

# Sistemas de Transmissão Multiterminal em Corrente Contínua de Alta Tensão baseados em VSC-MMC

# Desafios sistêmicos relativos ao aproveitamento de renováveis



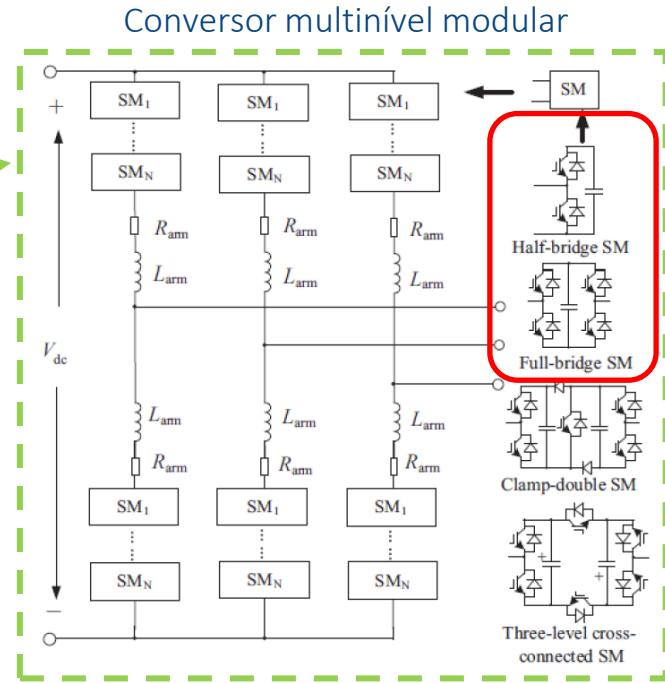
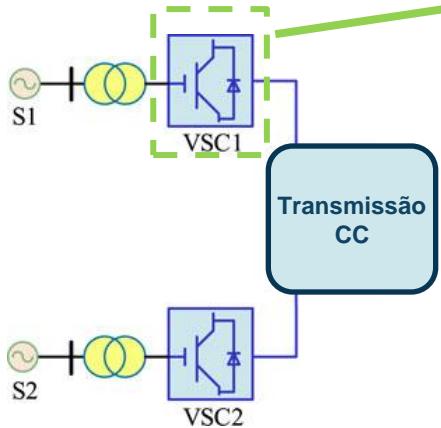
Renováveis	
2024	2028
42,7 GW	75,3 GW

Offshore Wind	
2035	2050
4 / 16 GW	16 / 96 GW

Multi-Infeed	
2024	2028
20,6 GW	25,6 GW

- Configuração *Multi-Infeed* constituída por elos HVDC com tecnologia LCC
- Alta penetração de fontes renováveis baseadas em inversores
- Desafios e Impactos para a operação do sistema:
  - Redução da inércia, redução do nível de curto-circuito, interações de controle e falhas de comutação.
  - Aumento da severidade das contingências
  - Necessidade de restrições de intercâmbio e cortes de geração
  - Avaliação de maior número de cenários operativos
  - Necessidade de maior detalhamento das simulações

# Sistemas MMC HVDC e MTDC



Algumas vantagens do HVDC do tipo MMC:

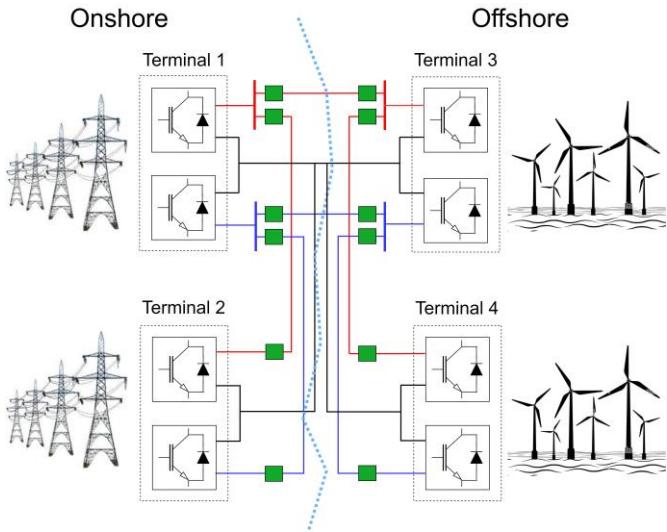
- Inversão do fluxo de potência mantendo a polaridade de tensão
- Controle independente de potência ativa e reativa
- Menor conteúdo harmônico e menores perdas
- Serviços anciliares e suporte à rede
- Possibilidade de expansão para uma rede MTDC

# Projeto UFRJ e TotalEnergies

Título: *Sistemas MTDC para Conexão de Usinas Eólicas Offshore*

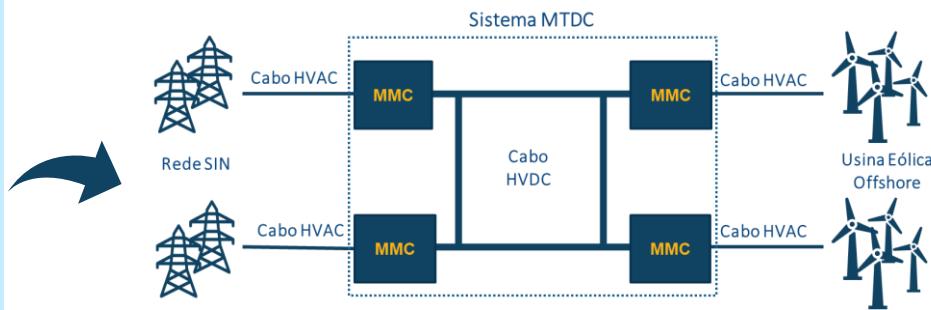
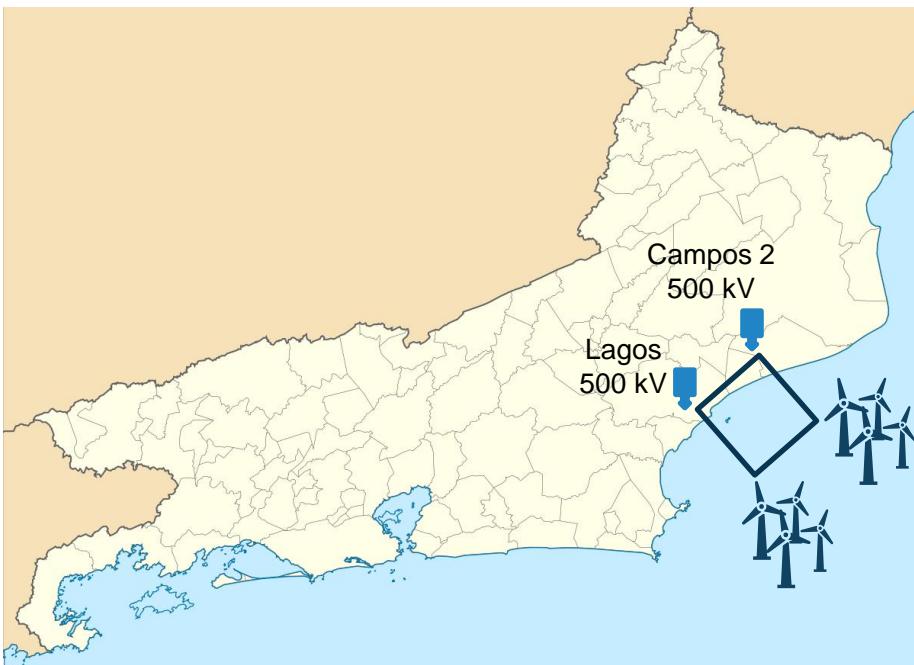
- Principais entregáveis:
  - ✓ Caso Offshore (Rio de Janeiro, 2034)
  - ✓ Protótipo de escala reduzida
  - ✓ Sistemas de Proteção e Disjuntores CC
  - ✓ Caso Onshore (Nordeste 2, 2034);

Sistema MTDC



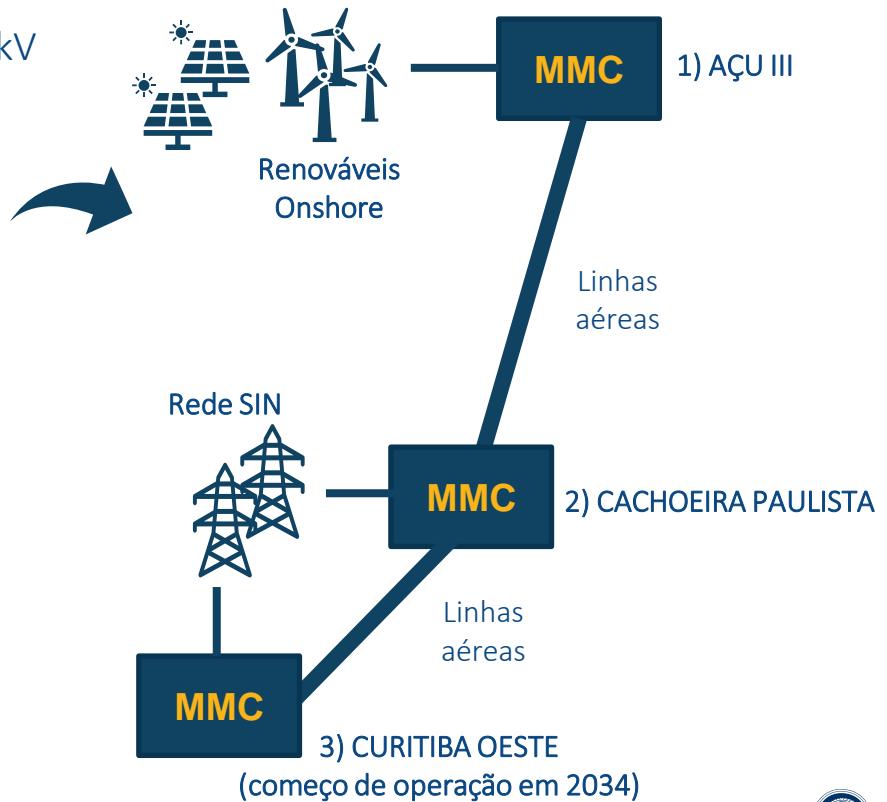
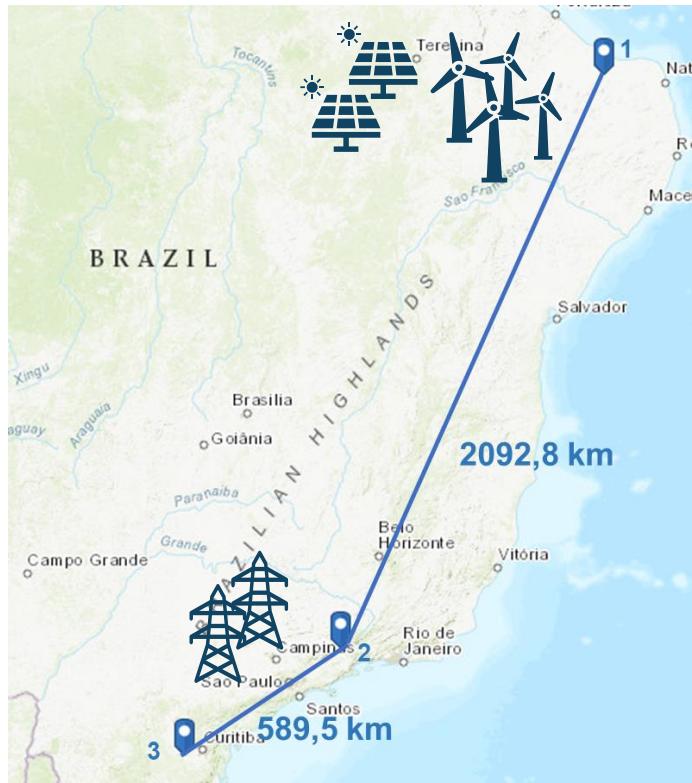
# MTDC: Caso Offshore (Rio de Janeiro, 2034)

Bipolo, topologia anel, 4 terminais, 2 GW,  $\pm 525$  kV



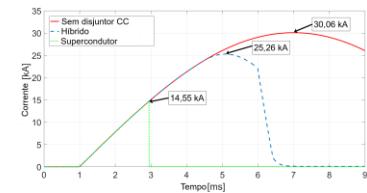
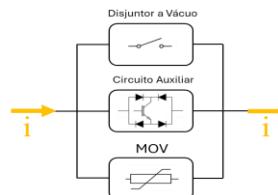
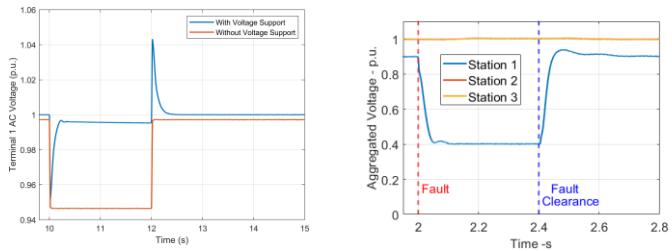
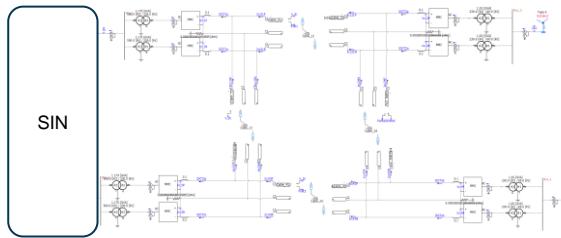
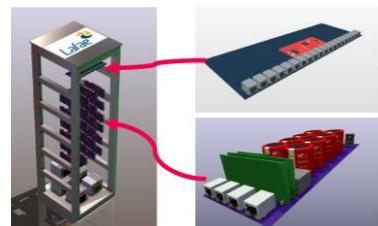
# MTDC: Caso Onshore (Nordeste 2, 2034)

Bipolo, topologia radial, 3 terminais, 5 GW,  $\pm 800$  kV



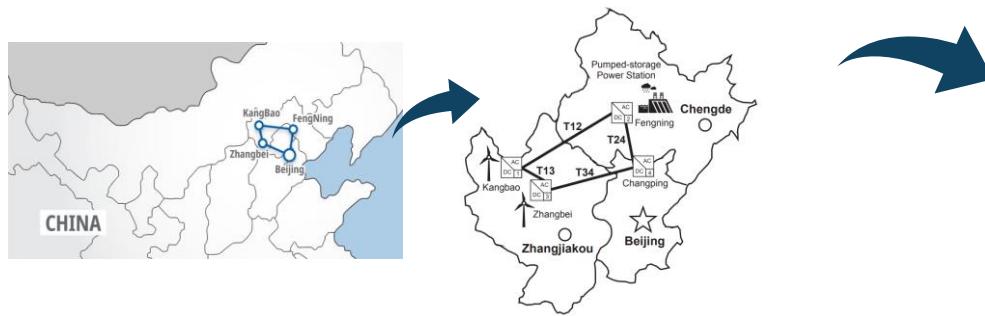
# Metodologia e fase atual

1. Modelos detalhados em PSCAD
2. Desenvolvimento de funcionalidades de suporte
3. Performance dinâmica (procedimentos de rede)
4. Concepção de Sistema de proteção e Disjuntores CC
5. Desenvolvimento de protótipo em escala reduzida

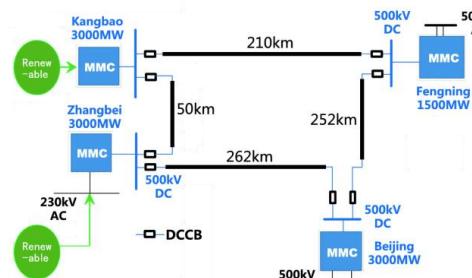


# Principais projetos no mundo

China: Rede Zhangbei



$\pm 500$  kV, 4,5 GW, 4 terminais, 648 km



China: Wudongde transmission system

$\pm 800$  kV, 8 GW, 3 terminais, 1,452 km (Híbrido)



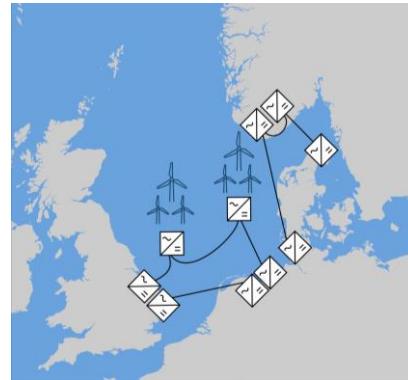
Kunming North Converter Station  
(LCC 8GW)

Liuzhou North Converter Station  
(VSC 3GW)

Longmen Converter Station  
(VSC 5GW)

## Principais projetos no mundo

- A União Europeia quer implementar 300 GW de energia eólica offshore até 2050 (Enabling interoperability of multi-vendor HVDC grids -- InterOPERA). Projeto piloto demonstrativo (2030).
- EUA irá construir até 2031 a Rede “**Grain Belt Express**”, investimento de U\$ 20 Bilhões: ±600 kV, 5 GW, 3 terminais, 1288 km.



# Benefícios e Desafios

---

- **Benefícios da tecnologia VSC**

- Capacidade de controle de potência ativa e reativa de forma independente
- Não está sujeito ao fenômeno de falha de comutação
- Possibilidade de operação em redes fracas
- Mais adequado para configurações multi-terminal
- Capacidade de auxiliar na recomposição da rede

- **Desafios atuais para implementação da tecnologia VSC no Brasil**

- Definição dos requisitos de desempenho de equipamentos com tecnologia VSC (HVDC, BESS, Statcom)
  - Aspectos regulatórios, Anexo técnico de Edital de Leilão, Procedimentos de Rede
- Limitações das ferramentas de simulação existentes
  - Ausência de modelos e/ou modelos limitados
  - Necessidade de integração entre avaliações de transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos