

HVDC Multi-Infeed

Caso Brasileiro

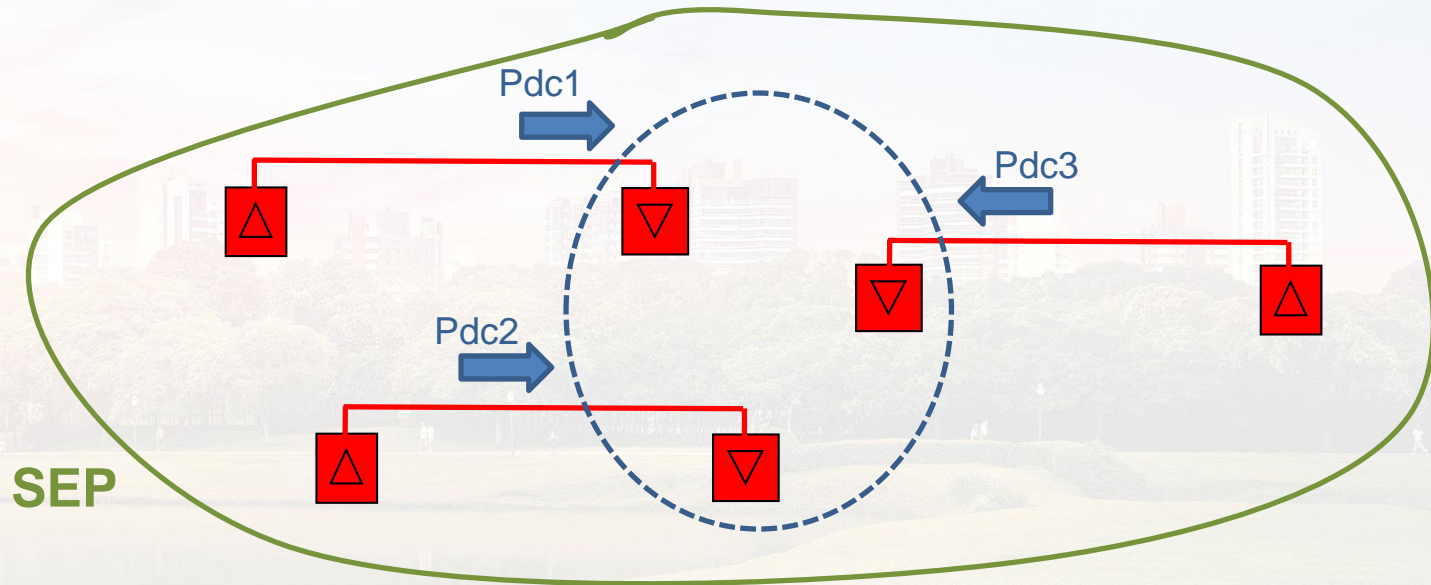
GAT / Wo Wei Ping

Tópicos da apresentação

- Conceito
- Sistemas HVDC no Brasil
- DC Multi-infeed no Brasil
- Índices preditivos de desempenho
- Ferramentas para análise
- Conclusões

DC Multi-infeed - Conceito

DC Multi-infeed = Múltiplas alimentações em HVDC (inversores) convergindo em uma mesma região elétrica

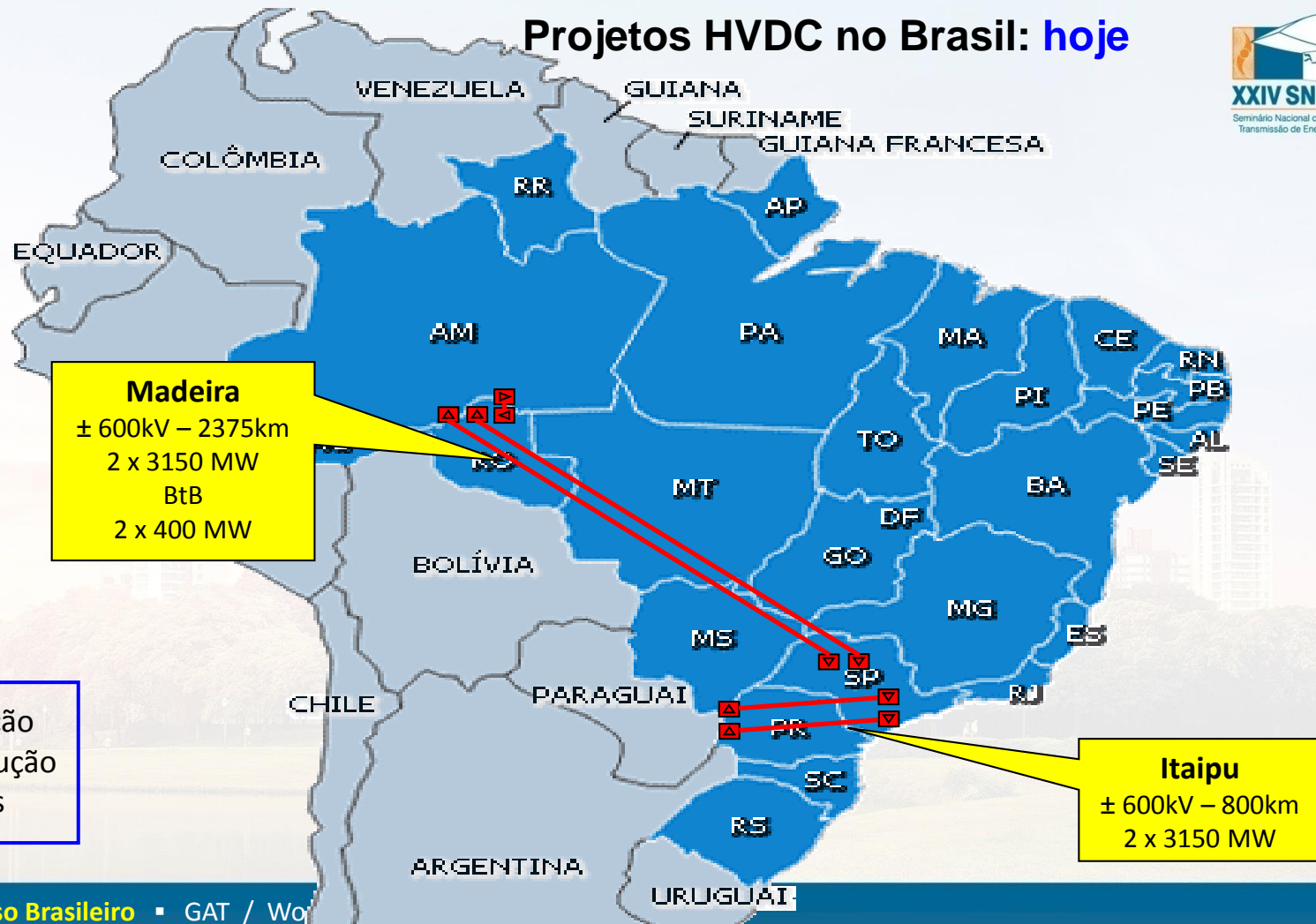


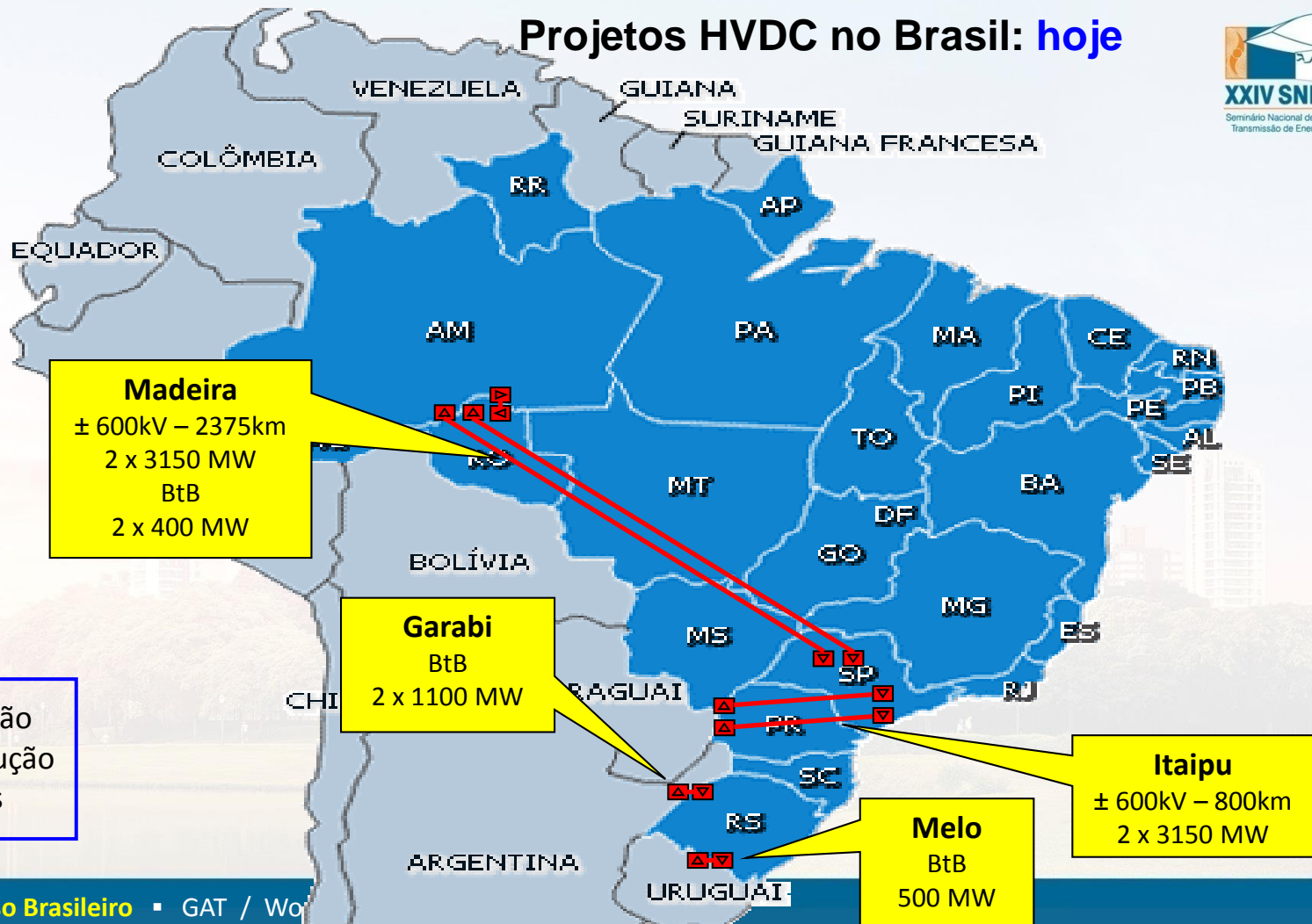
Alguns problemas associados ao *DC multi-infeed*:

- Falhas de comutações (FCs) simultâneas em inversores.
- Dificuldade de recuperação de contingências (FCs sequenciais)
- Interações adversas entre os controles de diferentes HVDC.
- Falha interna em um HVDC interferindo na operação de outros HVDC
- Interação harmônica de HVDC próximos

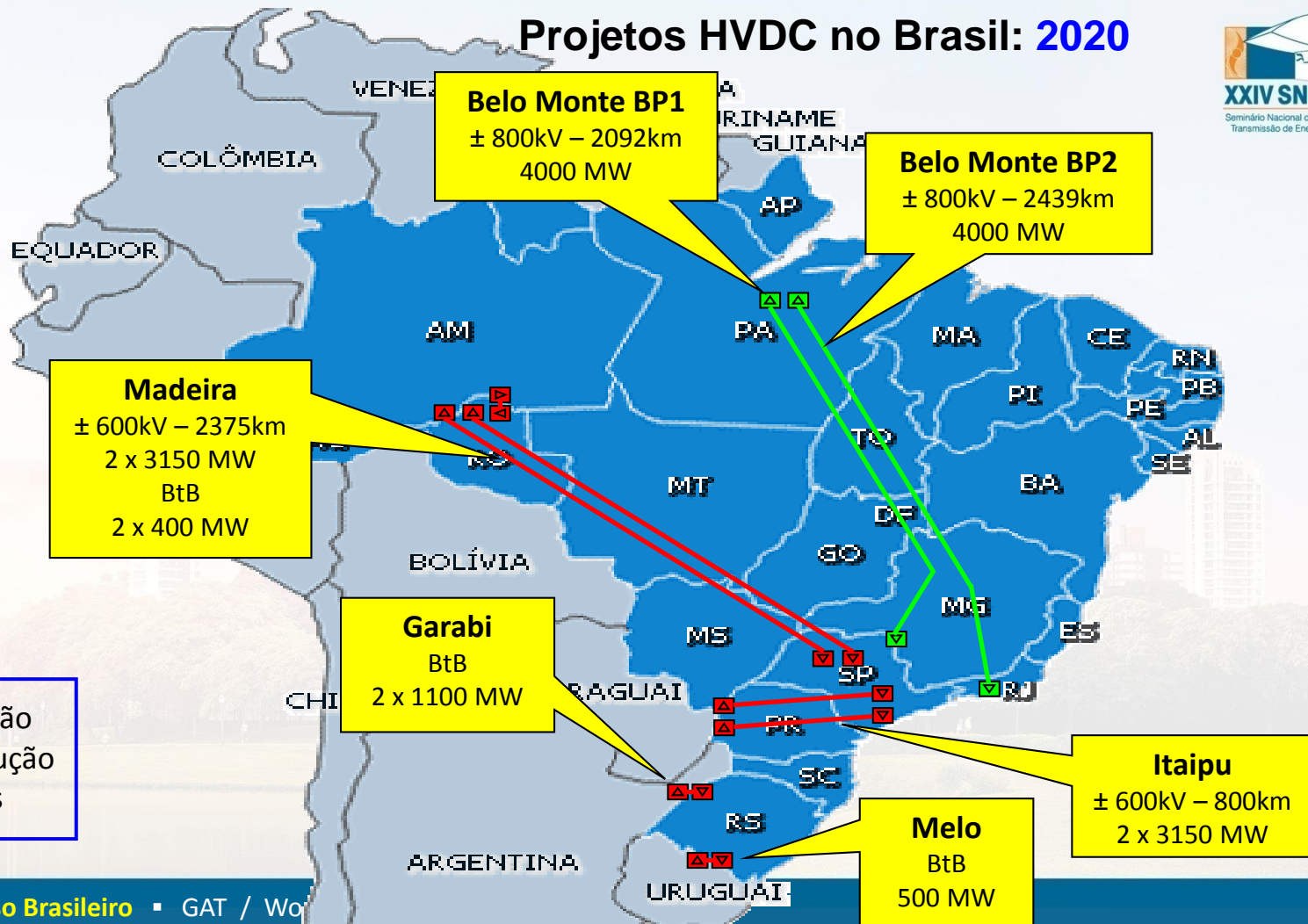


*LCC = Line Commutated Converter

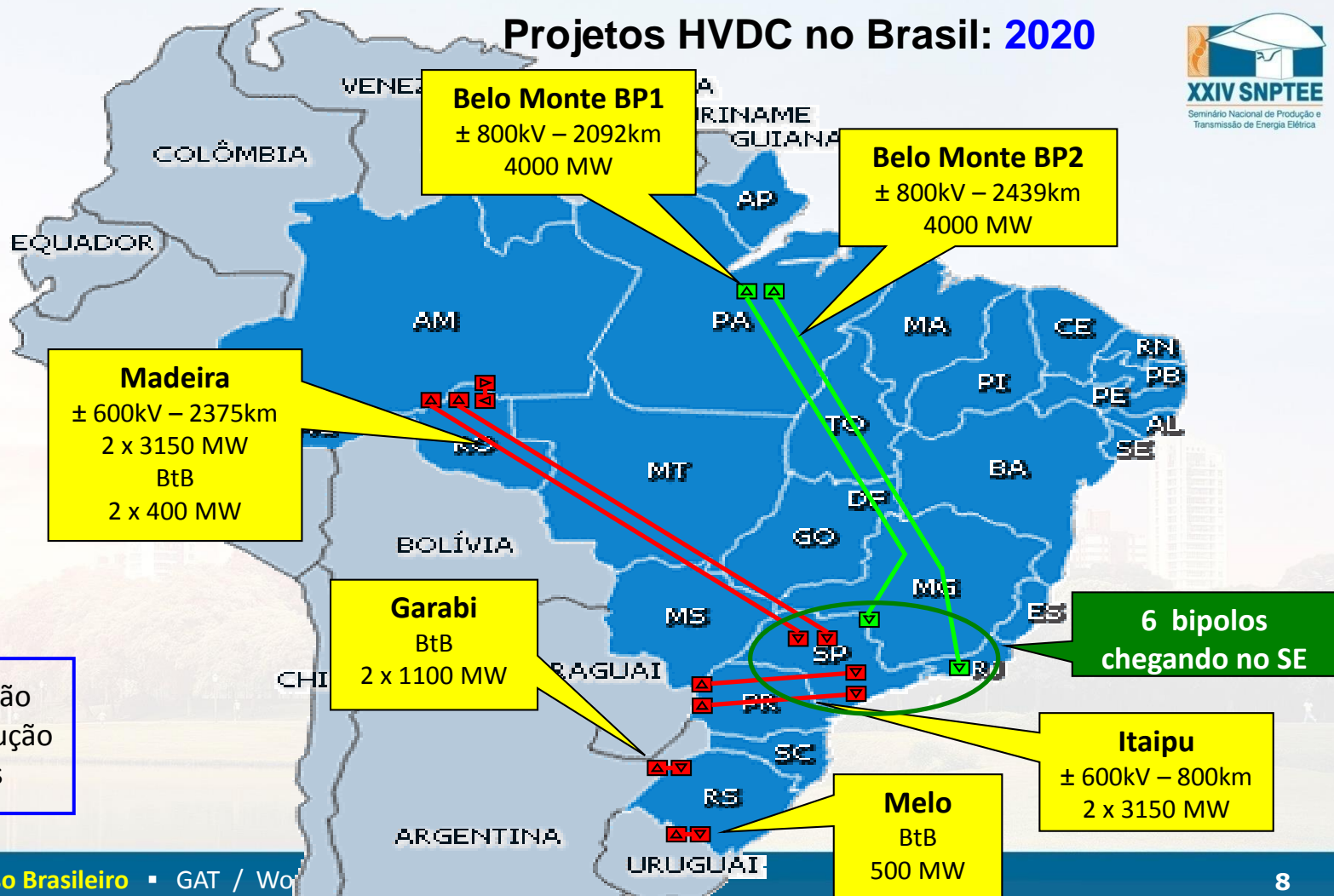


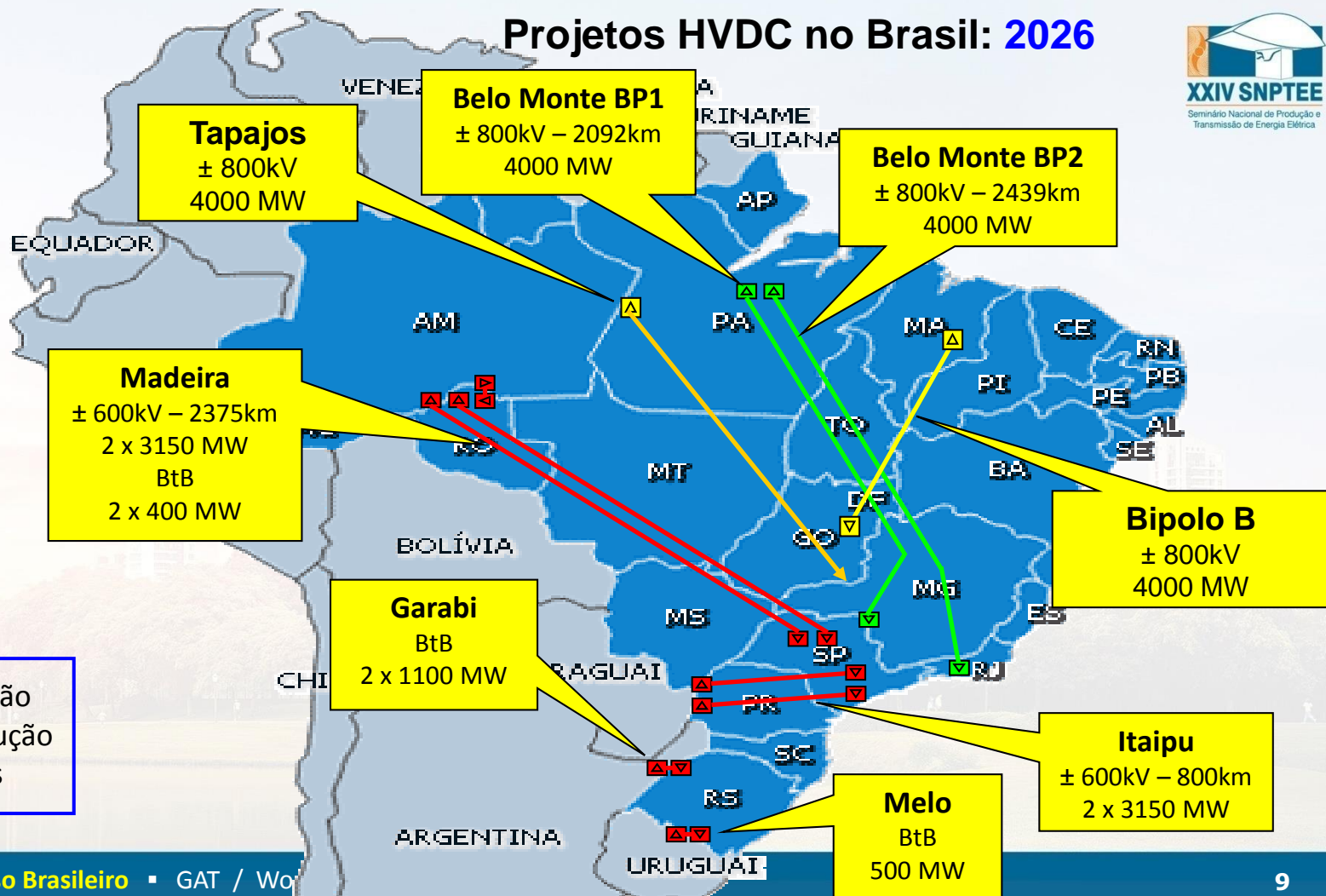


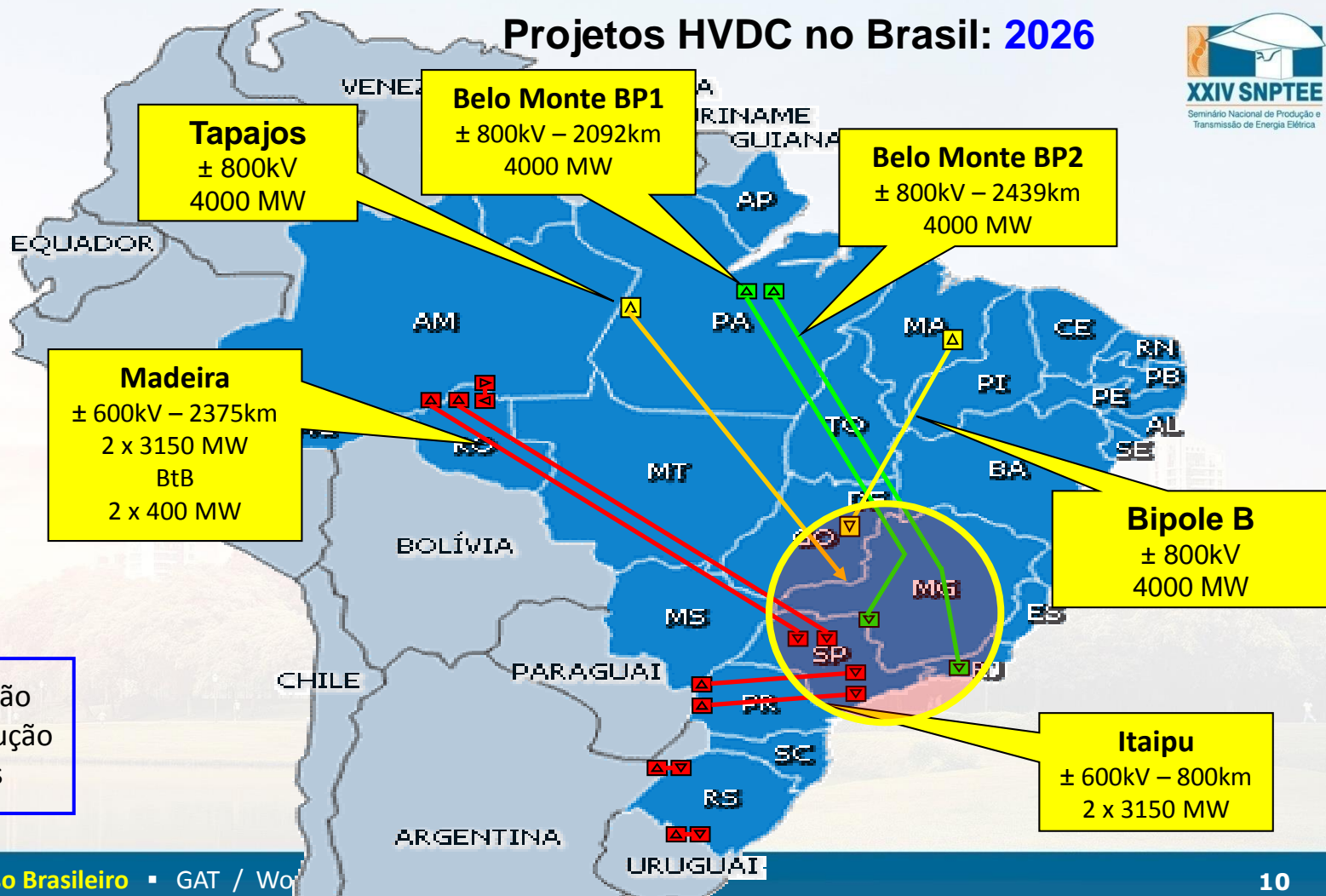
- Em operação
- Em construção
- Planejados

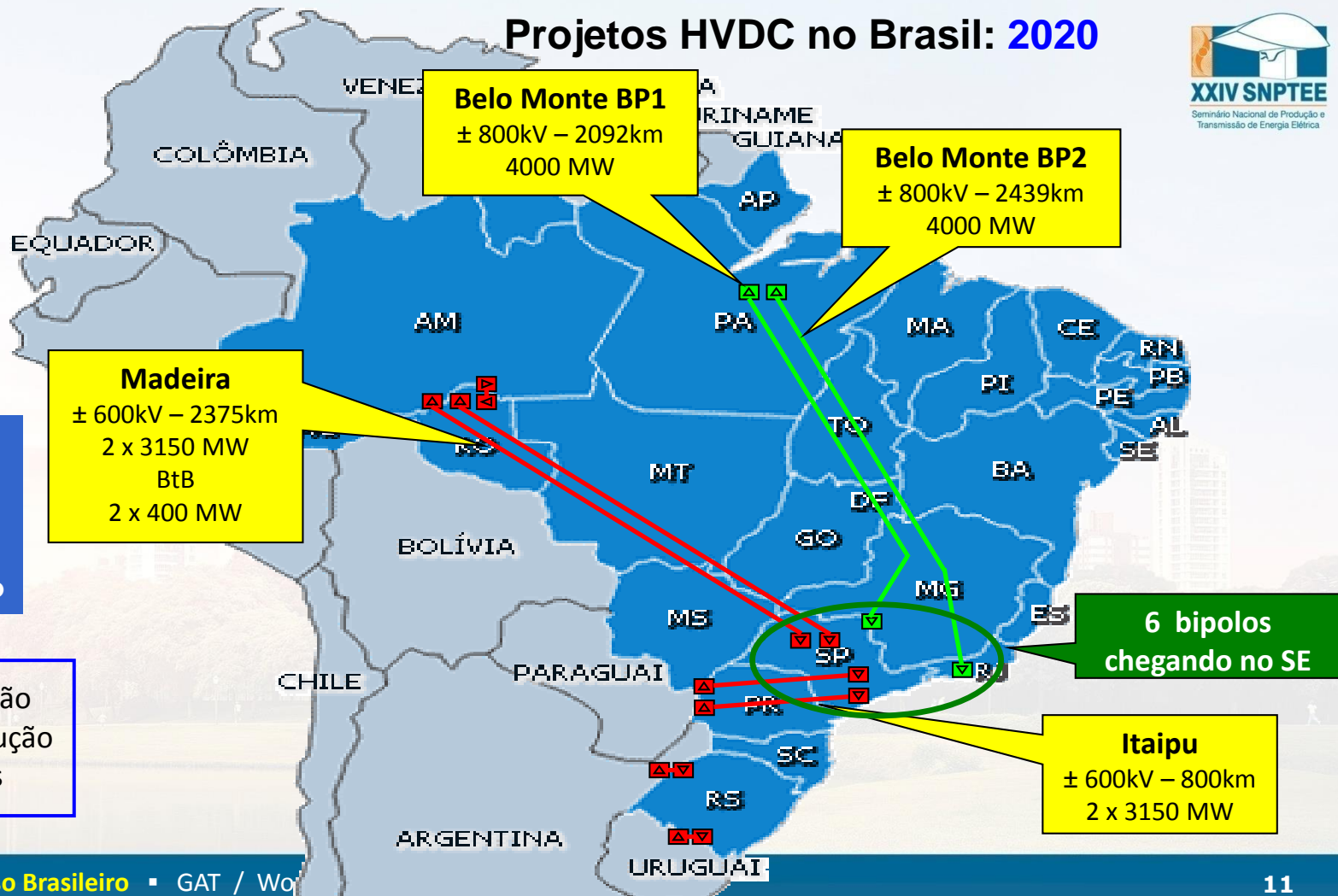


- Em operação
- Em construção
- Planejados









• Itaipu e Madeira:
interligam sistemas
assíncronos

• BeloMonte:
sistema CA paralelo

6 bipolos → 4 barras conversoras CA

Madeira

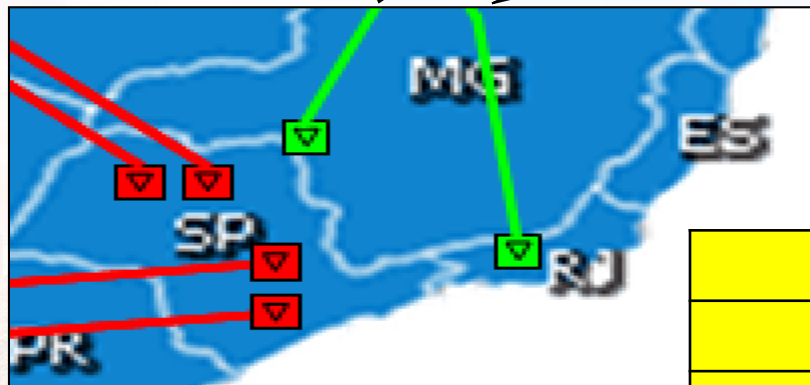
± 600kV – 2375km
2 x 3150 MW

Belo Monte BP1

± 800kV – 2092km
4000 MW

Belo Monte BP2

± 800kV – 2439km
4000 MW



Itaipu

± 600kV – 800km
2 x 3150 MW

Barras conversoras CA

Ibiúna 345 (Itaipu)

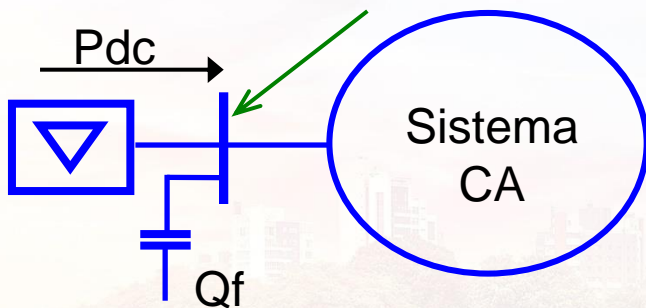
Araraquara 500 (Madeira)

Estreito 500 (B.Monte 1)

Terminal Rio 500 (B.Monte 2)

Índices para *single-infeed*: SCR e ESCR

SCL: Nível de curto-circuito
(Pot. de curto trifásica)



SCR: **Short-Circuit Ratio**

$$\text{SCR} = \frac{\text{SCL}}{P_{dc}}$$

ESCR: **Effective (Equivalent) Short-Circuit Ratio**

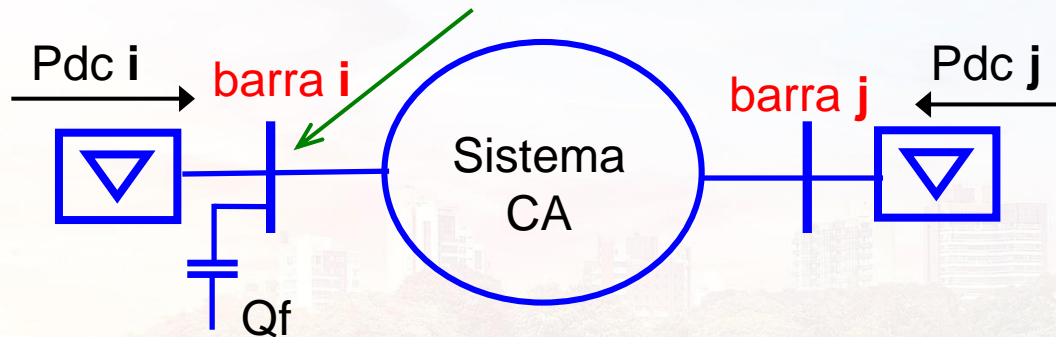
$$\text{ESCR} = \frac{\text{SCL} - Q_f}{P_{dc}}$$

SCR < 3: HVDC conectado a um sistema fraco

ref.: “Guide to Planning DC Links Terminating at AC Locations having Low Short-Circuit Capabilities. Part I: AC/DC System Interaction Phenomena”, CIGRÉ Brochure **68**, June 1992.

Índices para DC Multi-infeed: MISCR e MIESCR

SCL: Nível de curto-circuito
(Pot. de curto trifásica)



Ref: Cigré TB 364: “Systems with multiple dc infeed”

$$MIIF_{ji} = \frac{\Delta V_j}{\Delta V_i}$$

Índices para DC Multi-infeed: MISCR e MIIF

- **MISCR:** *Multi-infeed Interactive SCR*

$$MISCR_i = \frac{Scc_i}{Pdc_i + \sum_j (MIIF_{j,i} Pdc_j)}$$

Scc_i = Pot. de curto trifásica na barra conversora ***i***

Pdc_i = Potência DC transmitida pelo HVDC ***i***

$MIIF_{j,i}$ = Acoplamento elétrico entre as barras ***i, j***

- **MIIF:** Multi Infeed Interaction Factor

$$MIIF_{ji} = \frac{\Delta V_j}{\Delta V_i}$$

MIIF = 0 → barras inversoras afastadas

MIIF = 1 → barras inversoras próximas.

Índices para DC Multi-infeed: MIESCR

- **MIESCR** – Multi-infeed Interactive Effective Short Circuit Ratio

$$MIESCR_i = \frac{Scc_i - Qf_i}{Pdc_i + \sum_j (MIIF_{j,i} Pdc_j)}$$

Scc_i = Pot. de curto trifásica na barra conversora ***i***

Pdc_i = Potência DC transmitida pelo HVDC local (na barra ***i***)

Pdc_j = Potência DC transmitida pelo HVDC remoto (na barra ***j***)

$MIIF_{j,i}$ = Acoplamento elétrico entre as barras ***j*** and ***i***

Qf = Potência reativa shunt (capacitores/reatores) (na barra ***i***)

MIIF: exemplo num caso de 2020, leve x pesada

MIIF – Caso 1A (2020, N-exportador, carga leve)				
Bus $j \rightarrow$	Ibiúna	Araraq	T. Rio	Estreit
Bus $i \downarrow$				
Ibiúna	1,00	0,39	0,32	0,27
Araraq	0,37	1,00	0,38	0,36
T. Rio	0,24	0,29	1,00	0,33
Estreito	0,29	0,40	0,47	1,00

MIIF – Caso 2A (2020, N-exportador, carga pesada)				
Bus $j \rightarrow$	Ibiúna	Araraq	T. Rio	Estreit
Bus $i \downarrow$				
Ibiúna	1,00	0,25	0,14	0,10
Araraq	0,31	1,00	0,22	0,23
T. Rio	0,19	0,22	1,00	0,21
Estreito	0,23	0,32	0,47	1,00

$$MIIF_{ji} = \frac{\Delta V_j}{\Delta V_i}$$

Índices para DC Multi-infeed: MISCR e MIESCR

SCR x MISCR para Caso 1A (2020, carga **leve**, N-exportador)

	SCR	ESCR
Ibiúna	4,50	4,09
Araraquara	4,07	3,57
Terminal Rio	4,74	4,31
Estreito	6,23	5,81



Índices para DC Multi-infeed: MISCR e MIESCR

SCR x MISCR para Caso 1A (2020, carga **leve**, N-exportador)

	SCR	ESCR	MISCR	MIESCR
Ibiúna	4,50	4,09	2,40	2,18
Araraquara	4,07	3,57	2,20	1,94
Terminal Rio	4,74	4,31	2,29	2,08
Estreito	6,23	5,81	2,52	2,35



Ferramentas para estudo

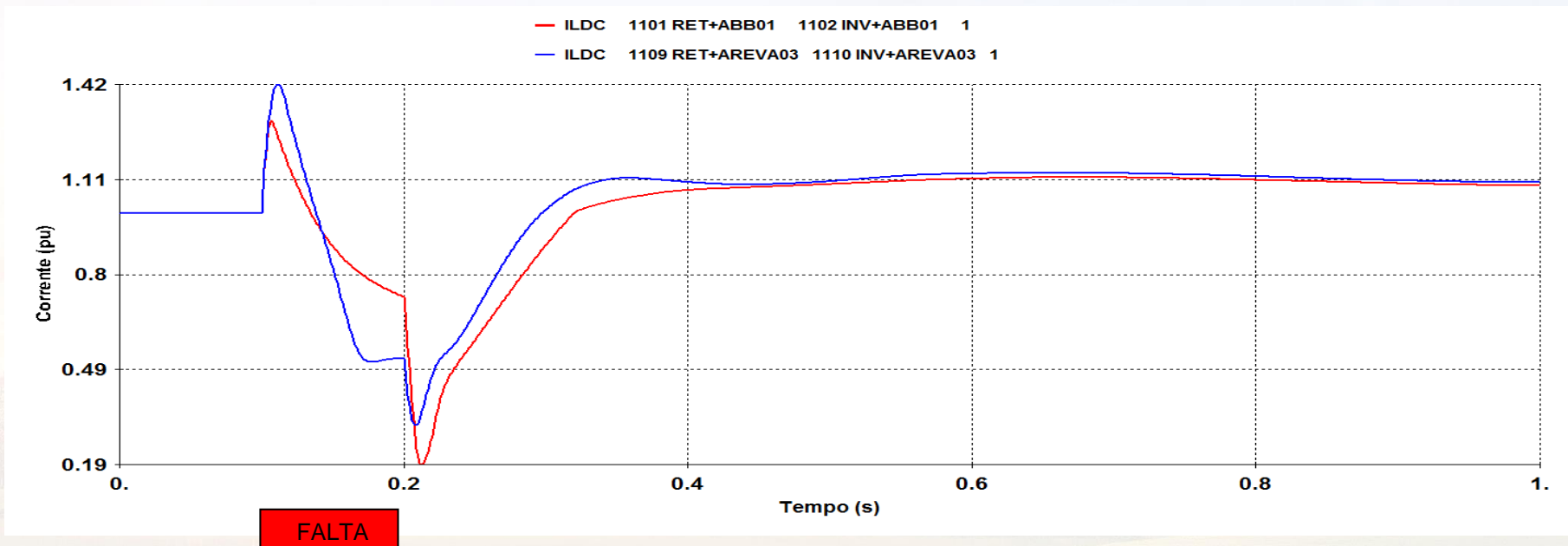
- Programas EMT (transitórios eletromagnéticos)
 - Exemplo: PSCAD, ATP, EMTP,...
 - É possível representar com detalhe (trifásica e instantânea) o sistema HVDC (sistema de controle, sistema de disparo, válvula conversora,...)
 - No entanto não é possível modelar todo o Sistema Interligado com todos seus geradores e respectivos controladores.
 - É necessário o uso de equivalentes para modelar a maior parte do sistema.

Ferramentas para estudo

- Programas TSA (estabilidade eletromecânica)
 - Exemplo: Anatem, PSS/E,...
 - Baseia-se na modelagem fasorial do sistema, adequada para a análise eletromecânica.
 - É possível representar todo o SIN com todos seus geradores e controladores (AVR, PSS e governador): 6500 barras, 500 geradores, 6 elos HVDC, SVCs, aerogeradores,...
 - No entanto não é possível detectar de forma precisa a ocorrência da falha de comutação nos conversores CA/CC. Usa-se modelo aproximado.

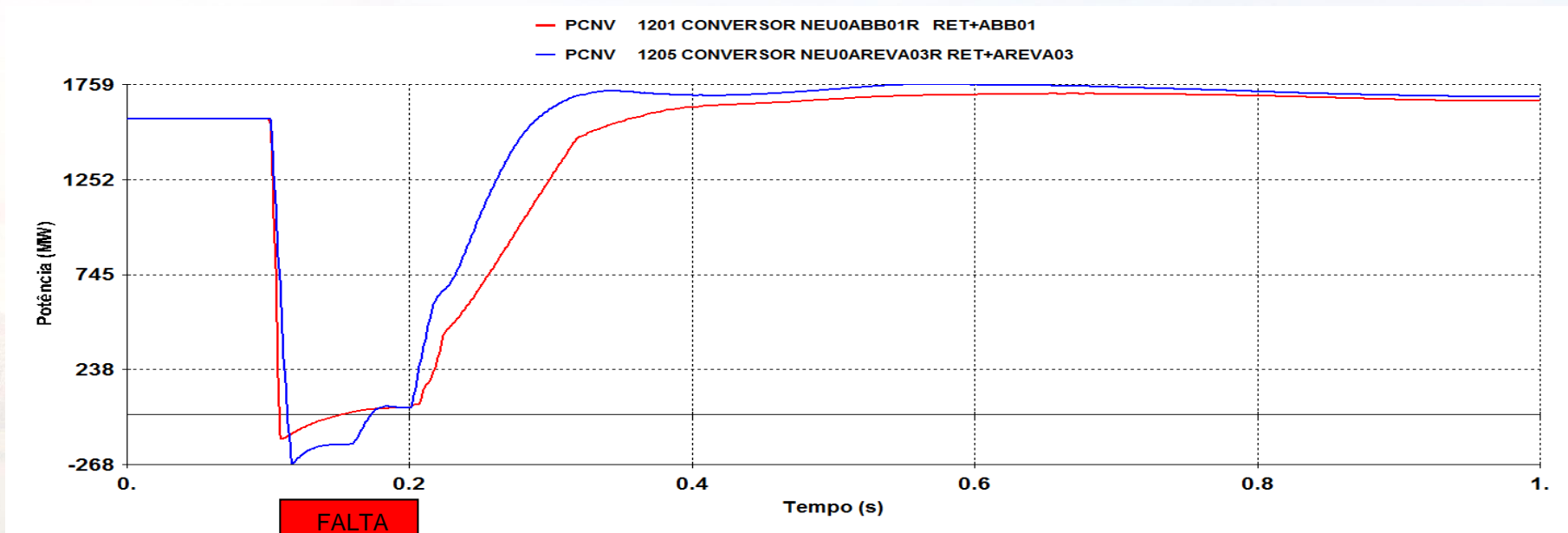
Exemplo de resultado do Anatem

Falta monofásica em Araraquara 500, seguida da abertura da LT Araraquara – Itatiba

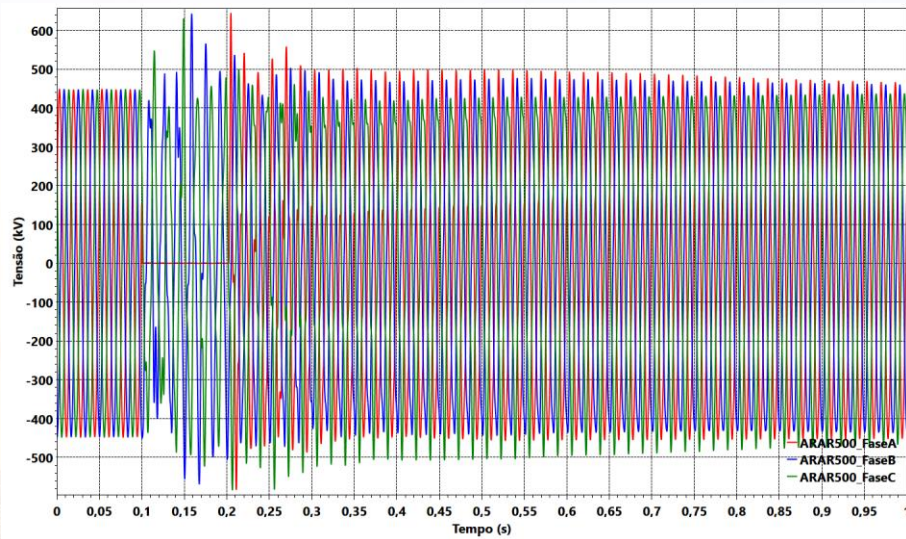


Exemplo de resultado do Anatem

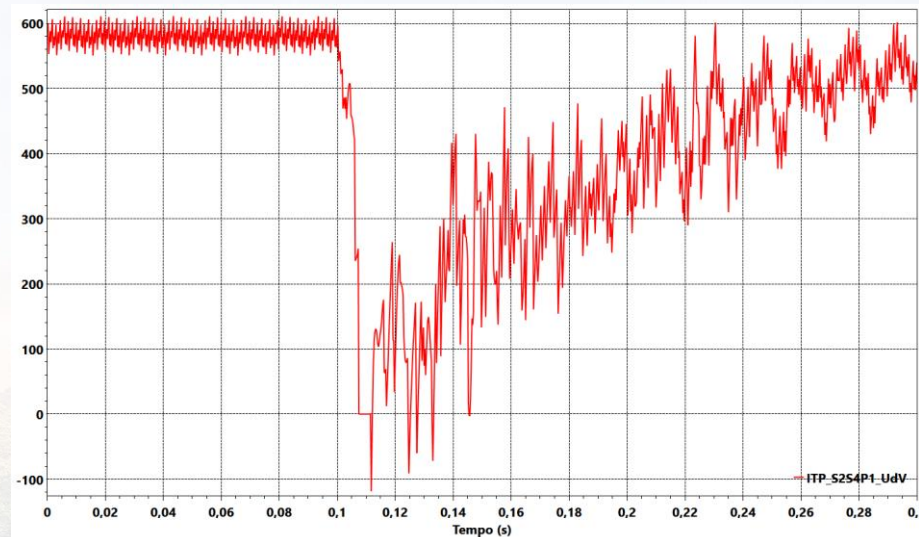
Falta monofásica em Araraquara 500, seguida da abertura da LT Araraquara – Itatiba



Exemplo de resultado EMT

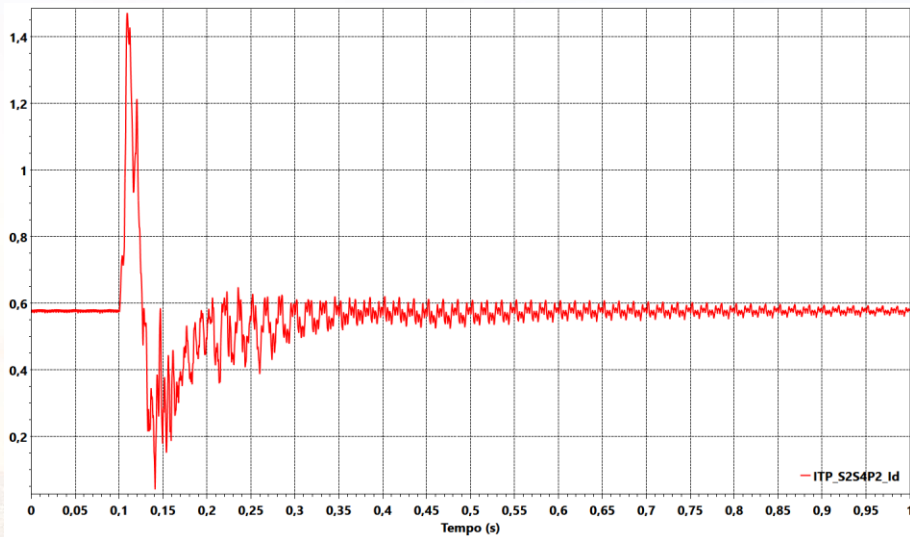


Vac (Araraquara500)

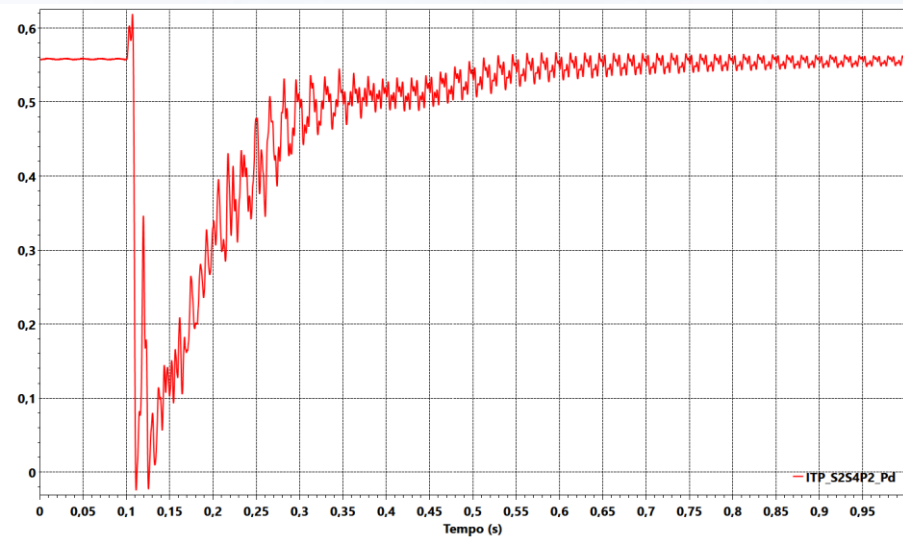


Vdc (Mad)

Exemplo de resultado EMT



I_{dc} (Mad)



P_{dc} (Mad)

Ferramentas para estudo: Recomendação

- Uso combinado das ferramentas de EMT e TSA
 - Analisar o fenômeno da ocorrência da falha de comutação em si no EMT.
 - Analisar o impacto que as falhas de comutação (múltiplas) causam no SIN através da ferramenta de TSA.

Conclusões


- DC Multi-infeed no SIN deve ser estudado: em 2020 envolve 20 GW.
- Pelo SCR estaria OK, mas MISCR indica cuidado.
- Para análise: uso combinado de EMT (PSCAD) e TSA (Anatem).
- Considerar na análise diferentes casos (cenários), incluindo atrasos de obras (degradação da rede de transmissão).
- Na eventualidade de FCs múltiplas (simultâneas) – talvez inevitáveis – deve-se perseguir condições para uma recuperação bem-sucedida (evitando-se novas FCs).


Obrigado pela atenção !

Wo Wei Ping

 (21) 2598-6014

 (21) 98777-4270

 wwping@cepel.br

 www.cepel.br

