



Ações em Direção à Sustentabilidade Energética Considerando Novas Tecnologias em Transmissão: UATCA e UATCC

Palestrante: PAULO CESAR VAZ ESMERALDO



1. Transição Energética no Brasil

2. O Papel da Transmissão UAT na Transição Energética

3. UATCA em Estudo: Projeto 1000 kV

4. UATCC no Brasil

5. Considerações Finais

Transição Energética no Brasil

Como alcançar um avanço na sustentabilidade por meio da transição energética

- Buscar economia de baixo carbono para reduzir os 52% da matriz energética para uma descarbonização net-zero até 2050
- Janela de oportunidades de forma mais holística para aumentar a sustentabilidade, atualmente a discussão está focada em vários setores a serem explorados, incentivando a economia verde.
- A produção H2 verde (H2V) é um fator chave, funcionando como um motor de descarbonização, alavancando a conexão com o setor elétrico:
 - Transporte, mobilidade. Atualmente H2V tem baixa eficácia para produzir energia elétrica, mas a mistura Gás+H2V está em estudo e pode ser interessante.
 - Importante produto industrial utilizado em todos os processos industriais de refino, mineração, siderurgia e químicos
 - Combustíveis eletrônicos - O hidrogênio gerado a partir da eletrólise em uma reação química com o CO₂ capturado produz combustíveis de hidrocarbonetos, como gasolina sintética, diesel ou gás natural.
 - Aprimorando Óleo/Biomassa, Amônia/Fertilizantes.

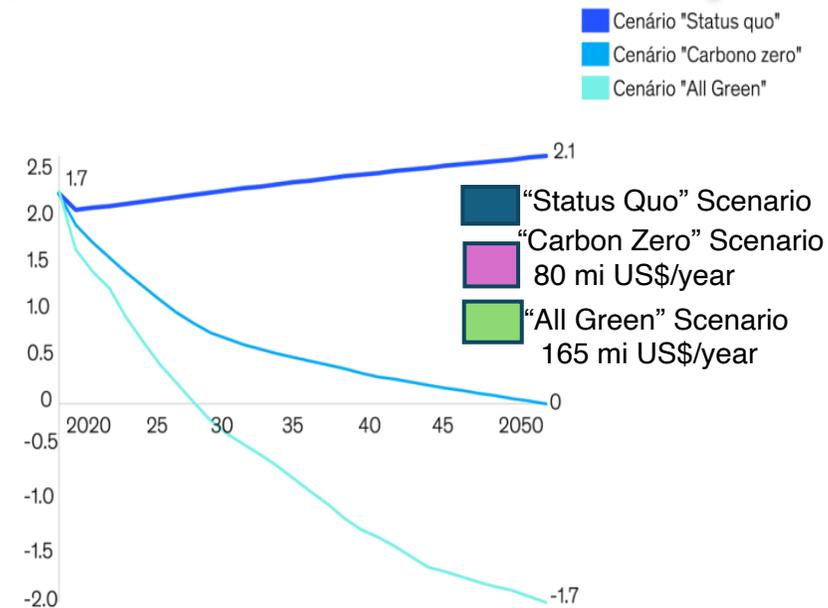
Transição Energética no Brasil

- Expansão da oferta de mineração de minerais energéticos críticos, lítio (mercado global –Brazil Lithium Valley), urânio, etc
- Crescente procura de matérias-primas favorecerá a criação de uma cadeia de abastecimento para a **fabricação de turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos e baterias de lítio**, entre outras tecnologias da transição energética. Pesados investimentos serão exigidos.
- Crescimento de Usinas Térmicas a Gás Natural: papel importante na matriz energética, pois libera menos CO₂ por unidade de energia gerada do que carvão e petróleo.
- Geração Não Convencional – Geração Offshore e Fotovoltaica Flutuante

O Brasil tem potencial para liderar o caminho em direção à economia verde buscando melhora na transição energética

Caminhos para a Descarbonização: projeções até 2050

Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa– GtCO₂e



**Grande concentração de emissões resultantes do desmatamento e da agricultura (40%)
Transporte (20%)**

Fonte: McKinsey & Company Decarbonization Scenario

Transição Energética no Brasil

Principais questões técnicas para integrar renováveis nos sistemas de transmissão

- Usinas hidrelétricas, eólicas e solares devem ser parceiras importantes

A hibridização desempenha um papel essencial na transição energética



Reservatório X fio-d'água
Redução da capacidade de armazenamento

Fontes de Geração
Back-up



Armazenamento de Energia: reservatório das hídricas, UHR e BESS

Intermitência na geração de renováveis (eólica e solar) – implica o aumento UHR e BESS – requer uma integração holística da Reserva Girante e Aumento da Inércia do Sistema



O Papel da Transmissão UAT na Transição Energética

Potencialidades de Energia Limpa no Brasil: Usinas Hidrelétricas, Pequenas Centrais Hidrelétricas, Energia Eólica, Biomassa, Solar e Oceânica.

Renováveis	GW		
Hidro	260		
Eólica (1)	145	245	440
Solar heliotermica (2)	415	205	100
Solar PV (3)	300	35	
Biomassa (4)	51	9	
Oceânica (5)	87	27	

Potencial Total de Energias Renováveis
 Varia de 1.000 GW a 1.600 GW

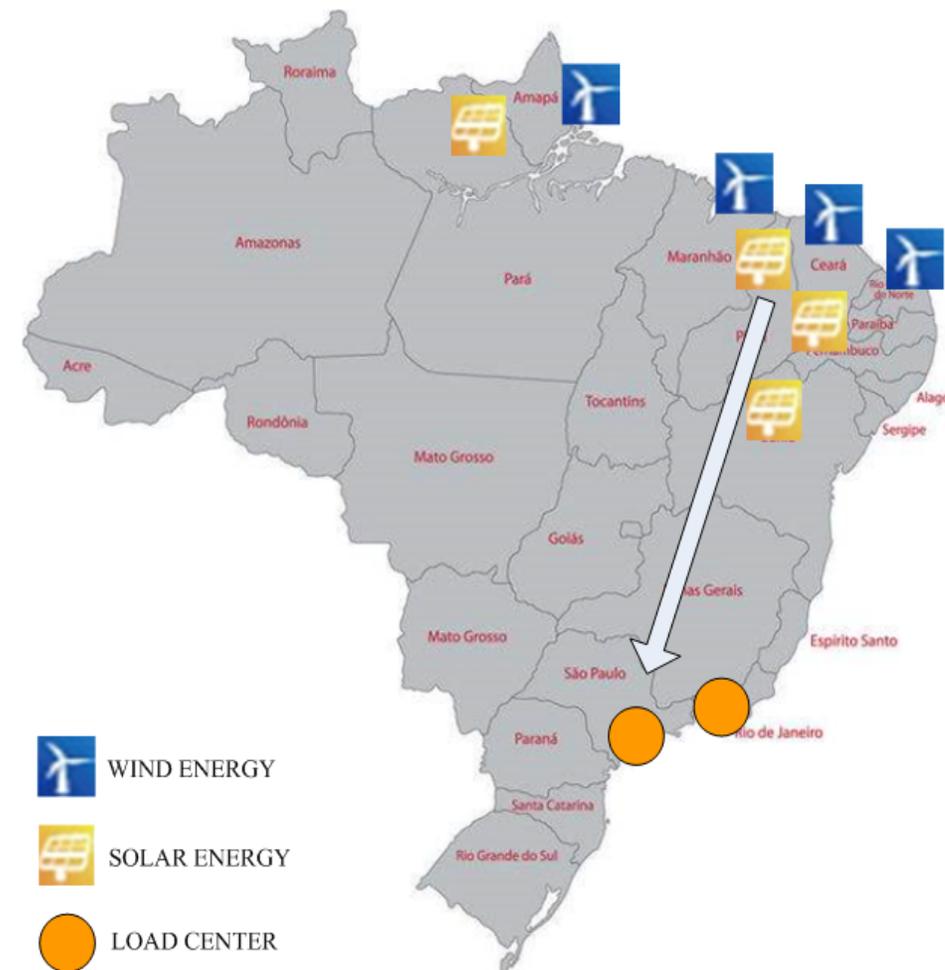
- (1) Torre de 50, 100 e 150 metros
- (2) Cilindro parabólico sem armazenamento, Cilindro parabólico com armazenamento e torre com armazenamento
- (3) Planta centralizada em áreas antropizadas e residenciais (fator de capacidade médio)
- (4) Plantas centralizadas e distribuídas (fator de capacidade de 85%)
- (5) Ondas e marés

A transmissão UAT é uma consequência importante da transição energética para transmitir energia proveniente das fontes renováveis.

O Papel da Transmissão UAT na Transição Energética

Principais fatores para a transmissão em UAT

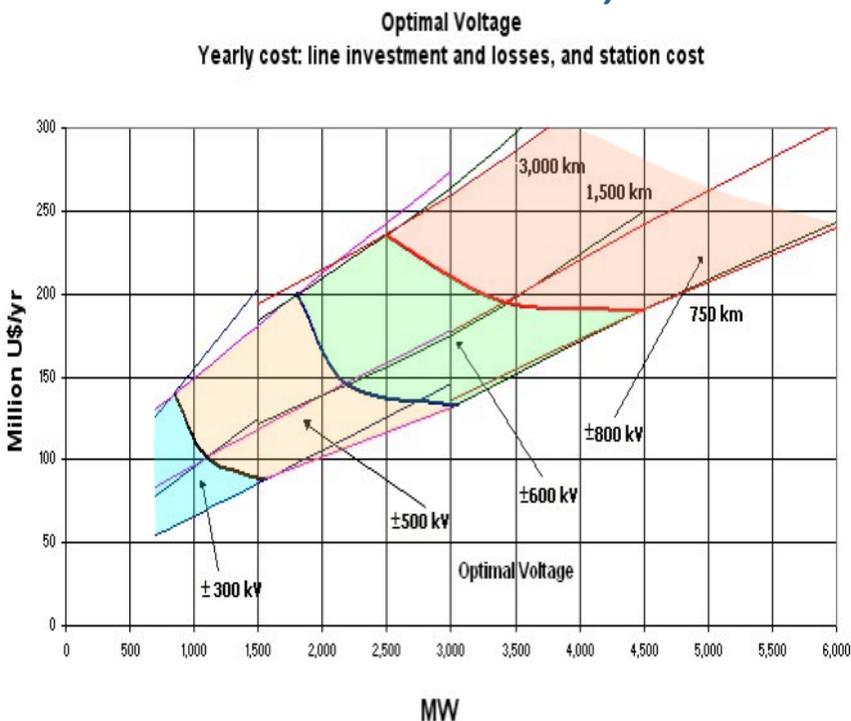
- Acima de ± 600 kV CC e acima de 800 kV CA
- Aplicável em países com dimensões continentais
- Alta capacidade de transmissão e menores perdas
- UAT: alternativa econômica para superar longas distâncias e para transferir grandes quantidades de potência aos centros de carga
- Integração de Quantidade Expressiva de Parques Eólicos e Solares em subestações *clusters*
- Alternativa para interligação de sistemas regionais
- Dependendo da quantidade de energia a ser transmitida, o UATCA e o UATCC podem ser a alternativa mais econômica quando comparado com a transmissão CA tradicional em níveis de tensão inferiores.
- UATCA: Principais fabricantes devem recuperar o conhecimento de estudos e projetos anteriores



O Papel da Transmissão UAT na Transição Energética

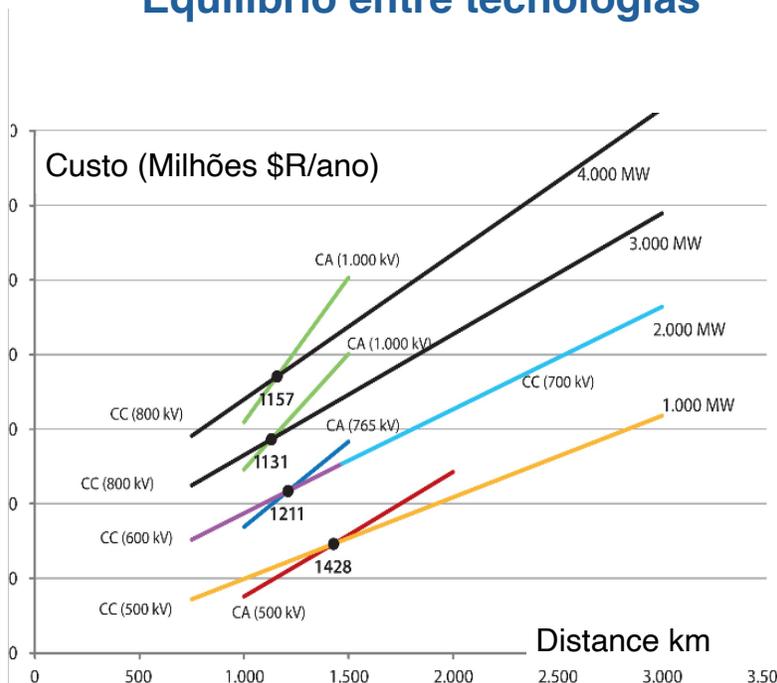
Aplicação da tecnologia UATCC e UATCA

Transmissão UATCC >1500 km
and > 3500 MW)

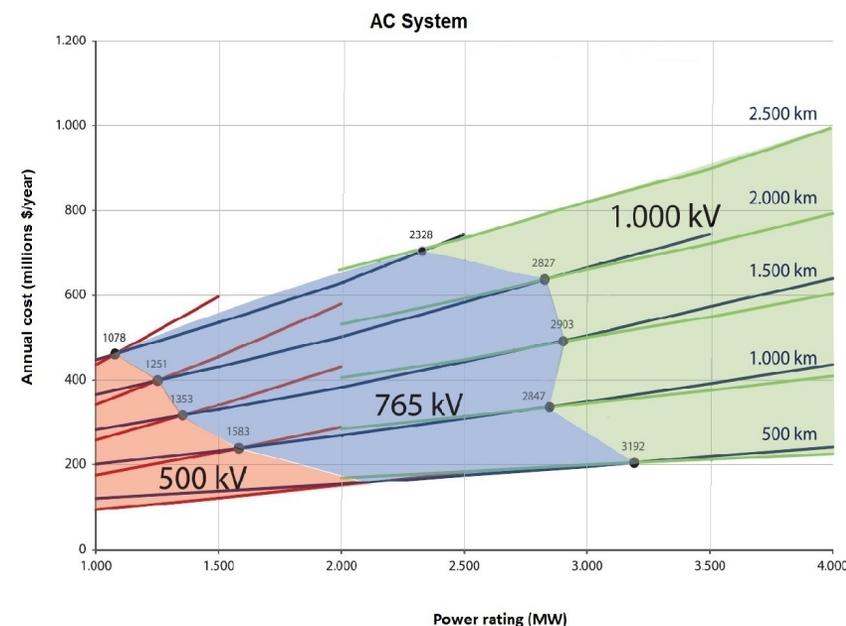


Tensão ótima em função da potência da subestação conversora e comprimento da linha

Break-even-distance
Equilíbrio entre tecnologias



Transmissão UATCA
≤ 1200 km and ≤ 3000 MW)



Resultados de estudos realizados no âmbito dos Comitês do CIGRE e dos Programas de P&D incentivados pela ANEEL

O Papel da Transmissão UAT na Transição Energética

- Avaliação do break-even-distance para conectar grandes quantidades de renováveis

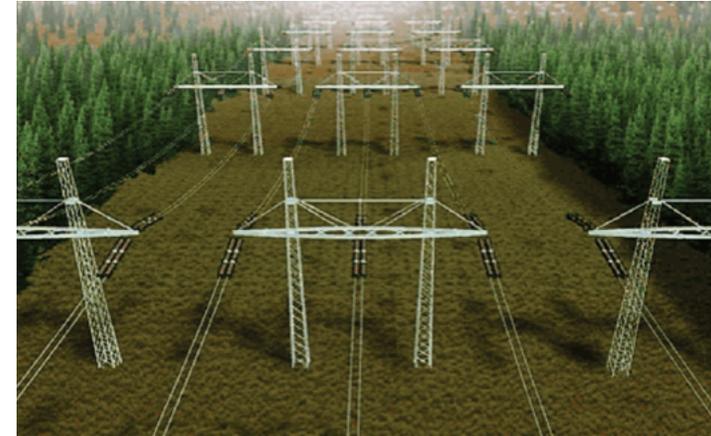


UATCA versus UATCC
Critério do Mínimo Custo Global

- Segurança e confiabilidade - Análise do desempenho do sistema de energia sob contingências severas

Importante questão: perda repentina de uma linha UAT pode resultar em sérios problemas de estabilidade no SIN

- Alternativas em consideração para troncos de transmissão aliviando os sistemas existentes para atender cargas regionais: UATCC Híbrido LCC-VSC, VSC-MMC, Multiterminal HVDC e 1000kV UATCA



Vantagens

Menor custo da terra e menor impacto ambiental

Sistema de Transmissão de 4000 MW

3 Linhas de 765 kV com capacitores série

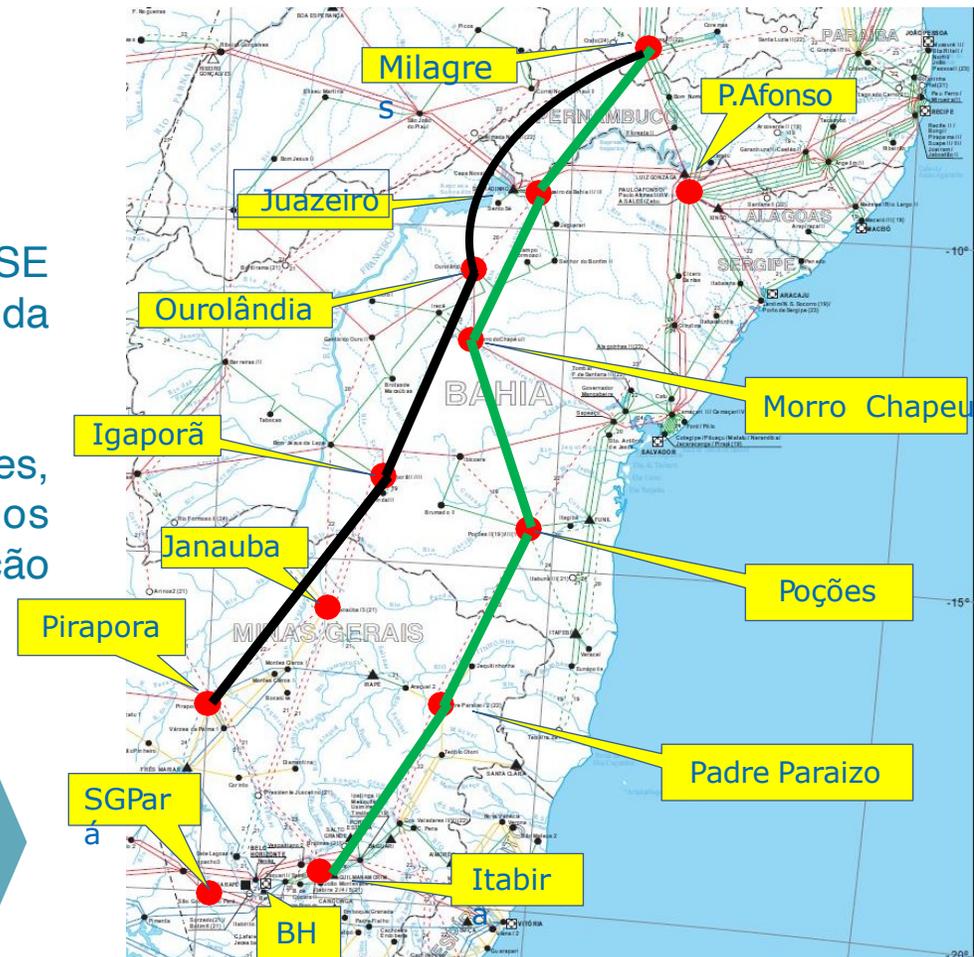
RoW 270 m

1 bipolo de ±800kV UATCC

RoW 115 m

UATCA em estudo: Projeto 1000 kV

- Enorme potencial de renováveis no N e NE, cerca de 48 GW (2030)
- Alternativa promissora – Sistema UATCA em 1000 kV
- Projeto P&D de 1000 kV, testes no CEPEL: transferência de 4000 MW, 5 SE intermediárias para conectar usinas solares ou cargas ao longo da extensão da linha, cerca de 1400 a 1700 km
- A metodologia envolveu a análise de LT reais, otimização de configurações, estudos em regime permanente, estabilidade do sistema, transitórios eletromagnéticos, controle de tensão, perdas, condutor econômico, coordenação de isolamento, torres auto-portantes e estaiadas



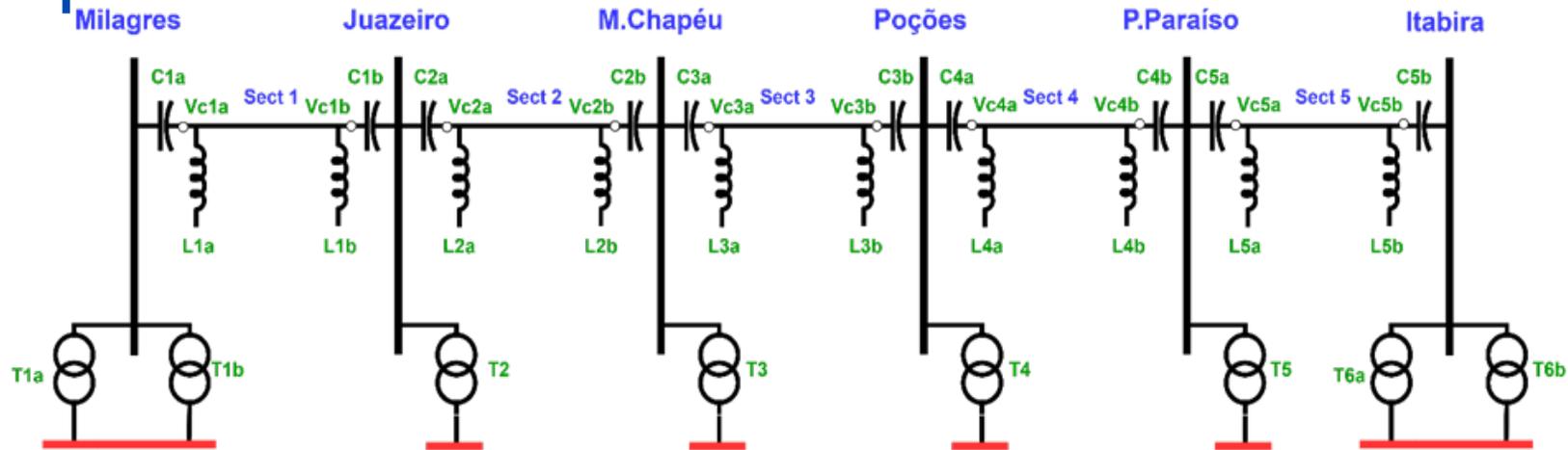
Análise do desempenho elétrico

Diagnóstico das interligações regionais

Estudo de alternativas de rotas

Seleção da rota final

UATCA em estudo: Projeto 1000 kV



Otimização do Sistema: 80% de compensação shunt, 50% de compensação série.



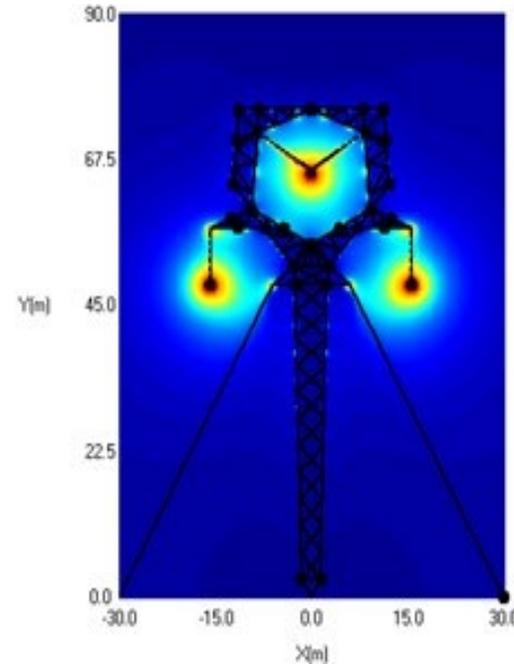
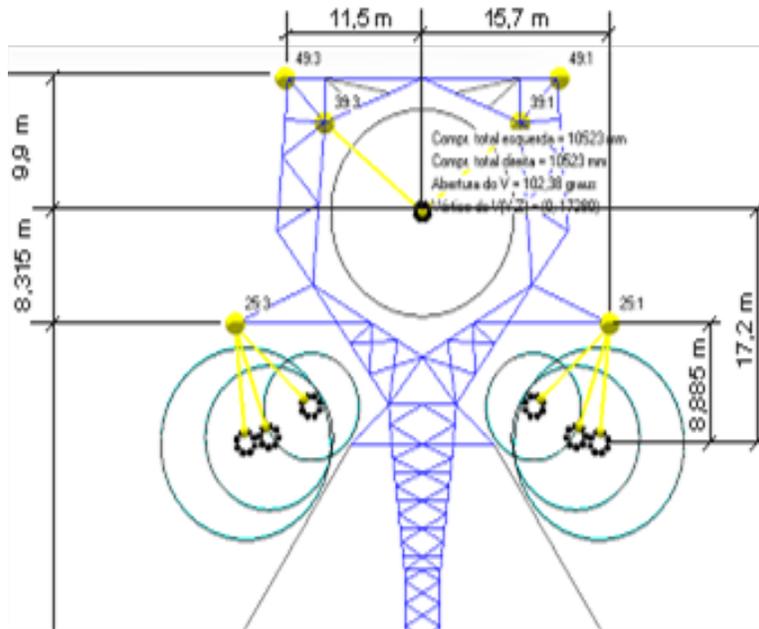
Jingmen-Wuhan 1000kV UATCA - China

1000 kV Torre auto-portante

1000 kV Torre Estaiada

UATCA em estudo: Projeto 1000 kV

Otimização de Configurações da LT



Parâmetro	Opção A	Opção B
Condutor	8 x CAA Bluejay	8 x CAA Bluejay
Geometria das fases externas (m)	Circular regular (0,6)	Circular regular (0,4)
Geometria da fase central (espaçamento (m))	Elipse assimétrica (0,4 a 0,53)	Circular regular (0,4)
Custo de instalação da linha (pu)	0,79	0,78
Custo das perdas elétricas (pu)	0,21	0,21
Custo total da linha (pu)	1	0,99
SIL (MW)	4437	4145
Razão de E_{maxc} junto à torre (fase central / fases externas)	100% / 94%	98% / 90%

Silhueta da torre cabeça-de-gato estaiada otimizada (Opção A)

Campo elétrico máximo junto à torre (Opção A)

Projetos de UATCC no Brasil

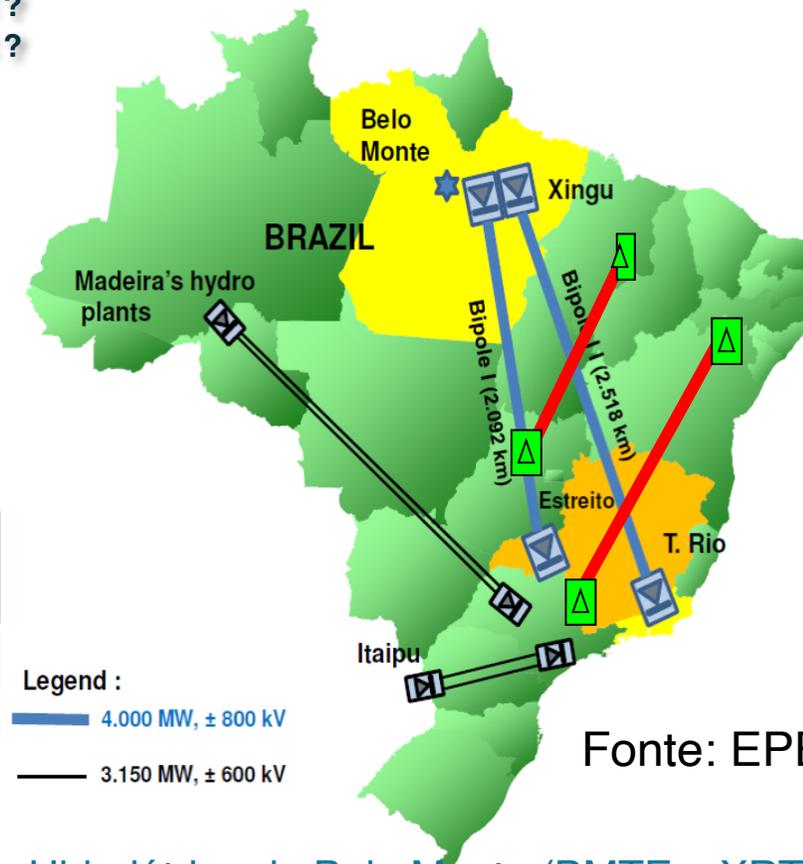
Projetos em Operação

Sistema de Transmissão de Belo Monte

Principais Características

1. BMTE ± 800 kV UATCC
2. XRTE ± 800 kV UATCC

Nordeste II: LCC
– LCC ?
LCC – VSC ?
VSC – VSC ?



Fonte: EPE

UATCC Link (ano de entrada em operação)	Estações Conversoras		MW	kV	km	Inv kV
BMTE (Dez 2017)	Xingu	Estreito	4000	± 800	2076	500
XRTE (Ago 2019)	Xingu	Terminal Rio	4000	± 800	2539	500

± 800 kV UATCC Link (ano de entrada em operação)	Converter Stations		MW	kV	km	Inv kV
GATE (2028/29)	G.Aranh,a	Silvania	5000	± 800	1460	500
4o. Bipolo em estudo (2030) (?)	Nordeste	Sudeste	>4000	± 800	2000	500

Principais Forças Motrizes:

- Integração do Excedente de Energia da Região N/NE, incluindo principalmente a Usina Hidrelétrica de Belo Monte (BMTE e XRTE)
- Inserido no SIN para possibilitar a Operação Reversa durante a seca na Região Norte
- Integração de renováveis localizadas na região Nordeste (GATE e 4º bipolo ± 800 kV UATCC ou HVDC-VSC)

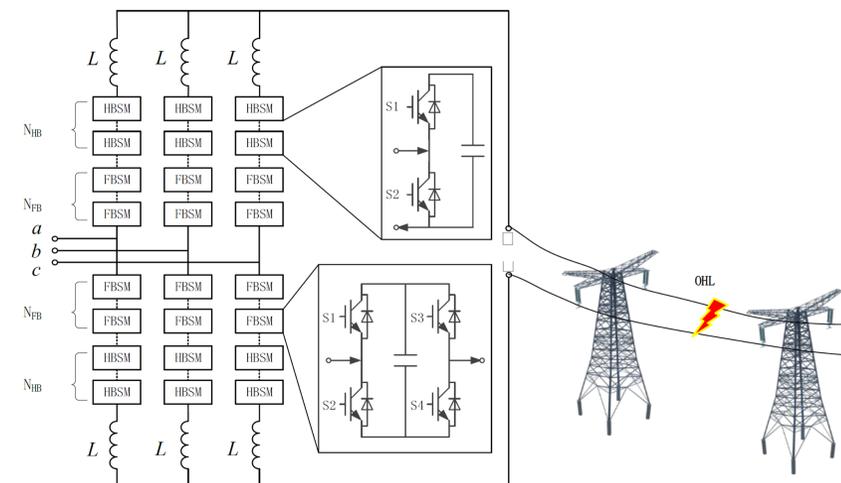
Projetos de UATCC no Brasil

Transmissão HVDC LCC – grande experiência mundial e brasileira. Fabricantes se concentram na tecnologia VSC e demonstram não ter mais interesse em LCC

Transmissão HVDC VSC – sem falha de comutação, principal desafio é a extinção das correntes de curto circuito CC em linhas aéreas: abertura dos disjuntores do lado CA, disjuntor CC, com inversão da tensão via controle, que depende do tipo da conversora (Full bridge ou Half-bridge)

Fator importante no projeto elétrico das LTs: descargas atmosféricas, poluição e o crescimento de vegetação
Tecnologia VSC pode ser mais econômica devido às simplificações no controle de potência reativa, filtros, desempenho dinâmico e requisitos de terreno

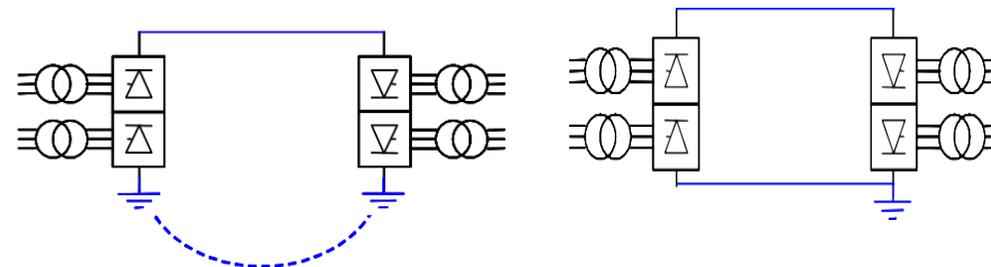
Condições atuais – limites de potência de aproximadamente 3GW e tensão de ± 600 kV. 100% Full Bridge ou 100% Half-bridge



Projetos de UATCC no Brasil

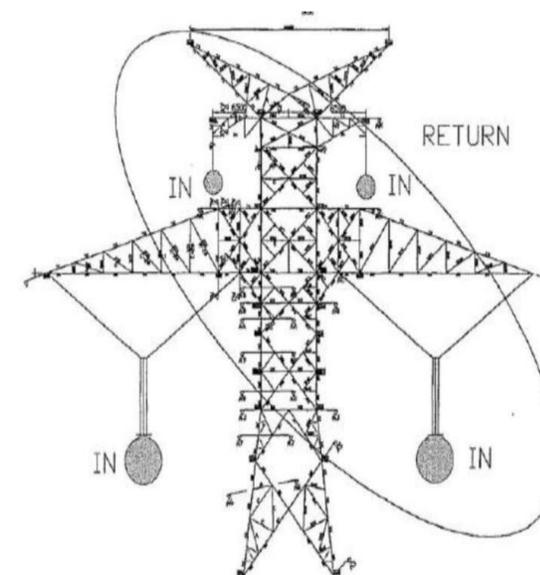
Uso do Retorno Metálico Dedicado (DMR)

- **Motivação:** Eletrodos com dificuldade de localização para obtenção R_{eletrodo} estabelecido no edital, com dificuldade de instalação por motivo ambiental e alta densidade populacional – uso do DMR (Retorno Metálico Dedicado) é uma alternativa. Índia já faz uso e nos EUA e Europa o eletrodo de terra é inviável.
- Falhas permanentes no polo ou saída de uma ponte da conversora são situações de baixa ocorrência, o que favorece o uso do DMR (condutor de menor diâmetro).
- Estabelecimento de critérios para o uso do DMR – qual a real diferença de custos com a solução tradicional - *breakeven distance*
- Outra solução para evitar o eletrodo: Conversão de linhas CA em CC com DMR (Projeto UltraNet)



Retorno pela Terra

Retorno Metálico



Considerações Finais

1. Transmissão Eficiente na Longa Distância

UAT promove menor impacto ambiental com perda mínima de energia

2. Integração de Energia Renovável e Geração Descentralizada

UAT permite aproveitar várias fontes renováveis em áreas dispersas em subestações cluster para transmitir aos

3. Congestionamento de rede reduzido

UAT pode aliviar o congestionamento fornecendo capacidade adicional e aumentando a flexibilidade da rede.

Transmissão UAT

Facilitador essencial da transição energética, modernizando a rede elétrica para um futuro sustentável.

4. Resiliência e confiabilidade da rede

A UAT aumenta a resiliência e a confiabilidade geral da rede elétrica

5. Redução de Emissão de Carbono

UAT acelera a redução de CO₂, permitindo a transmissão de energia limpa de fontes remotas para regiões que dependem de combustíveis fósseis para

6. Inovação tecnológica

UAT impulsiona a inovação em eletrônica de potência, ciência de materiais e gerenciamento de rede, ampliando efeitos em outros setores e tecnologias, promovendo avanços além do setor elétrico

OBRIGADO

Paulo Cesar Vaz Esmeraldo
paulo.esmeraldo@pcveeng.com.br
Tel: (21)999216335

