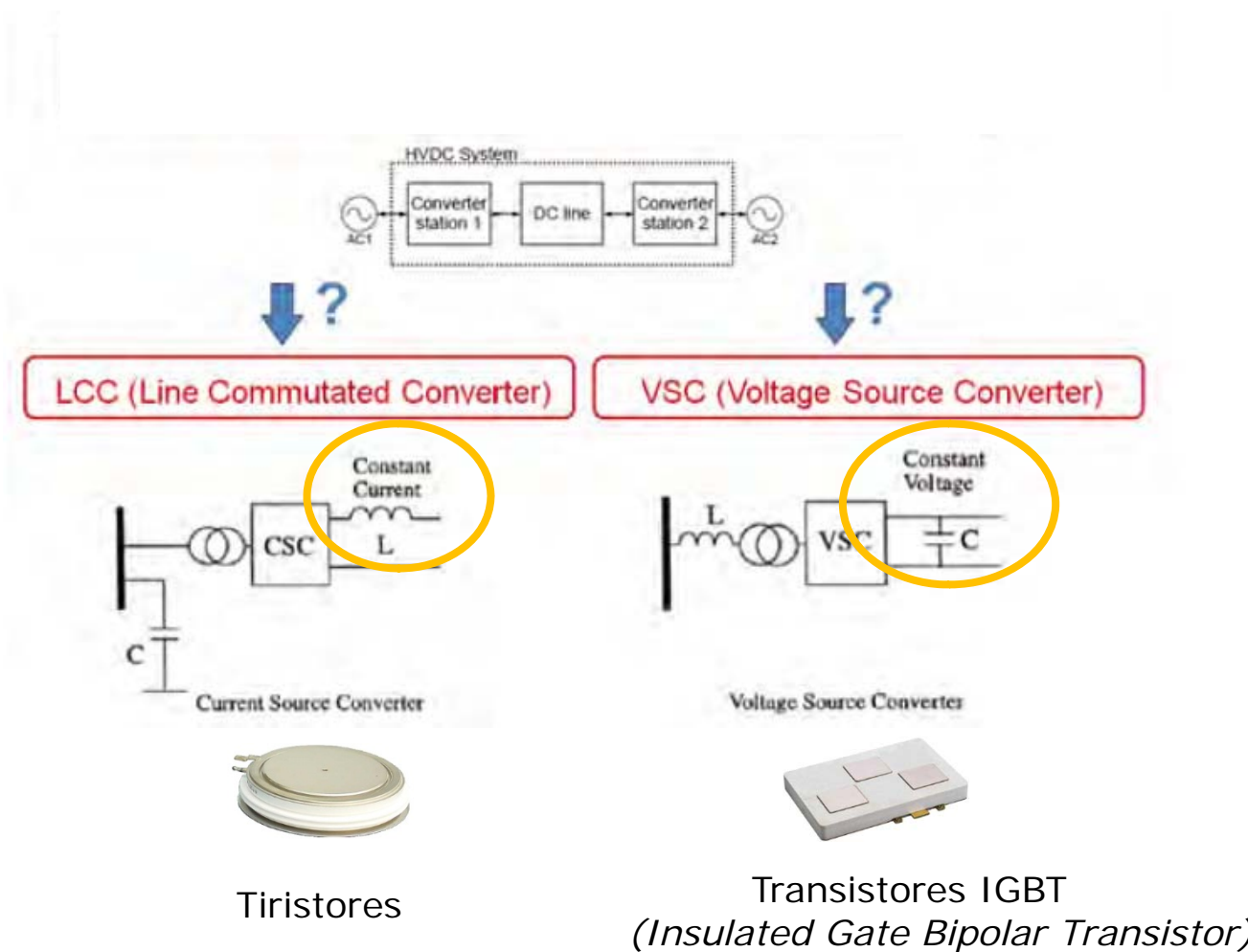
HVDC: Evolução Tecnológica e Tendências

Comutação Natural (LCC) ou Comutação Forçada (VSC)?

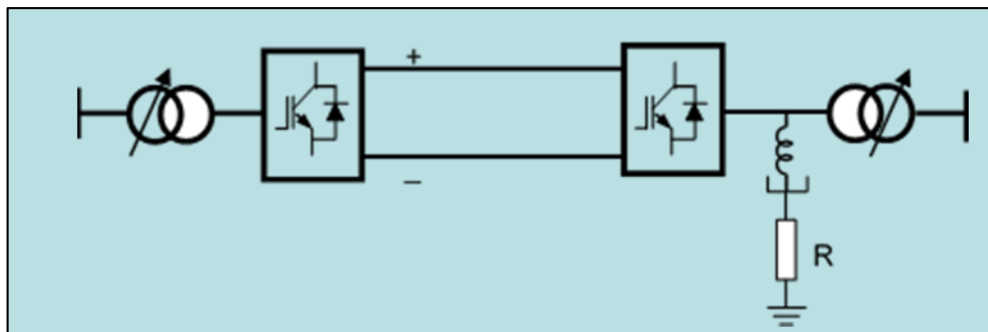


HVDC: Evolução Tecnológica e Tendências

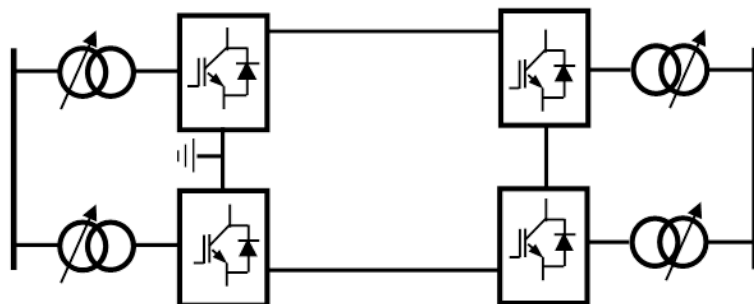
Comutação Natural (LCC) ou Comutação Forçada (VSC)?



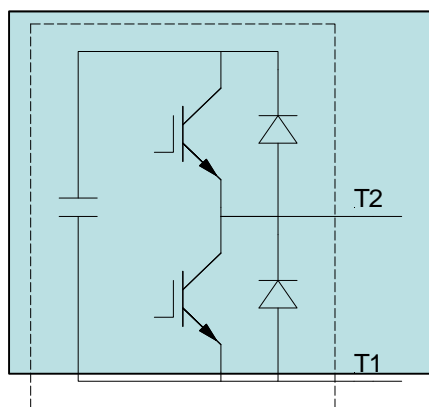
Typical HVDC – VSC Configurations



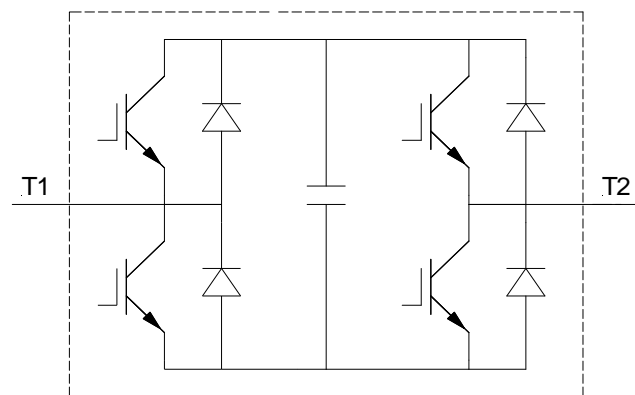
Monopolo



Bipolo



Half Bridge Submodule

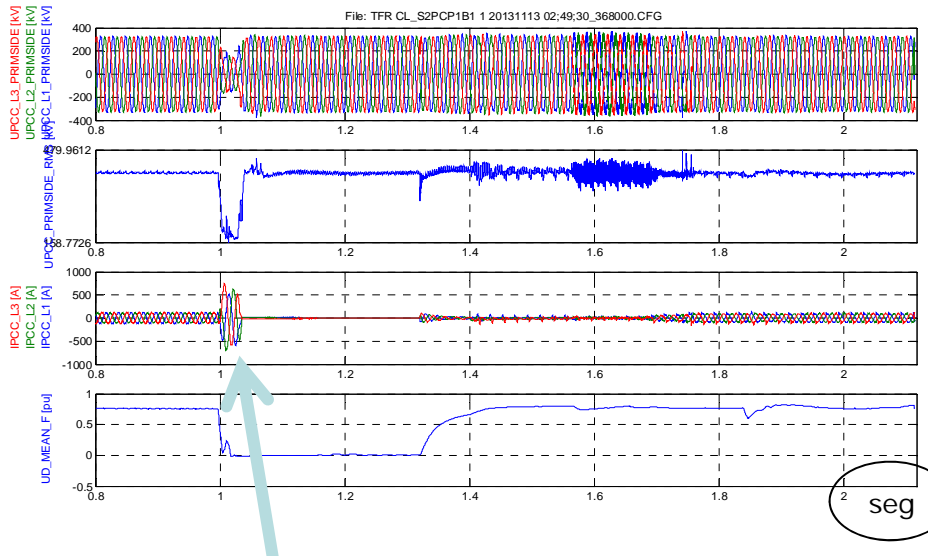


Full Bridge Submodule

Arranjos de submódulos

Resposta de elos VSC e LCC a curtos na linha DC

VSC

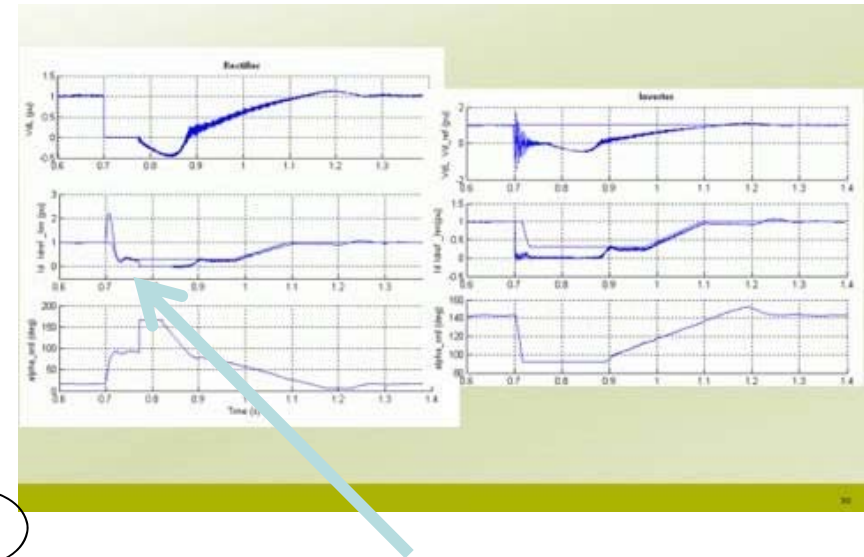


Corrente de Curto interrompida por disjuntores AC (3 ciclos);

Tempo de recuperação entre 700 e 1500 ms;

Com disjuntores DC ou ponte completa o tempo de recuperação é menor.

LCC

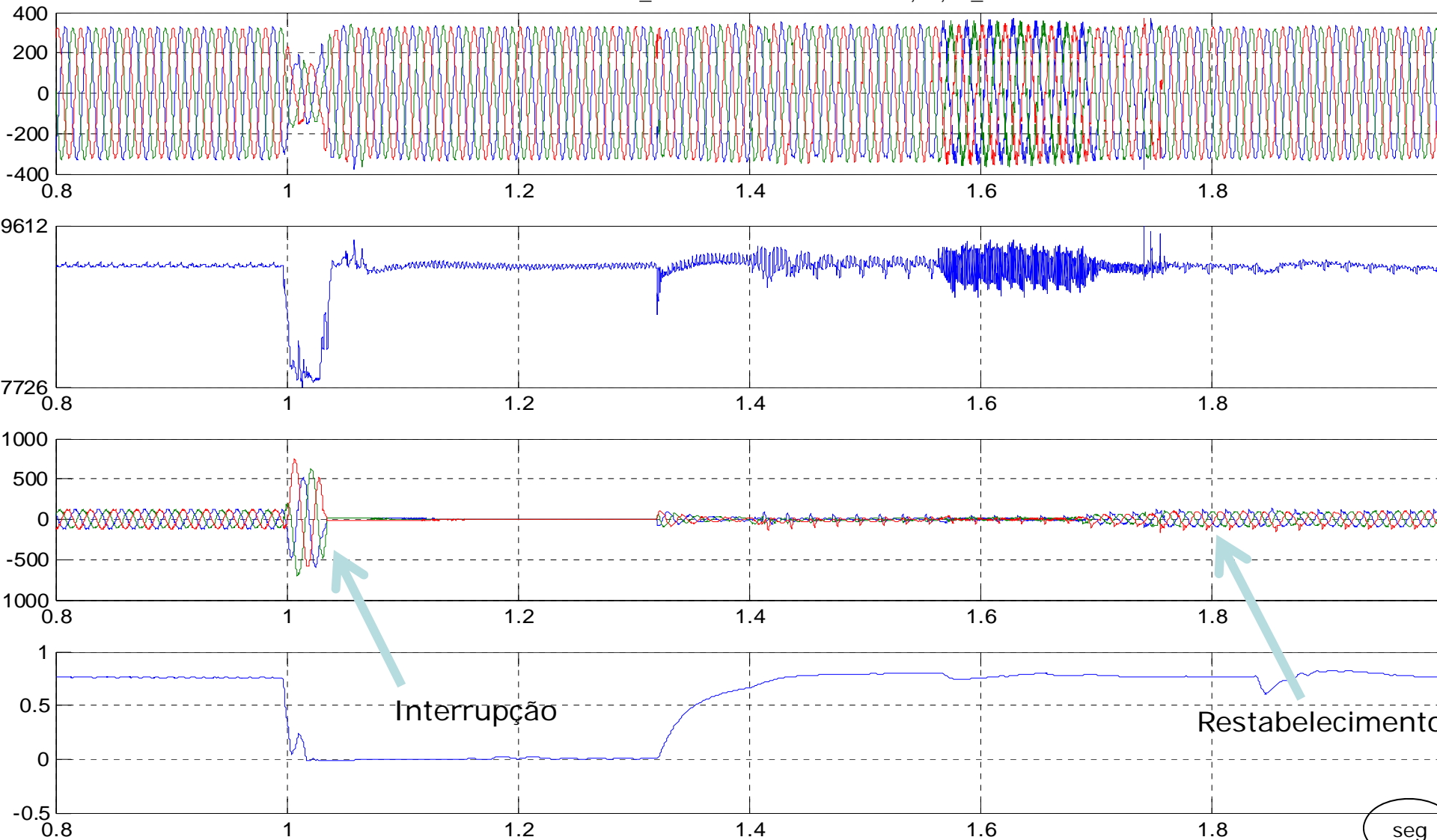


Corrente de curto interrompida pelo controle dos Tiristores em 10 ms;

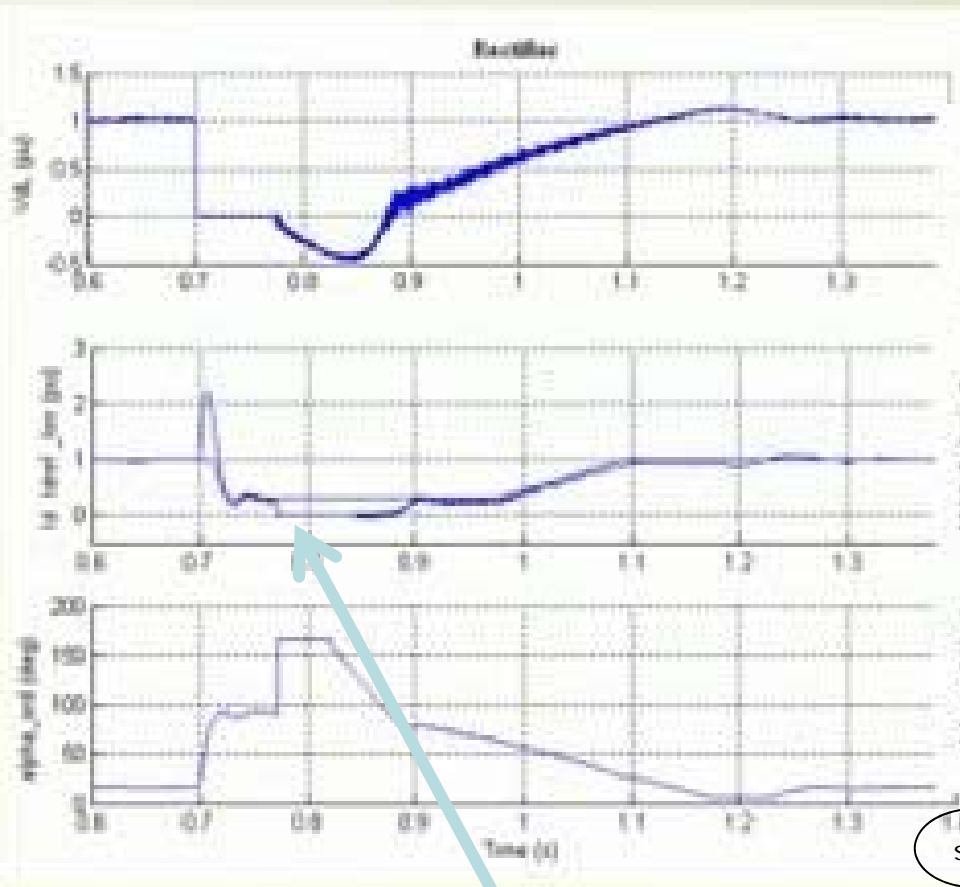
Tempo de recuperação típico da ordem de 400 ms, incluindo a deionização do arco.

Resposta de elos VSC a curtos na linha DC

File: TFR CL_S2PCP1B1 1 20131113 02:49:30_368000.CFG

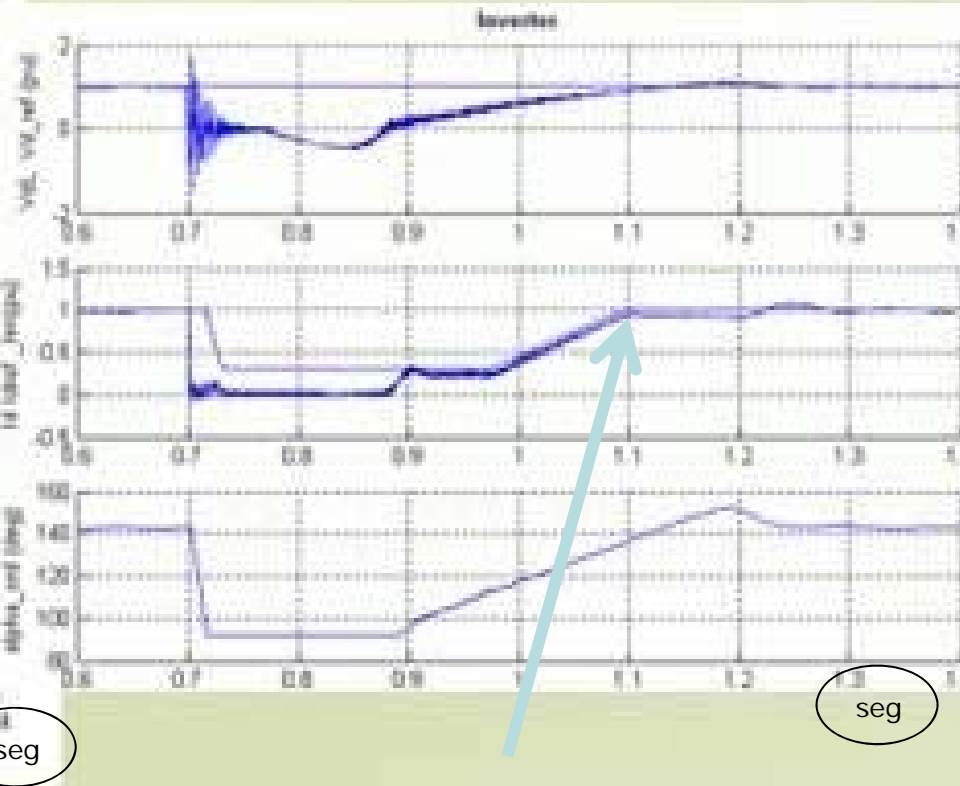


Resposta de elos LCC a curtos na linha DC



Interrupção

seg



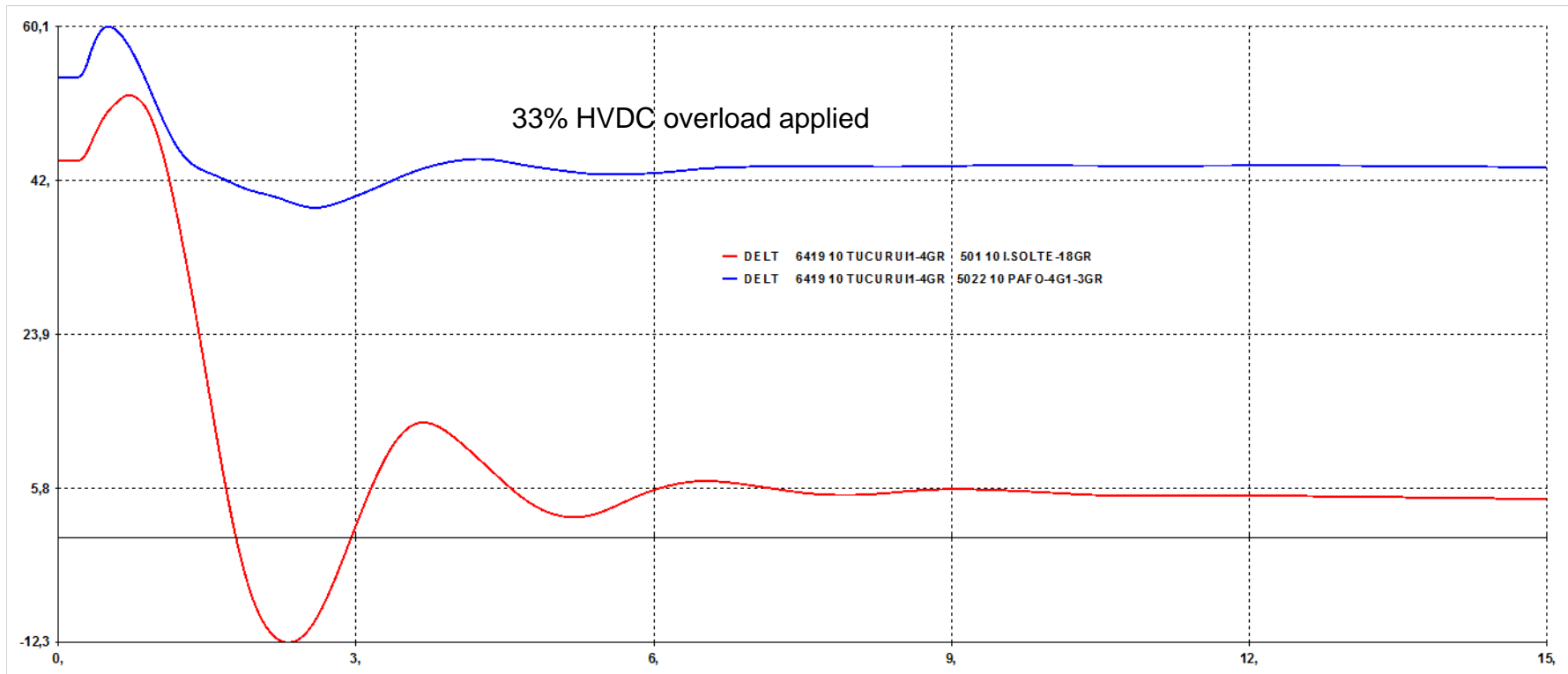
Restabelecimento

seg

Exploiting the DC Power Overload Capability of LCC HVDC Links

Exploiting the DC Power Overload Capability of Belo Monte HVDC Links (33% for 30 minutes)

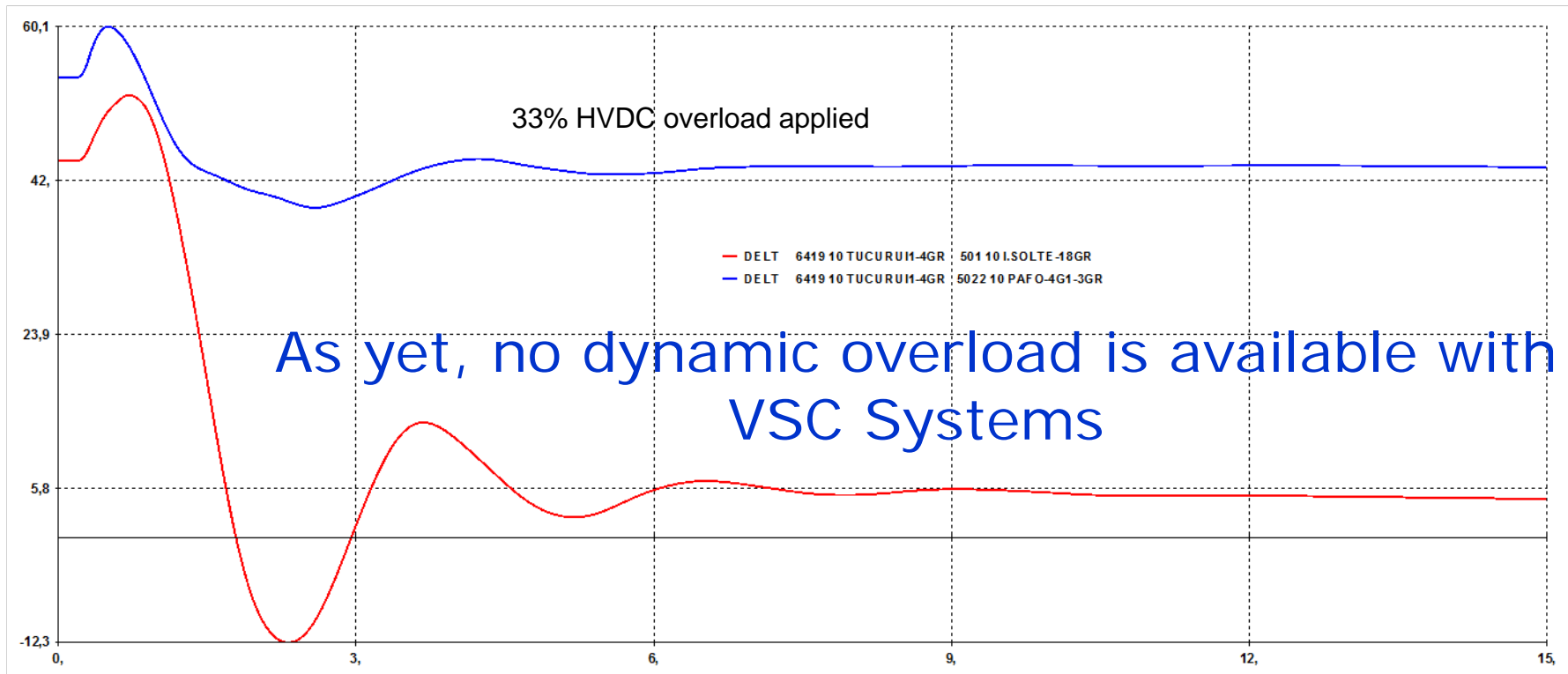
Generators angle separation for a double circuit 500 kV AC fault:
red: North to Southeast; blue: North to Northeast



Exploiting the DC Power Overload Capability of LCC HVDC Links

Exploiting the DC Power Overload Capability of Belo Monte HVDC Links (33% for 30 minutes)

Generators angle separation for a double circuit 500 kV AC fault:
red: North to Southeast; blue: North to Northeast

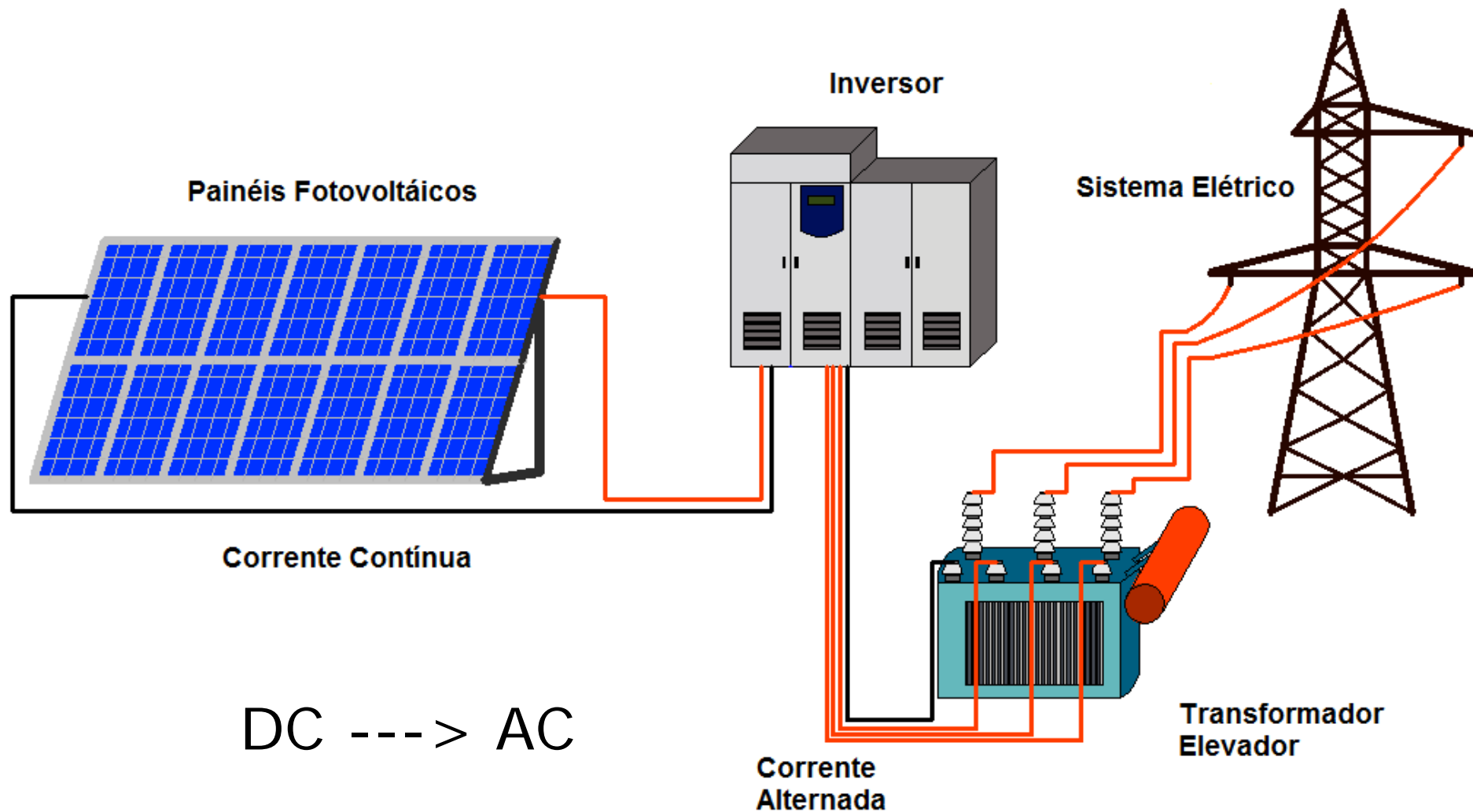


Parte III

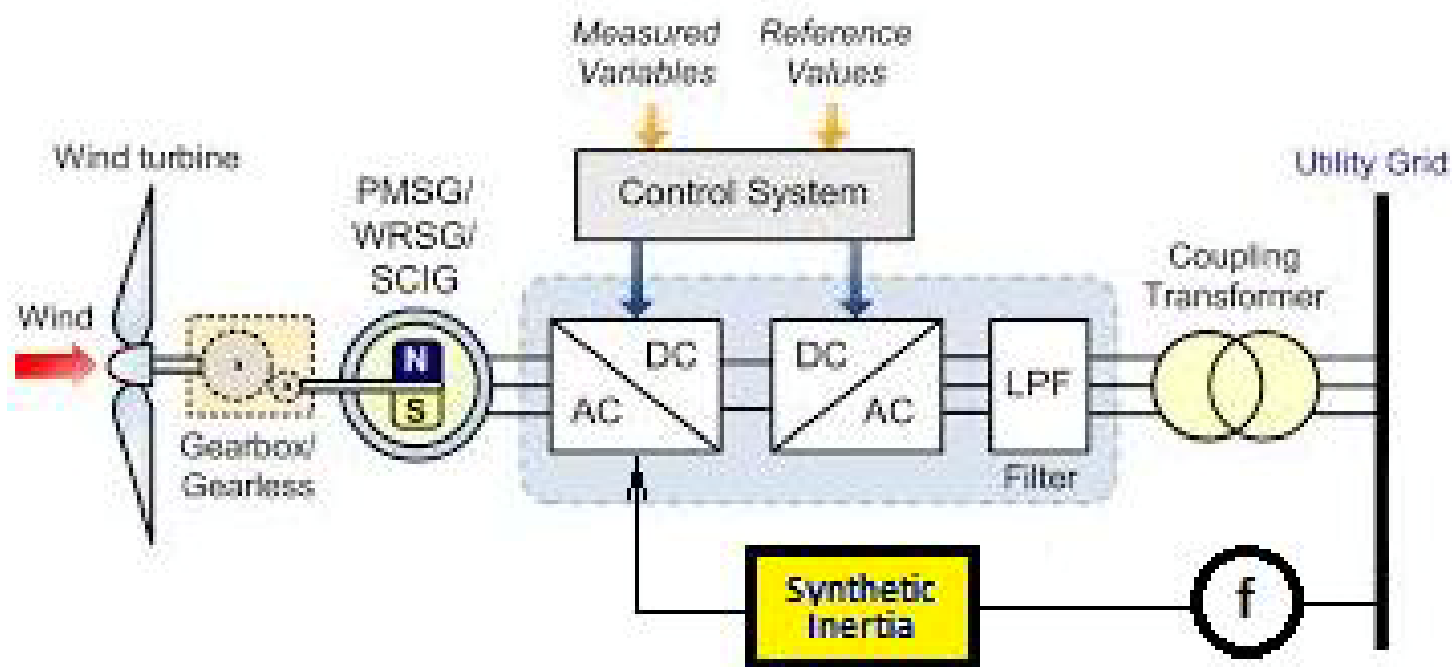
Considerações sobre Novas tecnologias de T&D para integrar *PROSUMIDORES*



Inserção de *prosumidores*: conceitos básicos (geração fotovoltaica)



Inserção de *prosumidores*: conceitos básicos (geração eólica)



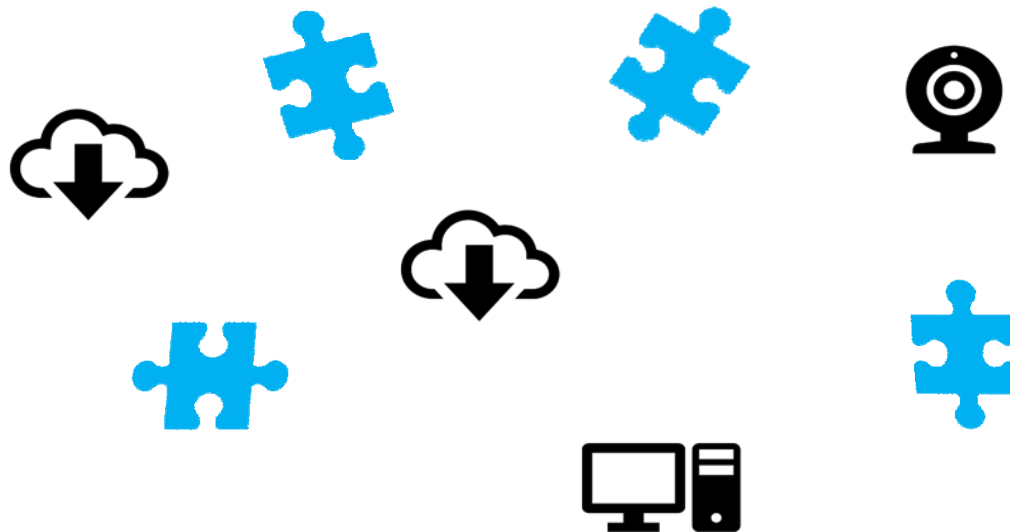
AC --> DC --> DC --> AC



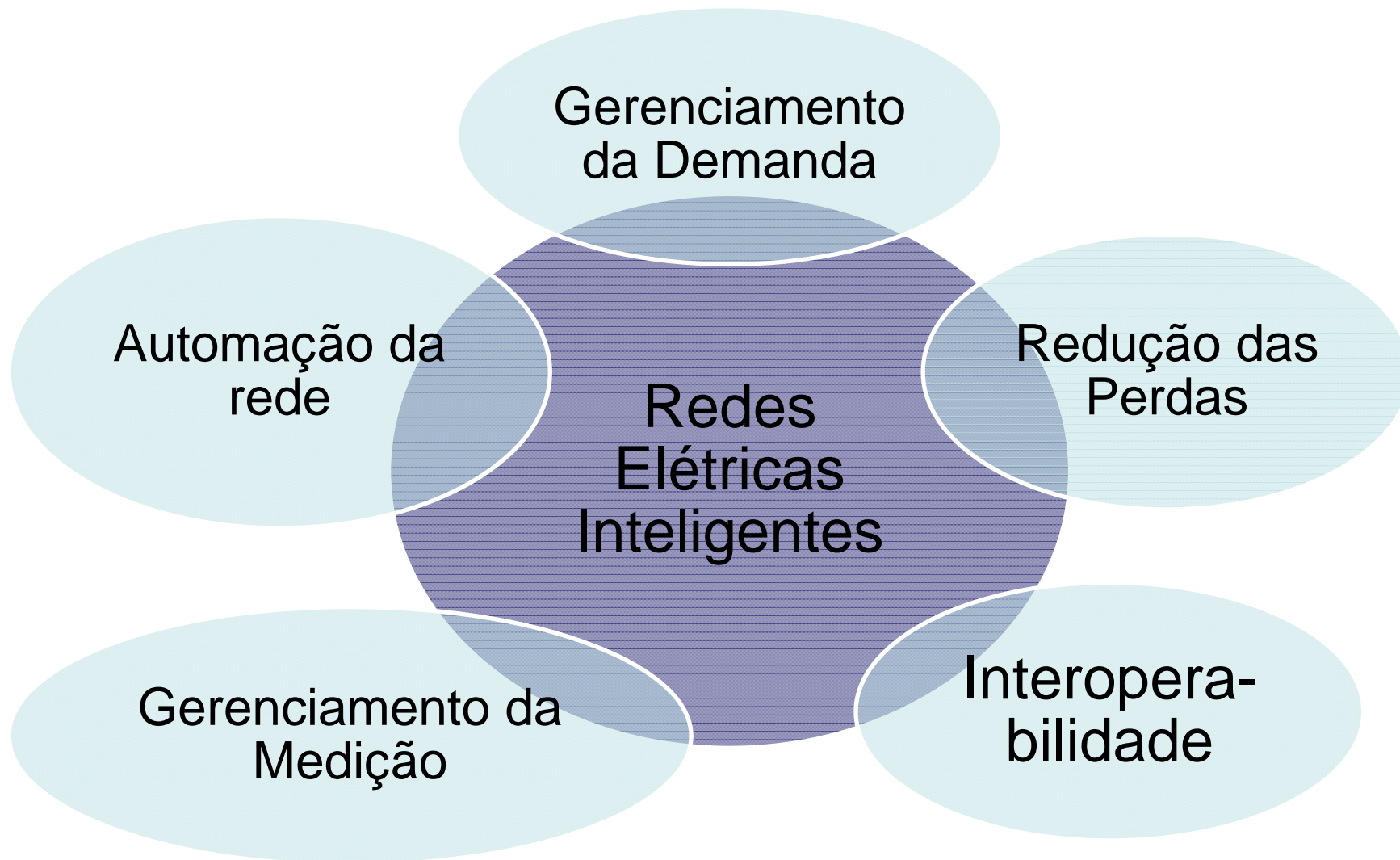
“Is a prosumer-led energy system unstoppable?”

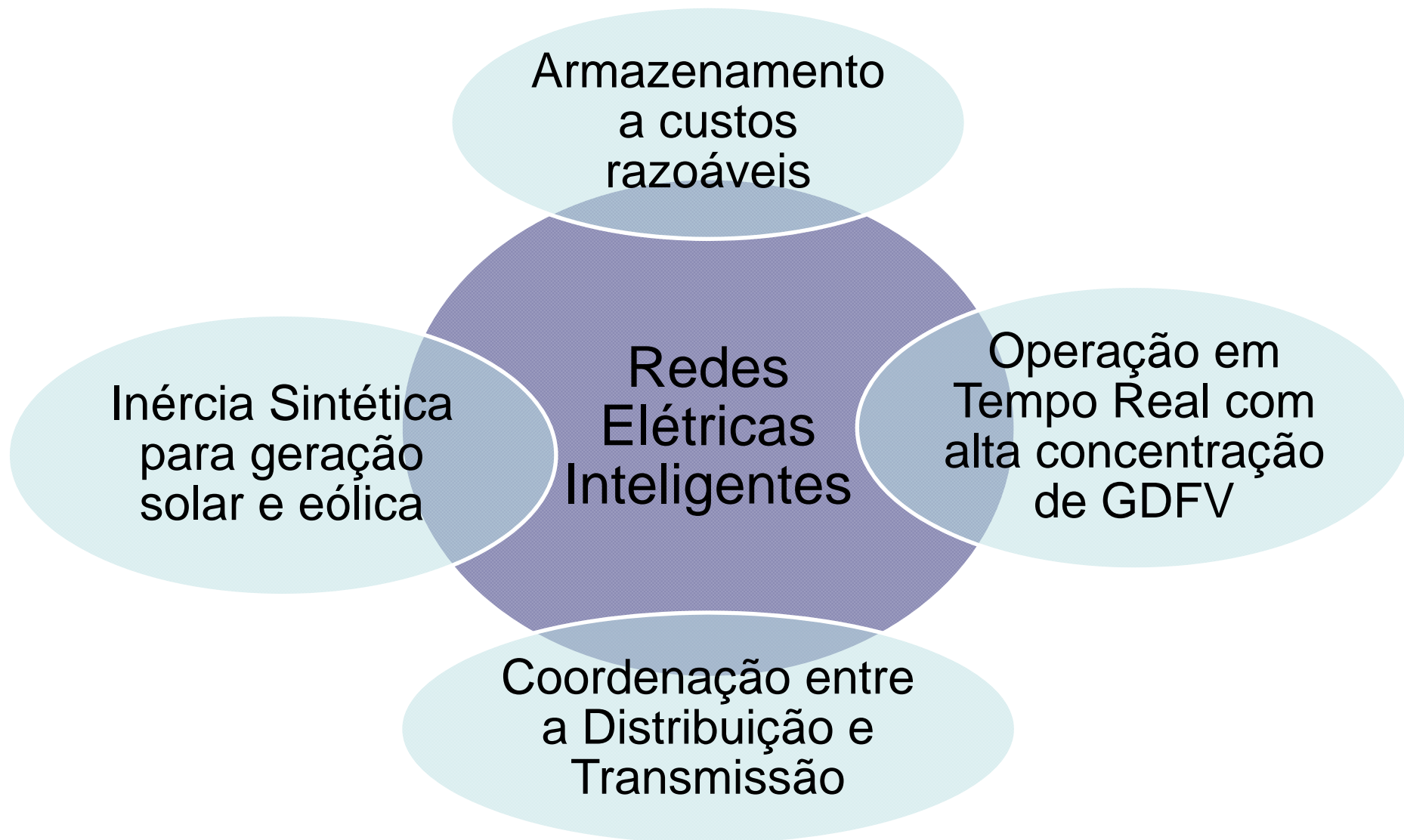
(COGEN Europe – The Power or Heat Conference
Bruxelas, junho 2018)

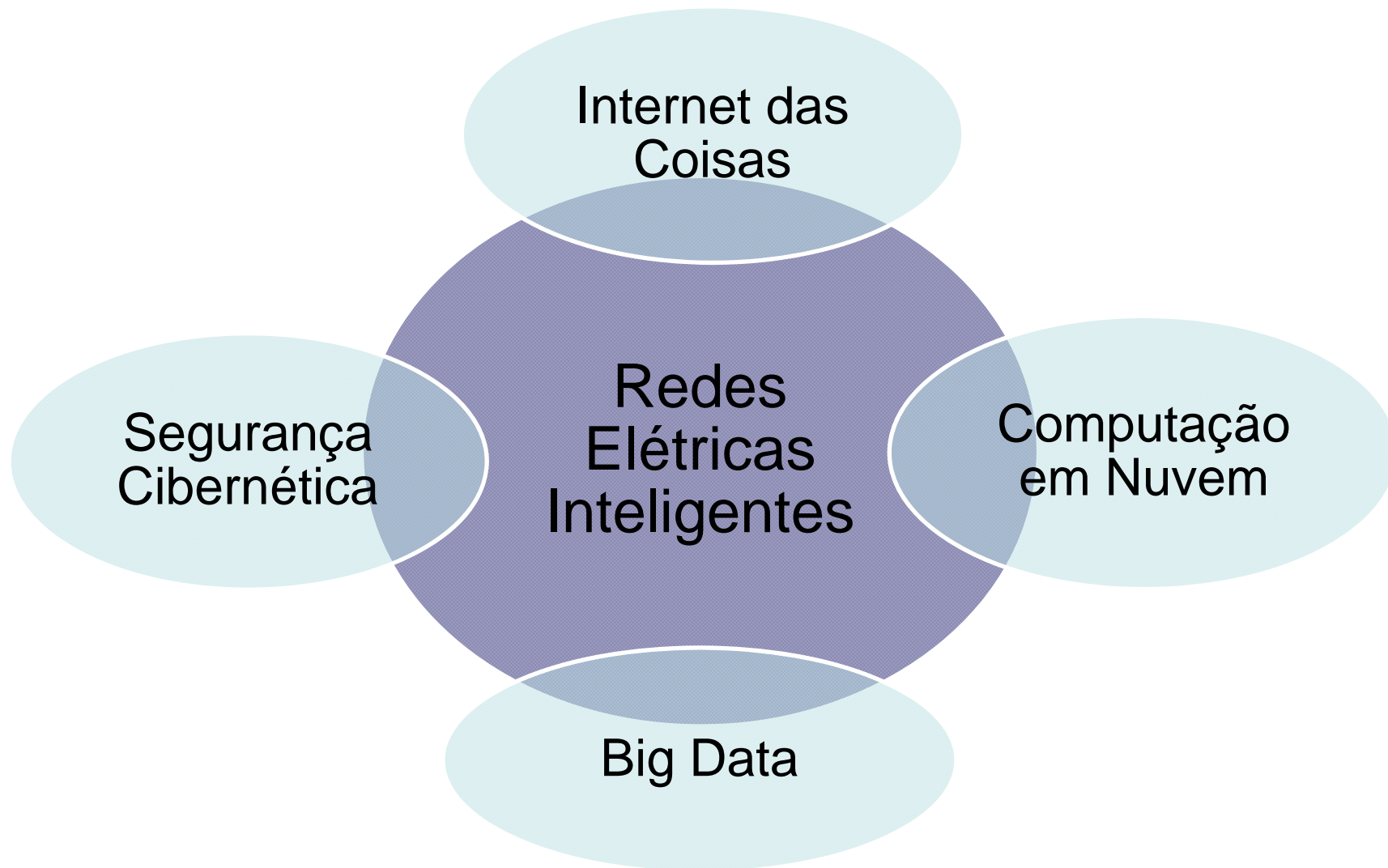
Desafios



Desafios para o Modelo de Negócios das Redes Eléctricas Inteligentes







*“Is a
prosumer-led
energy
system
unstoppable?”*

*Acreditamos, no
Cepel, que a
resposta seja:*

*Positivamente
sim!*

Em construção*, com apoio do Banco Mundial (World Bank) e consultoria técnica do *Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology*

Quatro principais áreas de atuação:

1. **Área de Ensaios de Equipamentos para Redes de SG**
2. **Área de “Power-Hardware-in-the-loop”**
3. **Área de Microrrede**
4. **Área de Adequação a normas e protocolos TIC**

* Início de operação previsto para 2019

Área 1 - Área de Ensaios de Equipamentos para Redes de SG : Realização de testes de referência em inversores para GDFV de acordo com as normas pertinentes, incluindo funções avançadas e não normatizadas.



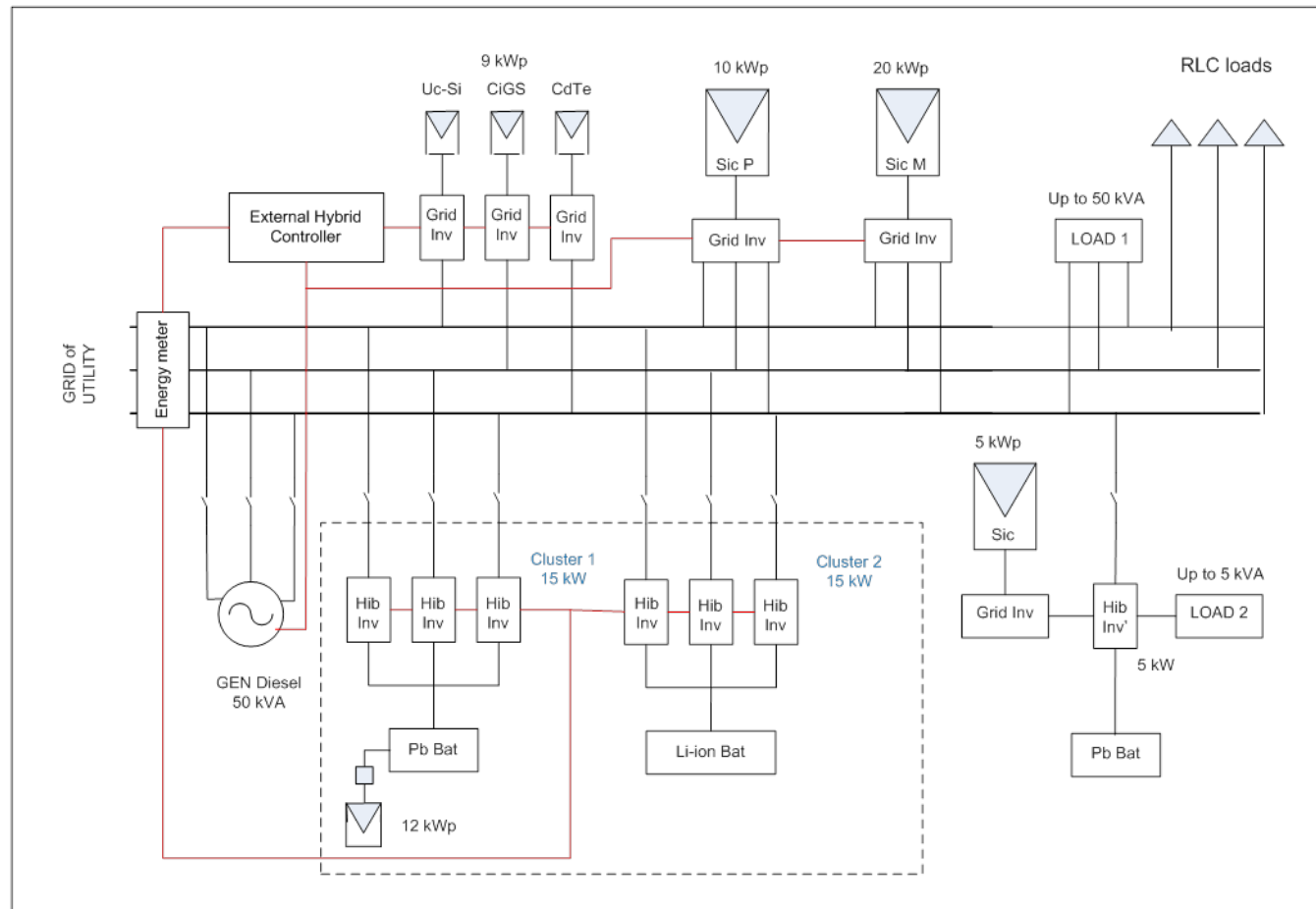
Foto cedida pelo Instituto Fraunhofer IWES

Área 2 - Área de “Power-Hardware-in-the-loop” :
Conjuga simulação de rede em diversas condições, inclusive degradadas, e equipamentos reais operando sob carga. Esta é uma atividade de pesquisa e de prova de conceitos.



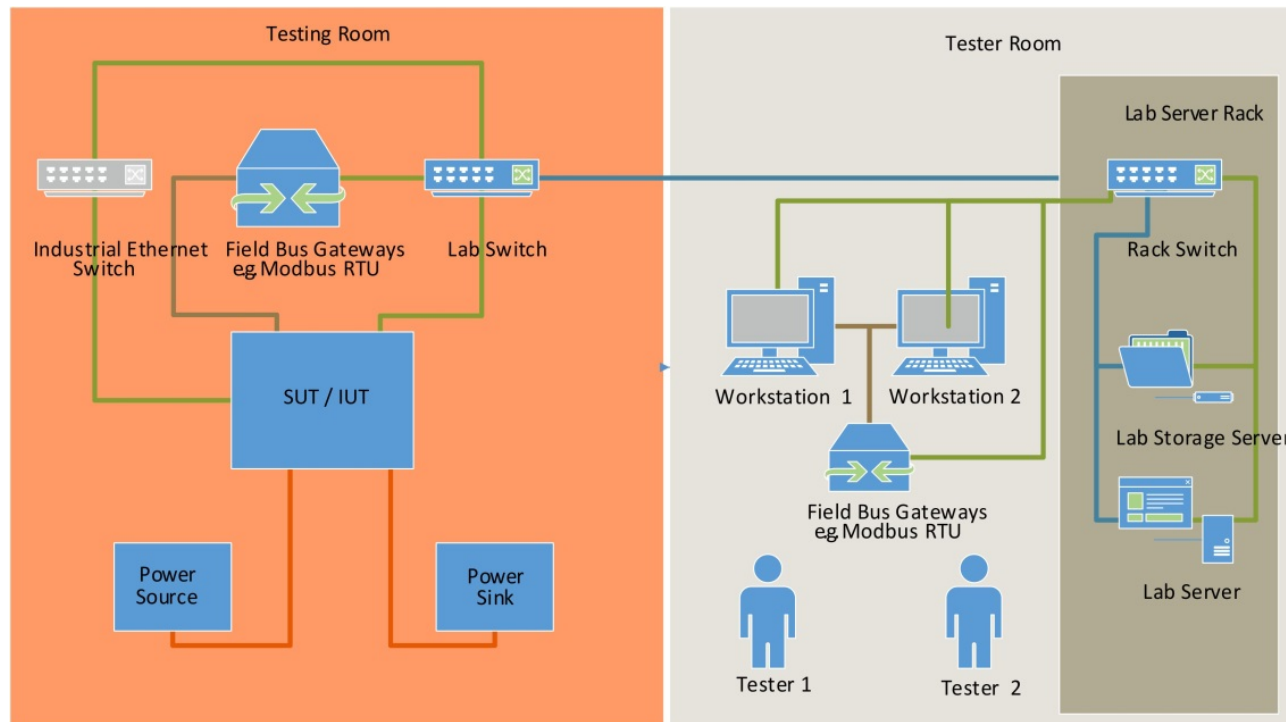
Foto cedida pelo Instituto Fraunhofer
IWES

Área 3 – Microrrede: Pesquisa e provas de conceito de microrredes operando conectadas ou ilhadas.



Área 4 - Adequação a normas e protocolos TIC:

Realiza testes de compatibilidade em sistemas de comunicação e informação, visando assegurar a interoperabilidade entre sistemas de diversos fabricantes.



Ethernet over optical fibre
Ethernet over cat 6
Field Bus
High power cable

MUITO OBRIGADO!

jbarros@cepel.br

www.cepel.br

