

Análise de Ondas Viajantes em Linhas de Transmissão de Interconexão de Fontes Interfaceadas por Conversores: Um Estudo Sobre Aplicações de Proteção e Localização de Faltas



Felipe V. Lopes
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Moisés J. B. B. Davi
Universidade de São Paulo (USP)



Mário Oleskovicz
Universidade de São Paulo (USP)



Kleber M. Silva
Universidade de Brasília (UnB)



Roberto Dias
ESC Engenharia



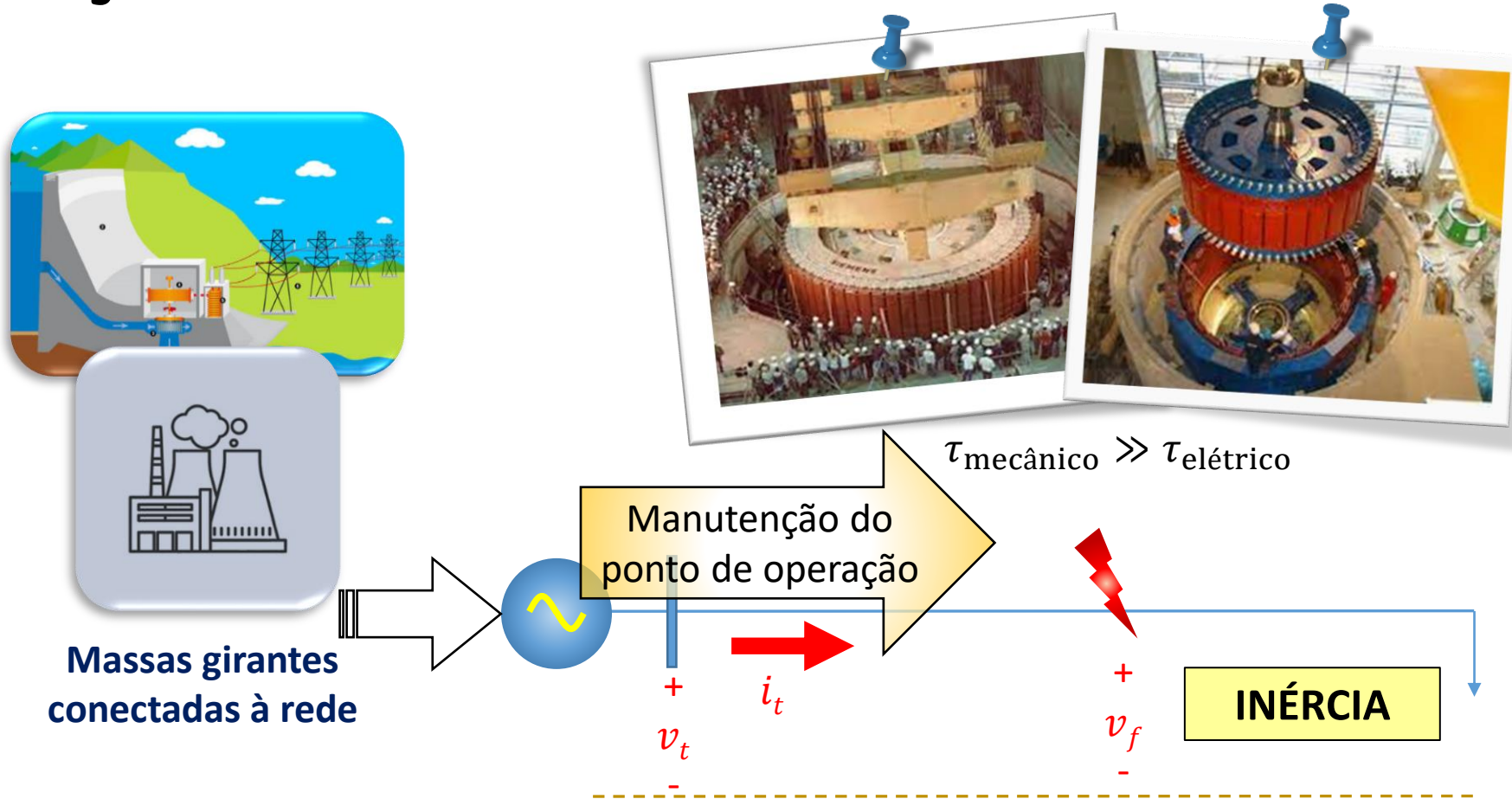
Gustavo Salge
Conprove Engenharia



Paulo Pereira Júnior
Conprove Engenharia



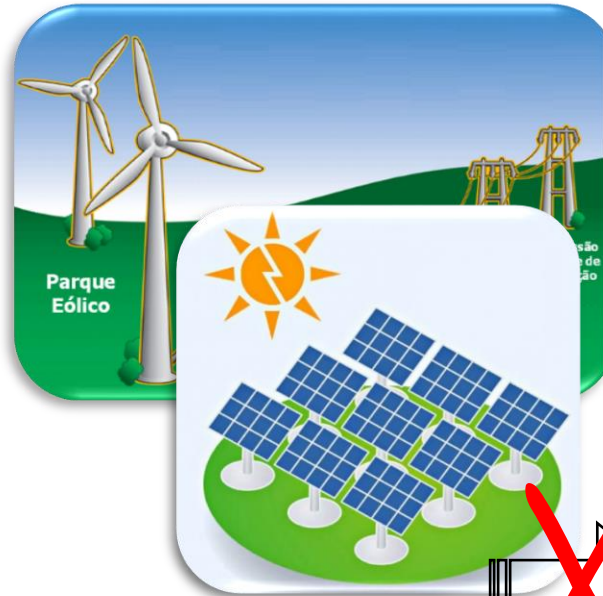
Introdução



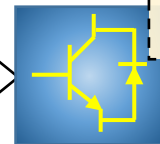


Introdução

Funções baseadas na teoria de ondas viajantes (TWs) funcionaríamos??



SEM massas girantes
conectadas à rede



Forma diferente
de operação

i_t



+
 v_f
-

**BAIXA
INÉRCIA**

$$\tau_{\text{controles}} \approx \tau_{\text{elétrico}}$$

**Comportamento
atípico durante faltas**

- Comportamento “sintético” baseado nos controles
- Alteração significativa das contribuições de curto-circuito



Objetivos

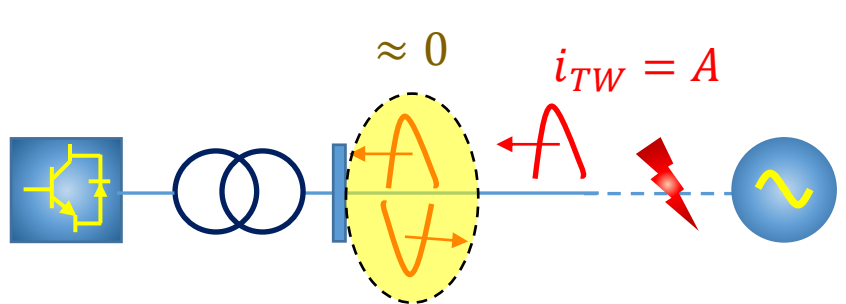
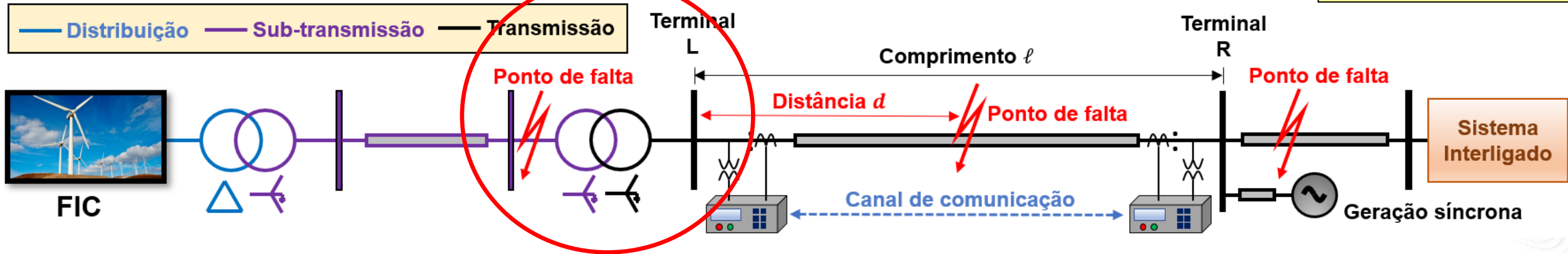
- Avaliar funcionalidades de proteção e localização de faltas do tipo TW na presença de Fontes Interfaceadas por Conversores (FICs)
 - Capacitâncias parasitas e formato de TWs
 - Filosofias de proteção TW87 e TW50
 - Localização de faltas *Double-Ended Traveling Wave-Based Fault Location (DETWFL)*
 - Simulações no programa PS Simul
 - Unidades convencionais, DFIG e Full-Converter (FC)



Princípios Teóricos

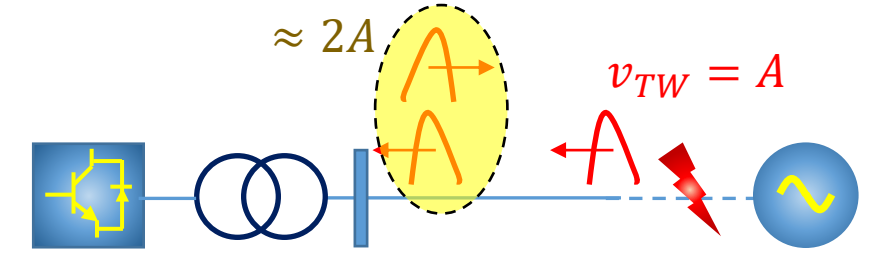
Terminação fortemente indutiva

$$\omega \rightarrow \infty \rightarrow X_L \rightarrow \infty$$



Coef. de reflexão
para ondas de
corrente

$$\Gamma_I = -\frac{Z_T - Z_S}{Z_T + Z_S} = -\frac{\infty - Z_S}{\infty + Z_S} \approx -1$$

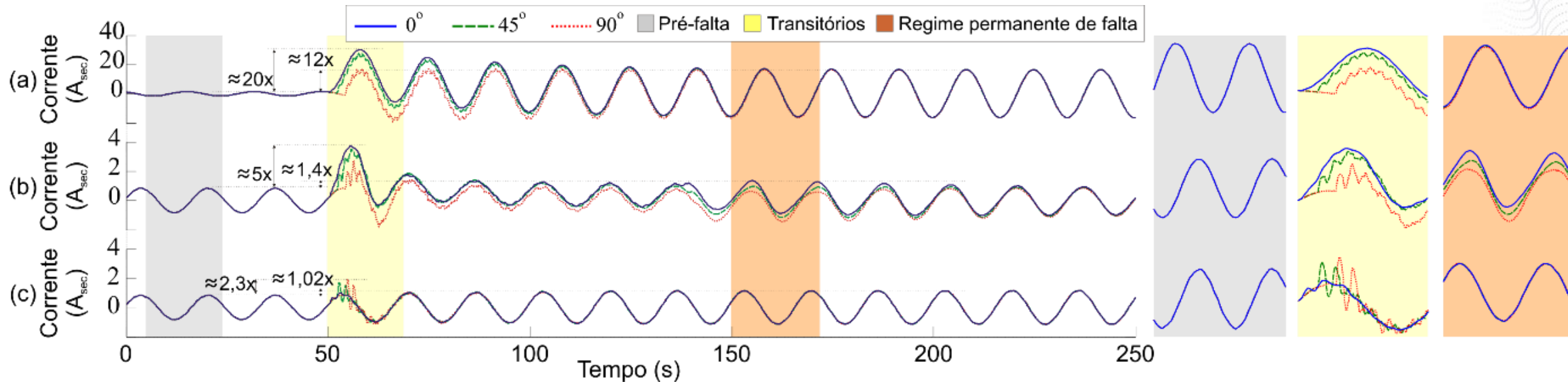


Coef. de
reflexão para
ondas de tensão

$$\Gamma_V = \frac{Z_T - Z_S}{Z_T + Z_S} = \frac{\infty - Z_S}{\infty + Z_S} \approx 1$$



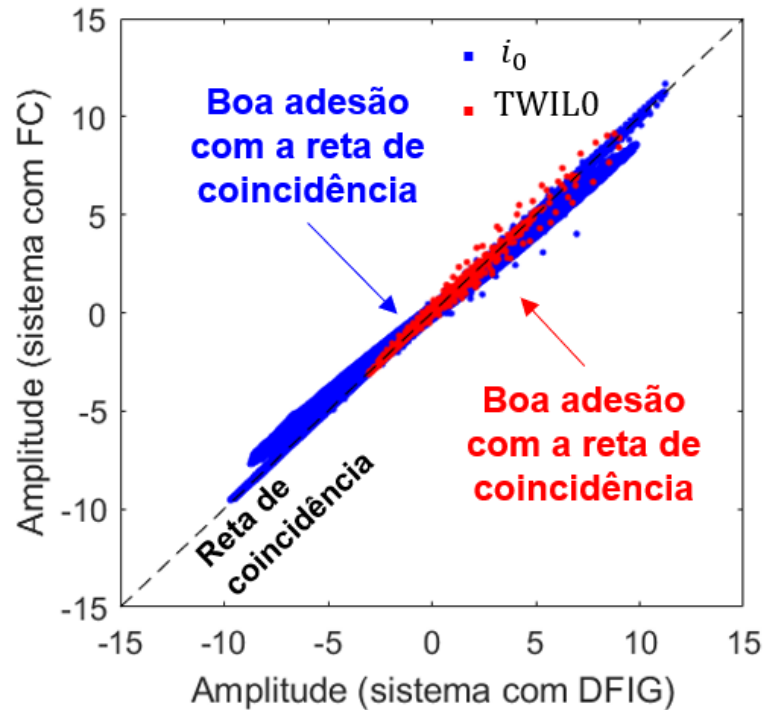
Tipo da FIC afeta as TWs?



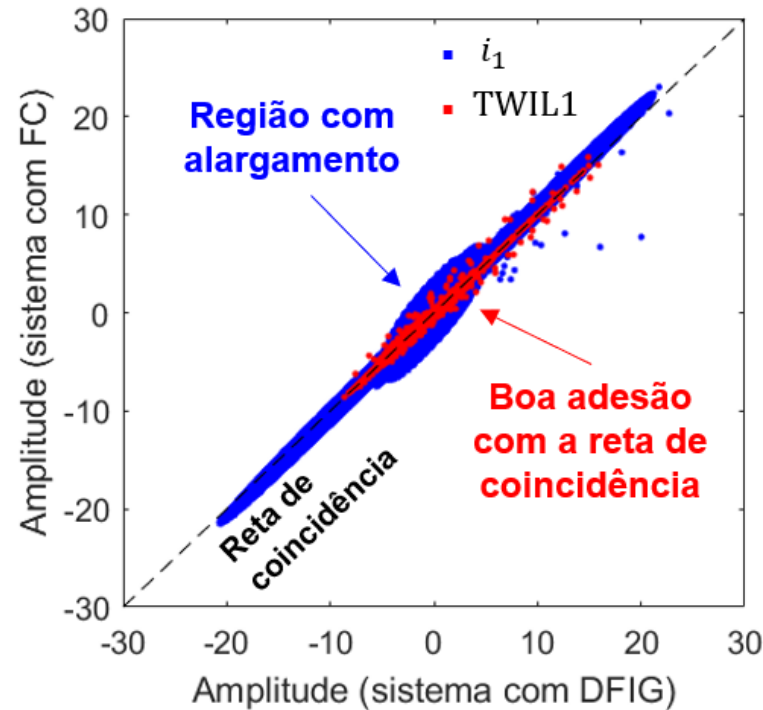
Qual o nível de coincidência das formas de onda para DFIG e FC? Tipo de geração afeta TWs?



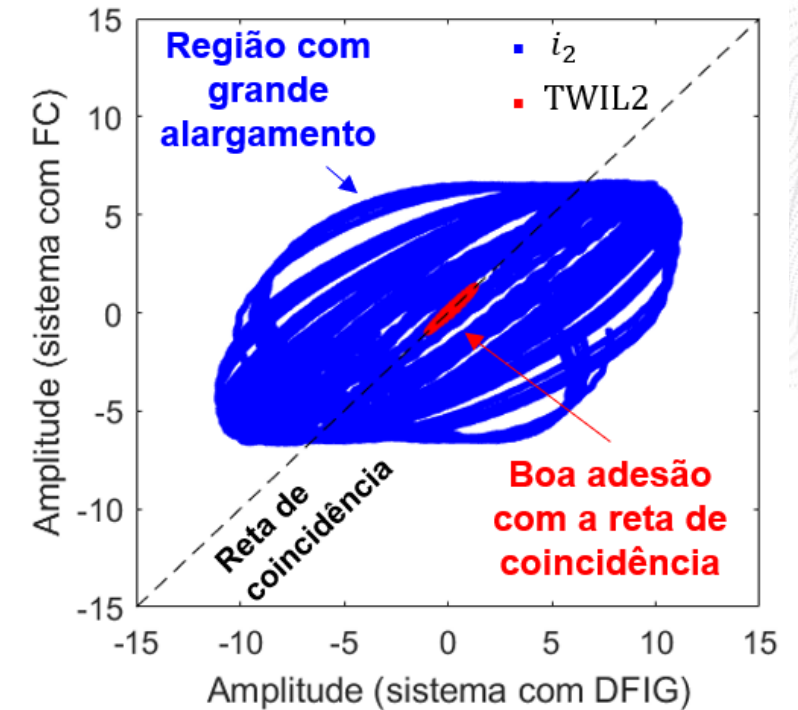
Sinais Modais na Presença de FICs



Modo 0



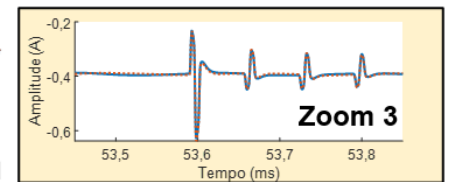
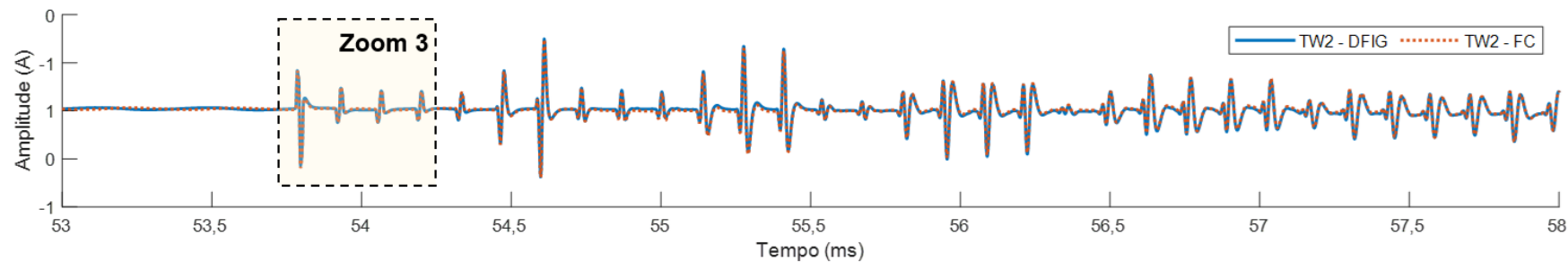
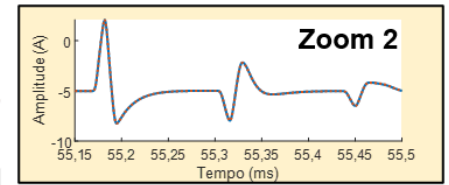
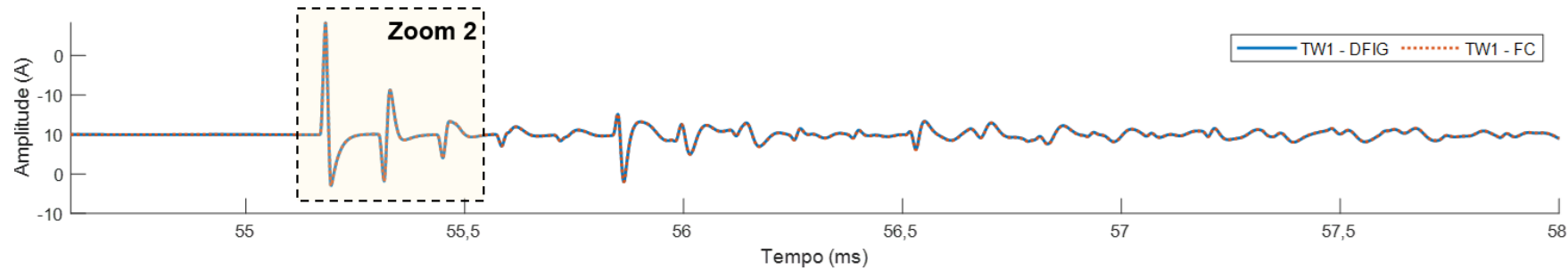
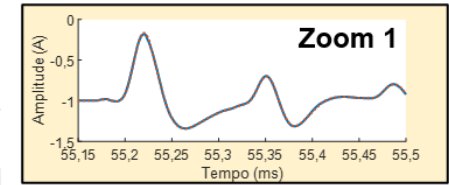
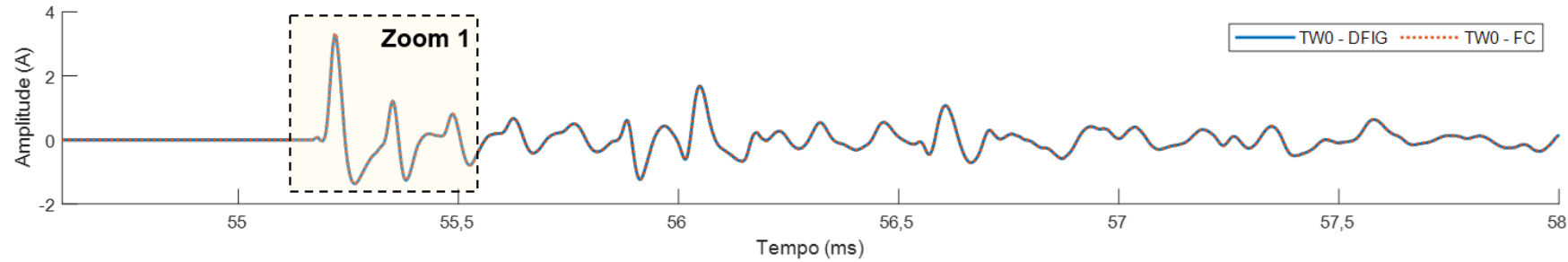
Modo 1



Modo 2

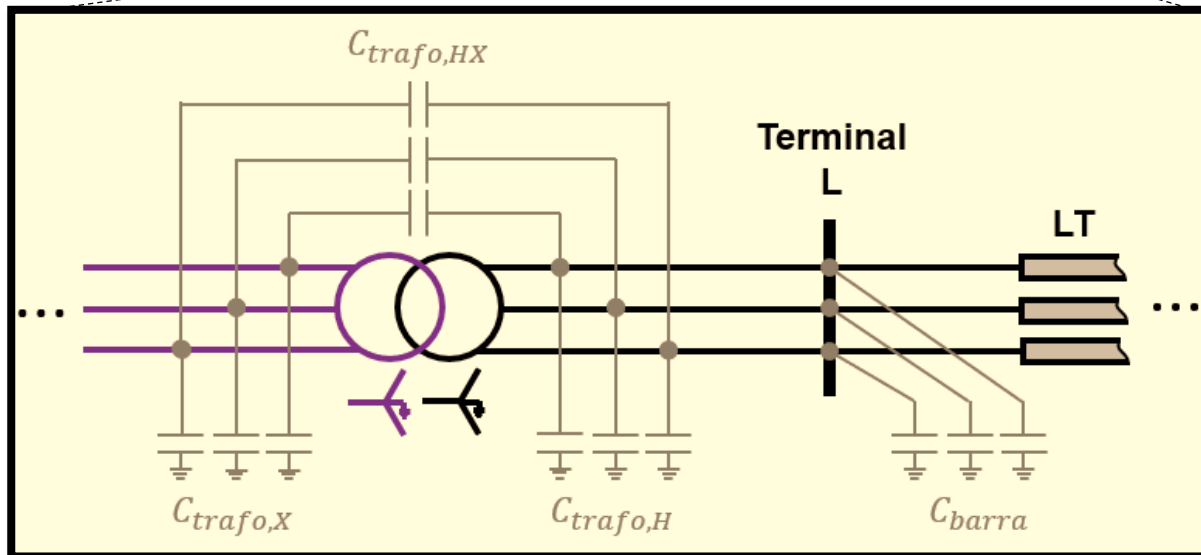
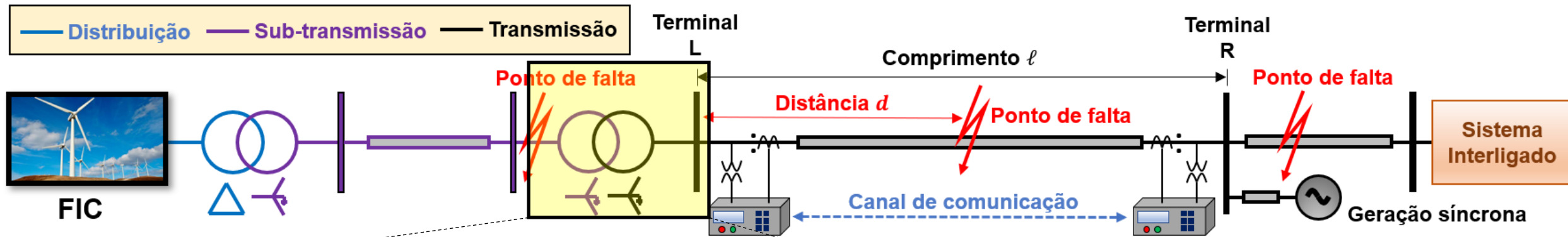


TWs Modais na Presença de FICs

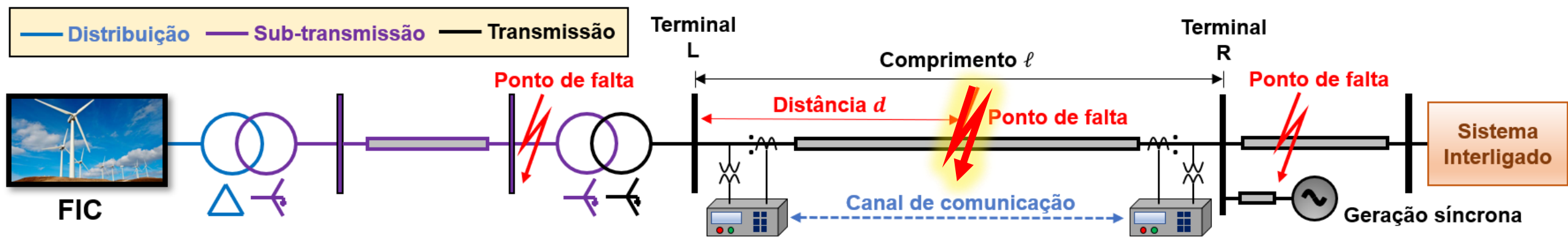




Capacitâncias Parasitas



Como fica o formato das TWs? Afetaria funcionalidades baseadas em TWs?

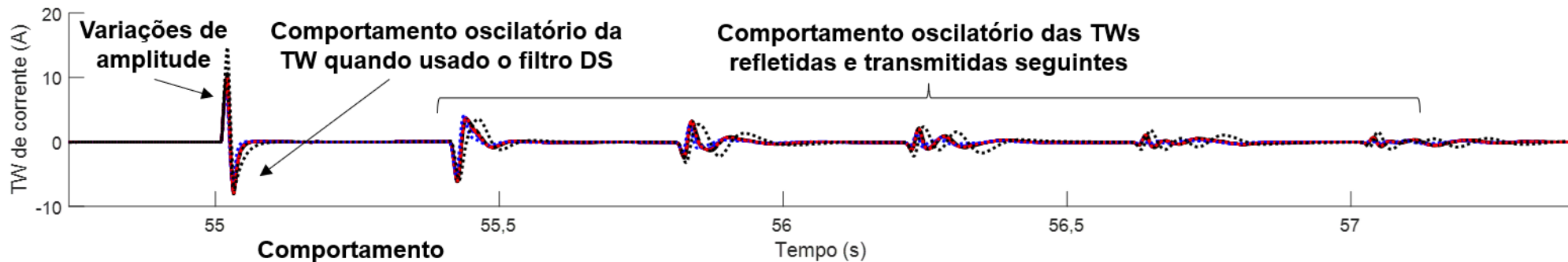


Influência das Capacitâncias Parasitas

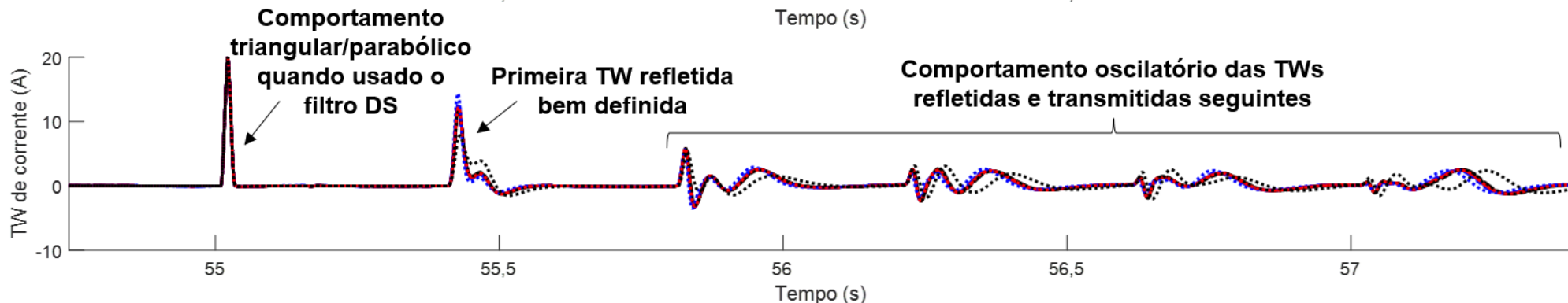
—	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 1 \text{ nF};$	- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 3 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
—	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
—	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 3 \text{ nF};$	- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 9 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 4 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	⋯⋯⋯	$C_{barra} = 5 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	⋯⋯⋯	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 10 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	⋯⋯⋯	$C_{barra} = 50 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$

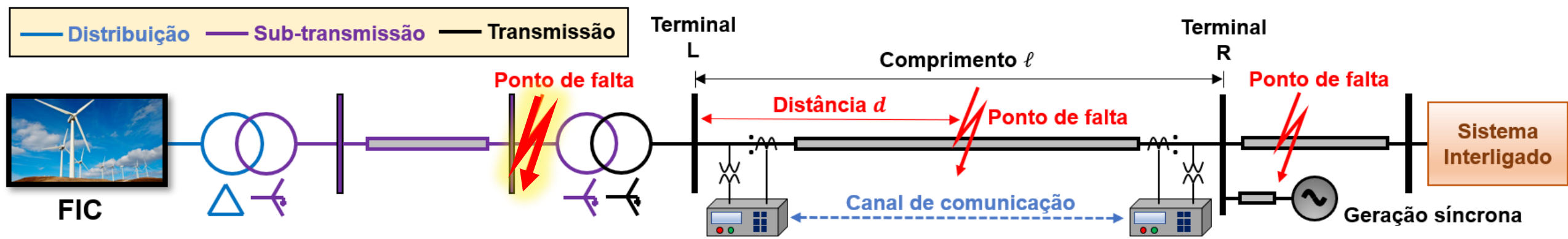
Falta Interna

TWL



TWR



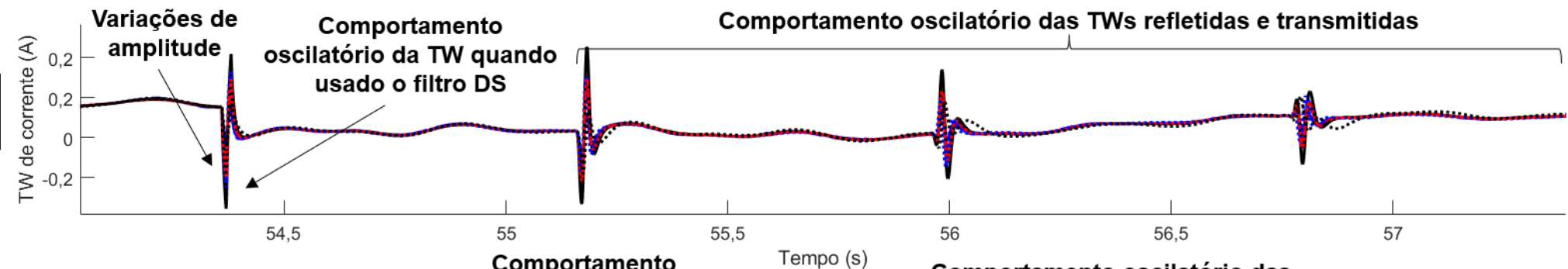


Influência das Capacitâncias Parasitas

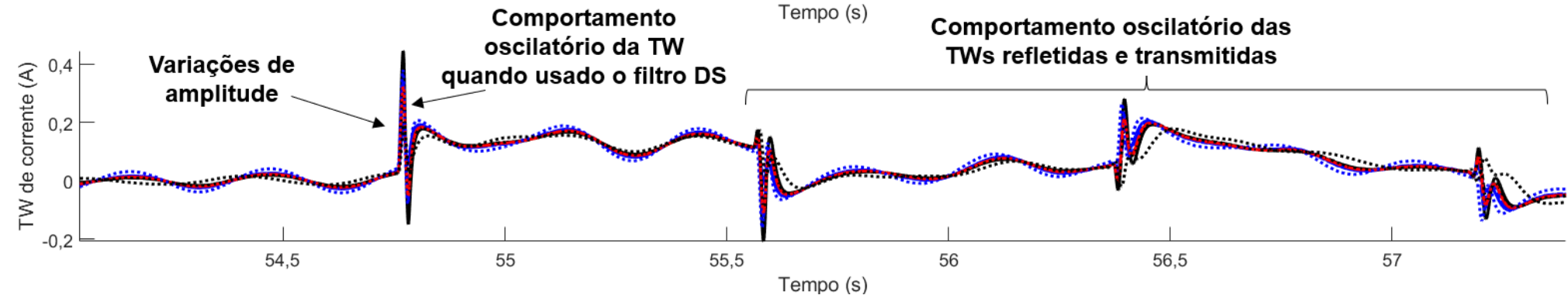
—	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 1 \text{ nF};$	- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 3 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
—	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
—	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 3 \text{ nF};$	- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 9 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 4 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	⋯⋯⋯	$C_{barra} = 5 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	⋯⋯⋯	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
- - -	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 10 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	⋯⋯⋯	$C_{barra} = 50 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$

Falta Externa

TWL

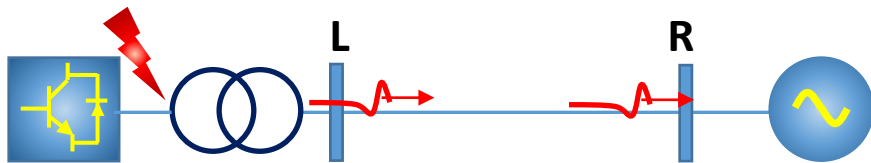


TWR

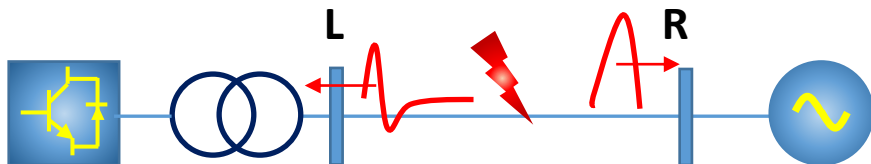




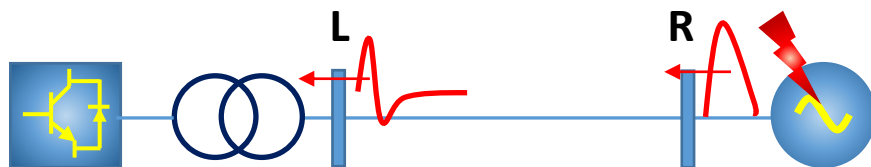
Proteção TW50



Falta no lado do trafo



Falta no lado da linha



Falta no lado do sistema

$$TW50P = 2 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \delta \cdot \frac{V_{nom,L}}{Z_{s,min,X}} \cdot k$$

$$V_{nom,L} = 500 \text{ kV}; RTC = 80; Z_{s,min,X} = 350 \Omega;$$

$$k = 2; \delta = 0,05 \text{ e } 0,1$$



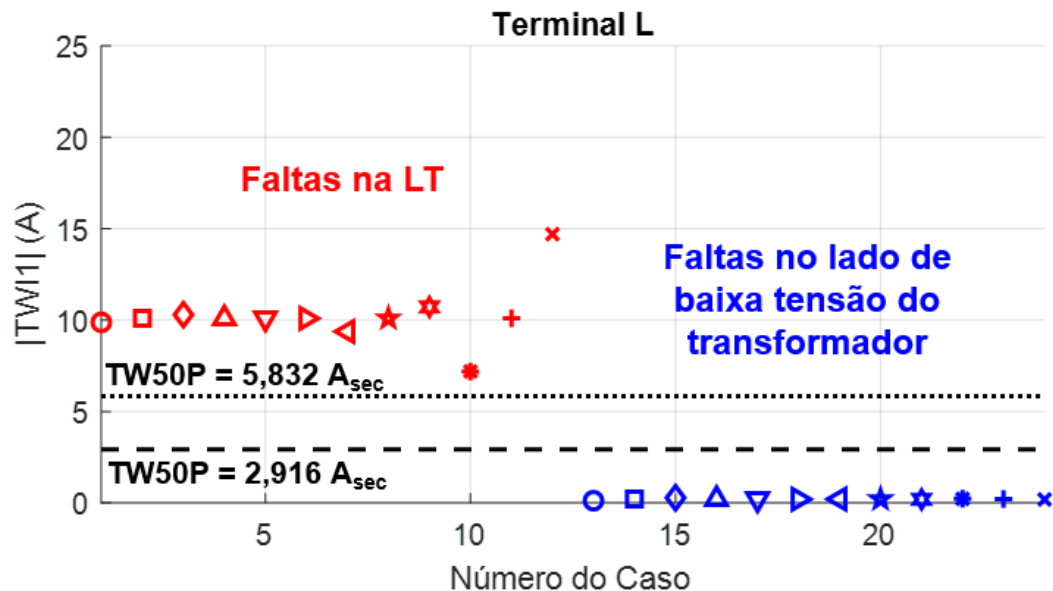
$$TW50P = 2,916 A_{sec}$$

$$TW50P = 5,832 A_{sec}$$

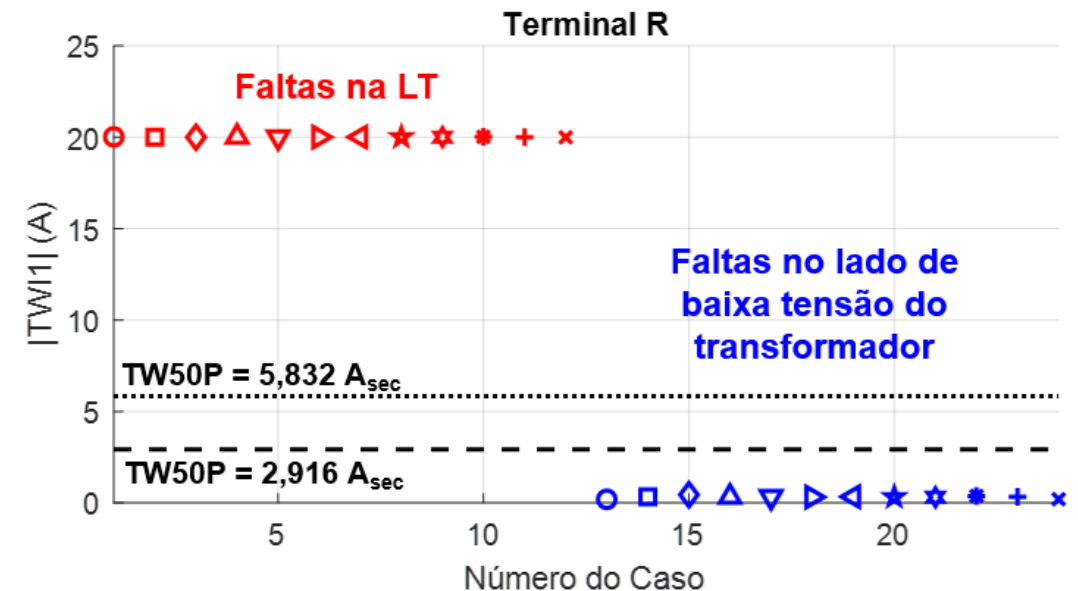


Proteção TW50

○	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 1 \text{ nF};$	◁	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 3 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
□	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	★	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
◇	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 3 \text{ nF};$	☆	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 9 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
△	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 4 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	✱	$C_{barra} = 5 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
▽	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	+	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$
▷	$C_{barra} = 15 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 10 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$	×	$C_{barra} = 50 \text{ nF}; C_{trafo,H} = 6 \text{ nF}; C_{trafo,X} = 8 \text{ nF}; C_{trafo,HX} = 2 \text{ nF};$



TWIL1



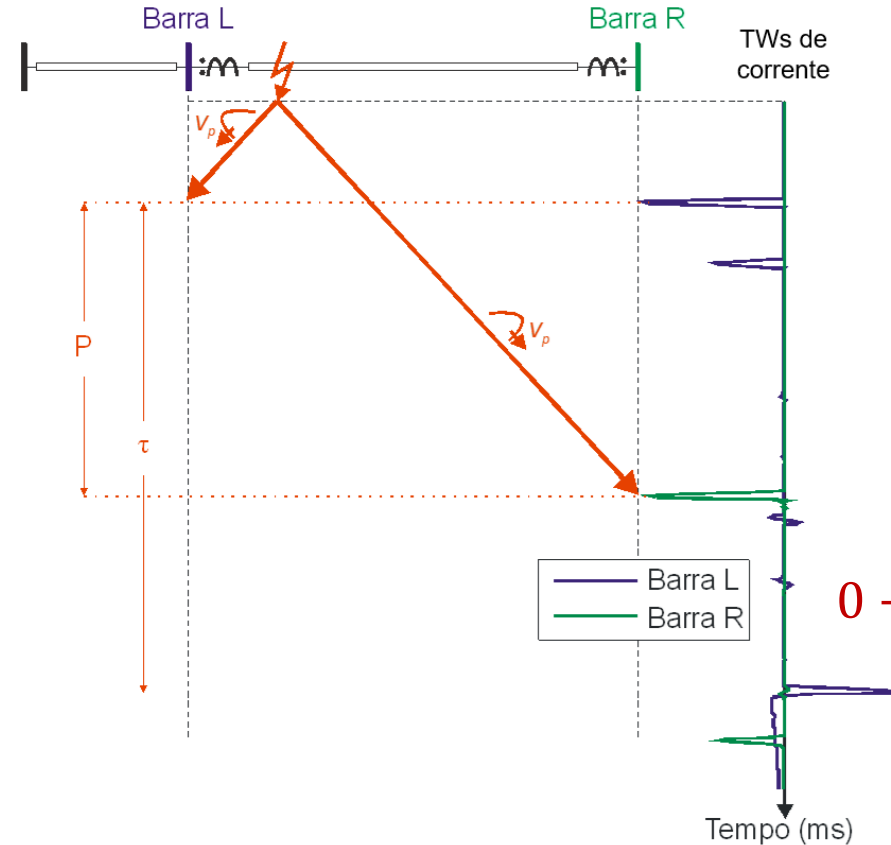
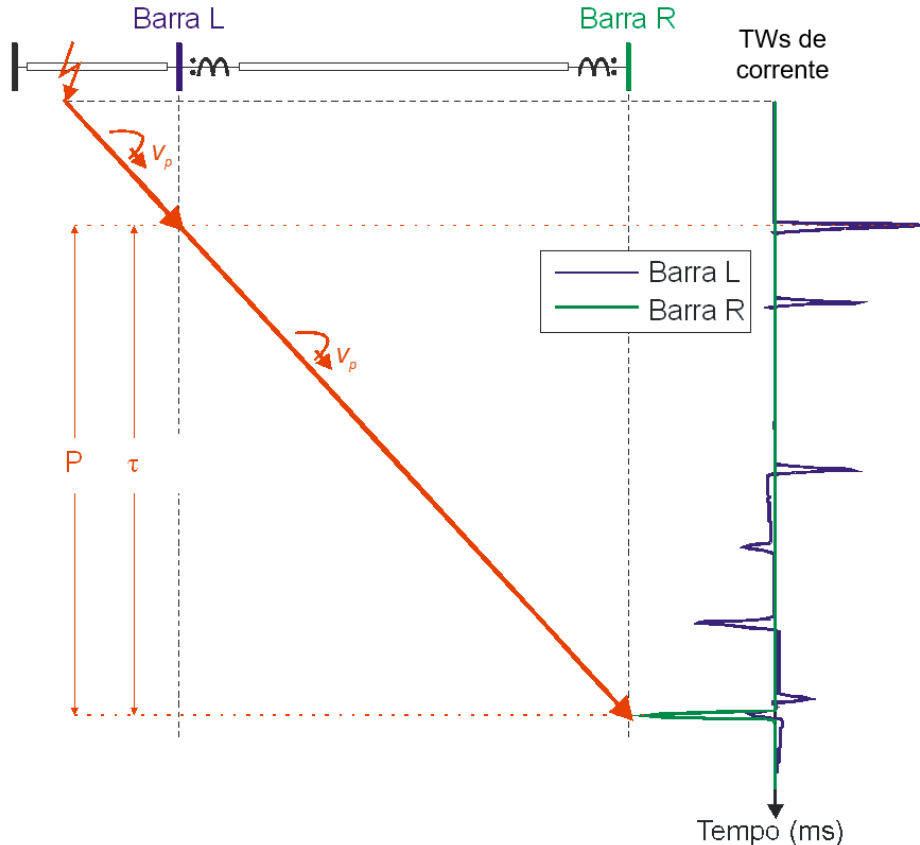
TWIR1



Proteção TW87

$$IDIF = |TWI1R(t) + TWI1L(t - P)|$$

$$IRST = \max(|TWI1R(t) - TWI1L(t - \tau)|, |TWI1R(t - \tau) - TWI1L(t)|)$$



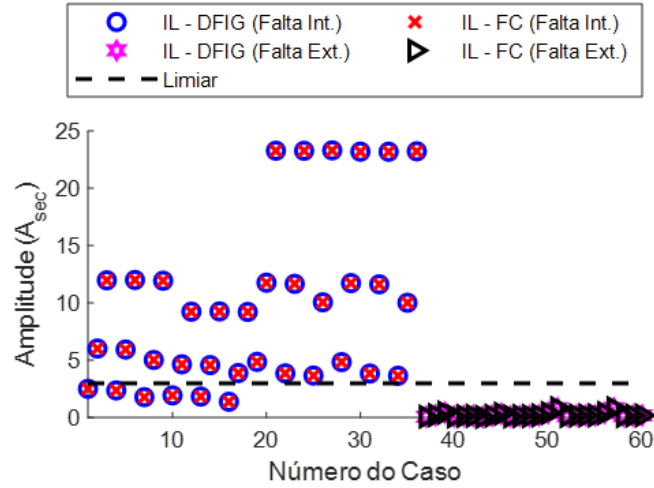
**Condições
de operação:**

$$IDIF > SLP \cdot IRST?$$

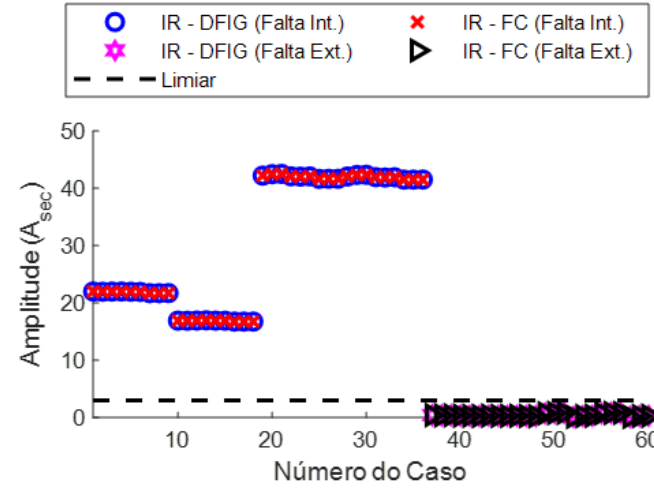
$$IDIF > Lim?$$

$$IL > Lim? IR > Lim?$$

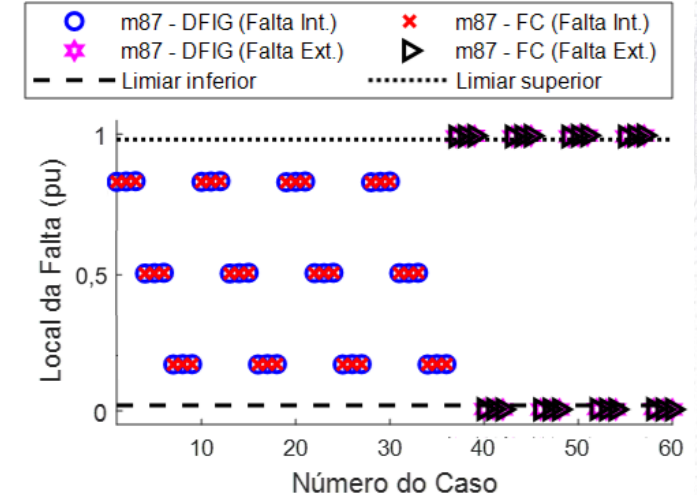
$$0 + \Delta d < m87 < 1 - \Delta d?$$



(a)

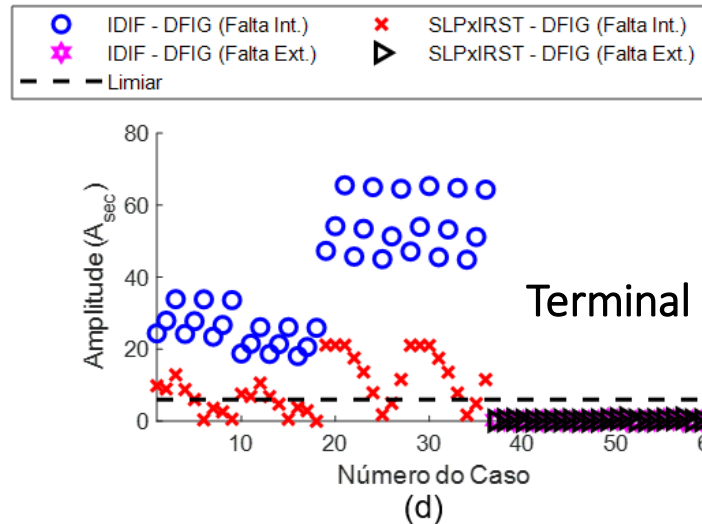


(b)

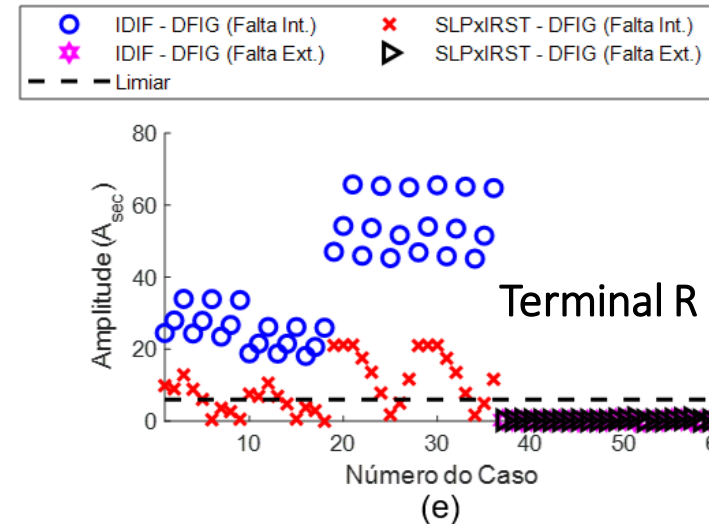


(c)

Proteção TW87



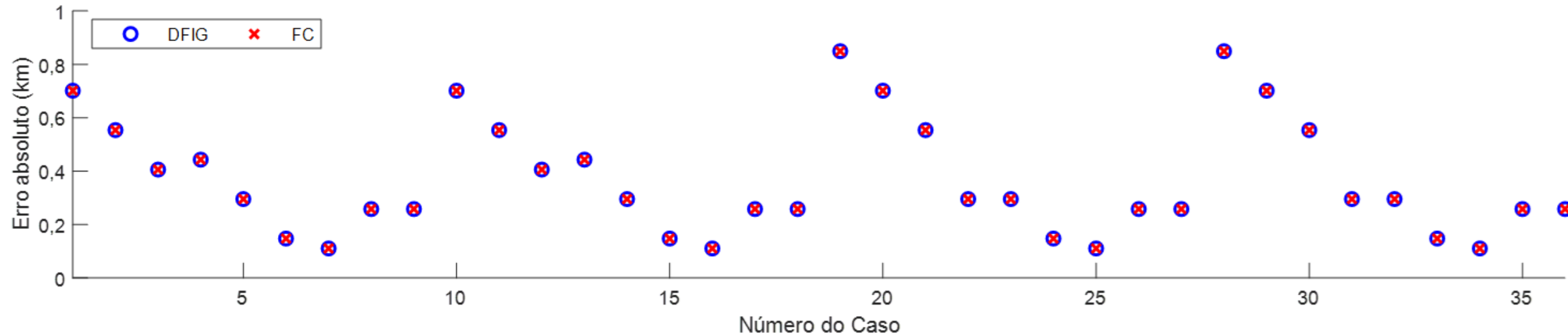
(d)



(e)



DETWFL



Erros compatíveis com os esperados para sistemas sem FICs conectadas!



Conclusões

- Estudos inovadores sobre filosofias de proteção TW e localização de faltas TW na presença de FICs
 - Funções TW podem ser promissoras → TW50, TW87 e DETWFL
 - Imunes às atipicidades das contribuições de curto-circuito das FICs
 - Capacitâncias parasitas de barra e transformador são determinantes → Distorções
 - Distorções dificultam análise de ondas refletidas/transmitidas
 - Localização de faltas não foi afetada nos testes realizados
- Proteção no lado da rede se mostra mais segura, mas requer canal para TDD
- **EM ESTUDOS FUTUROS, NOVAS FUNÇÕES E APRIMORAMENTO DA FILTRAGEM NO TERMINAL DA FIC**

XVI STPC

SEMINÁRIO TÉCNICO DE PROTEÇÃO E CONTROLE

Links FLprofessor



PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



Universidade
Federal da
Paraíba (UFPB)



Centro de Energias
Alternativas e
Renováveis (CEAR)

PATROCÍNIO OURO



PATROCÍNIO PRATA



PATROCÍNIO BRONZE

