



Empresa de Pesquisa Energética

Desenvolvimento de modelos para análise de desempenho do SIN após a inserção de novo elo CCAT

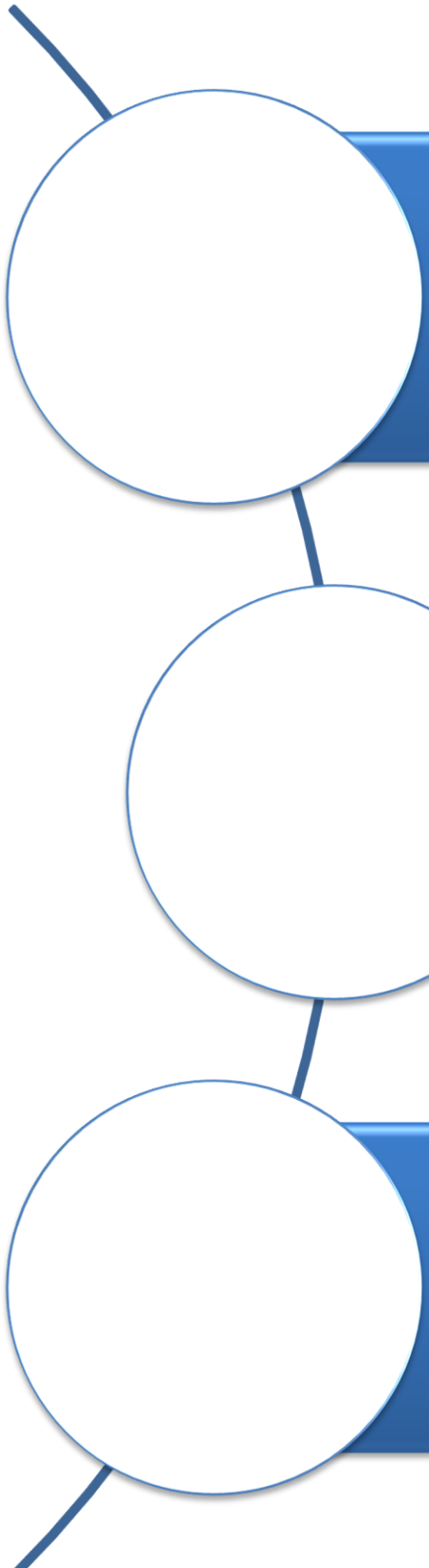
Workshop de apresentação de resultados
31 de agosto de 2023



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Sumário



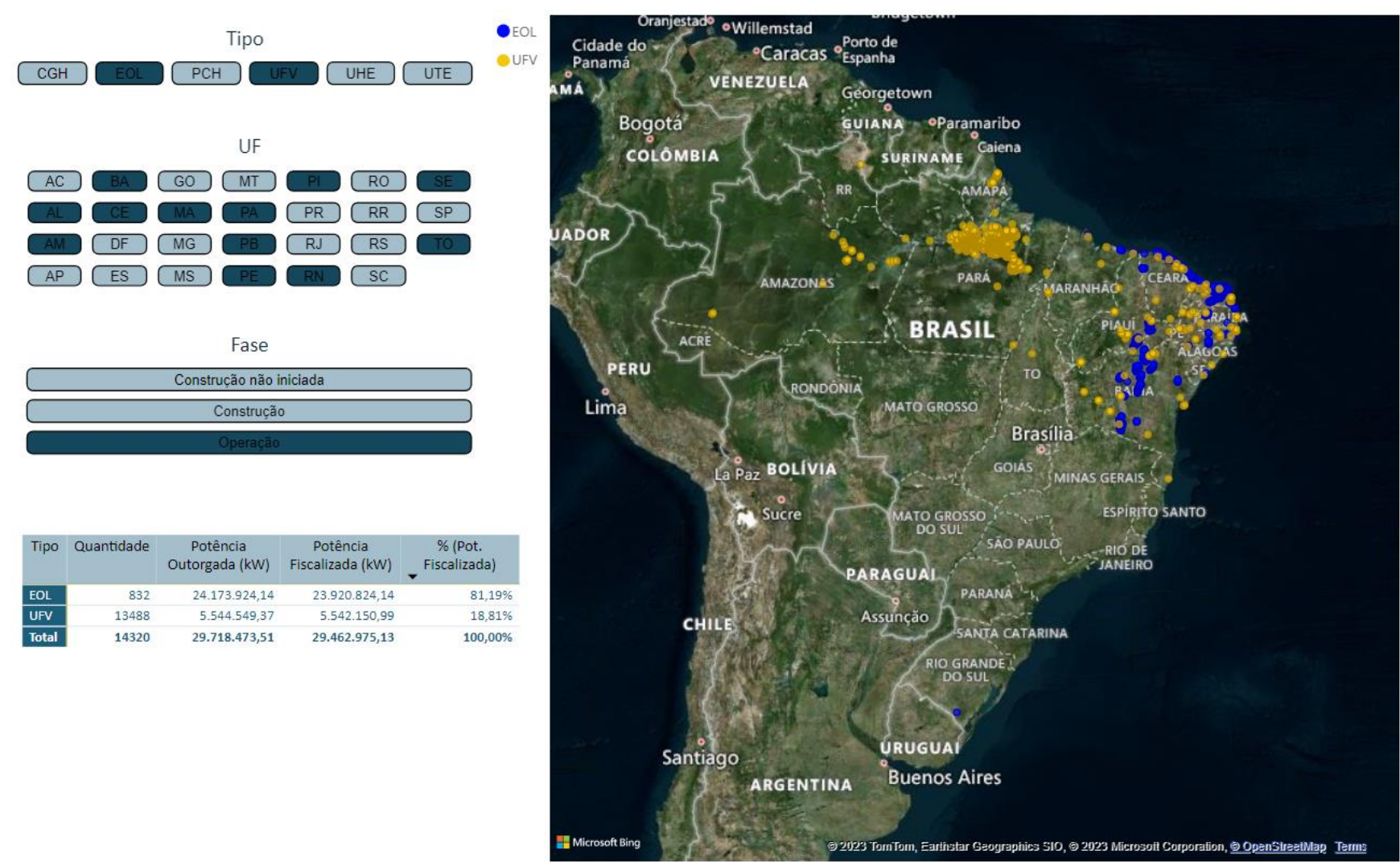
Contextualização

Motivação da Elaboração do Equivalente de Redes
PSCAD

Especificação Geral do Modelo

Contextualização

- Com base no cenário de expansão da oferta de geração renovável prevista para se consolidar na região Norte/Nordeste nos próximos anos, a EPE realizou estudos de expansão da rede de transmissão que viabilizam um **aumento da ordem de 12 GW na capacidade de exportação conjunta das regiões NNE para SE/CO**.
- Tal expansão permite o aproveitamento do potencial energético da região, viabilizando o atingimento de uma capacidade instalada da ordem de 48 GW em geração renovável (eólica e solar), no NNE, até o ano 2030.

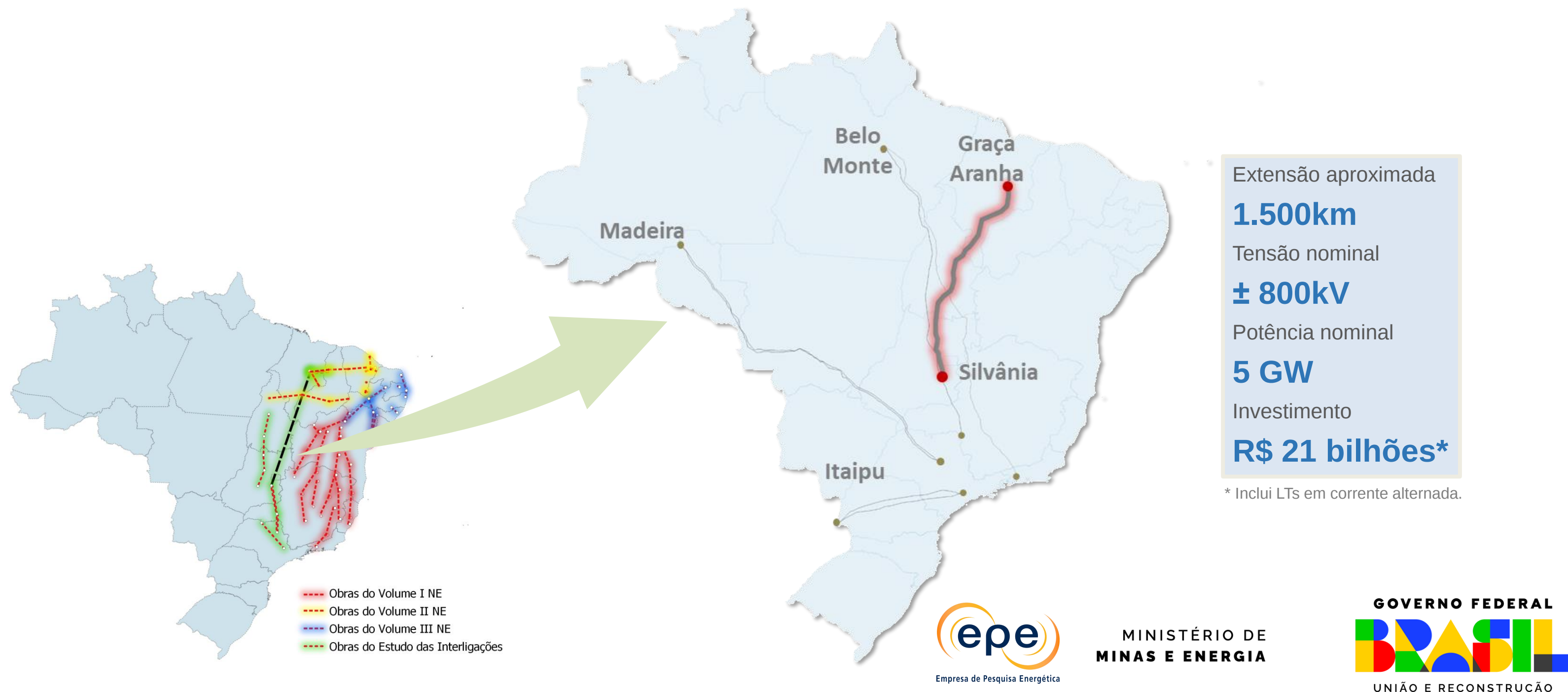


Aumento de ~20 GW (67%)
em relação à capacidade
instalada atual

Fonte: SIGA - ANEEL, [Microsoft Power BI](#)

Contextualização

- Os estudos recomendaram cerca de 14,7 mil km de novas linhas de transmissão e 13 novas subestações, com investimentos esperados da ordem de R\$ 56 bilhões;
- Sendo parte da solução composta por um **novo elo em corrente contínua, denominado Graça Aranha - Silvânia**, e reforços associados.



Contextualização

- Na visão de mais longo prazo, a partir de 2033, novos corredores expressos poderão ser necessários, para acomodar integração adicional de renováveis;
- Nesse sentido, antecipou-se, no âmbito dos estudos a análise integrada da configuração ótima da rede para o longo prazo;
- A referida análise não entrou no mérito da tecnologia a ser empregada, concentrando-se na busca dos pontos de conexão que proporcionassem mínimo custo de expansão e operação futuro;
- A avaliação preliminar indicou o RN e as regiões de São Paulo e Paraná como mais promissoras para a conexão dos terminais emissor e receptor, respectivamente, o que será objeto de avaliações mais aprofundadas em estudo de planejamento próximo.



Motivação da elaboração do Equivalente de Redes PSCAD



Motivação da elaboração do Equivalente de Redes PSCAD

- Para avaliação do impacto das interações *multi-infeed* que podem ocorrer entre o novo elo CCAT e os demais que já estão em operação no SIN, concluiu-se pela necessidade de realização de análise de desempenho da rede planejada, a partir de **simulações em programa de análise de transitórios eletromagnéticos (EMT), já na etapa de concepção do novo elo planejado (R1);**
- Pensando em possibilitar o uso deste mesmo equivalente em estudo próximo a ser realizado, caso haja recomendação de novo elo CCAT para o horizonte de longo prazo, a área de modelagem da rede retida (representada de forma explícita no modelo EMT) foi ampliada, buscando **representar o acoplamento entre as inversoras de elos existentes, a inversora do elo planejado e a área prospectiva para conexão de um eventual segundo bipolo.**

Ampla área de cobertura,
com muitos elementos de
rede estáticos e máquinas a
serem representados



Alta complexidade de
modelagem

Motivação da elaboração do Equivalente de Redes PSCAD

- Em função do prazo expedito para desenvolvimento do modelo, visando viabilizar a licitação do equipamento no ano 2023, decidiu-se pela contratação de empresa de consultoria, com experiência pregressa no desenvolvimento de equivalentes de rede para análise de integração de elos CCAT ao SIN, para apoiar o trabalho;
- A contratação permitiu **melhor alocação do tempo da equipe da EPE** no detalhamento e especificações técnicas da solução de planejamento (R1), trazendo, também, **ganhos de eficiência ao processo de modelagem**, uma vez que a contratada dispunha de ferramental anteriormente desenvolvido em projetos similares, para automatização de processos, tais como:

- Transferência de parâmetros das bases de dados (RMS) da EPE para PSCAD;
- Tradução de modelos dinâmicos ANATEM para PSCAD;
- Testes de validação.

Especificação

Geral do

Modelo



Especificação Geral do Modelo

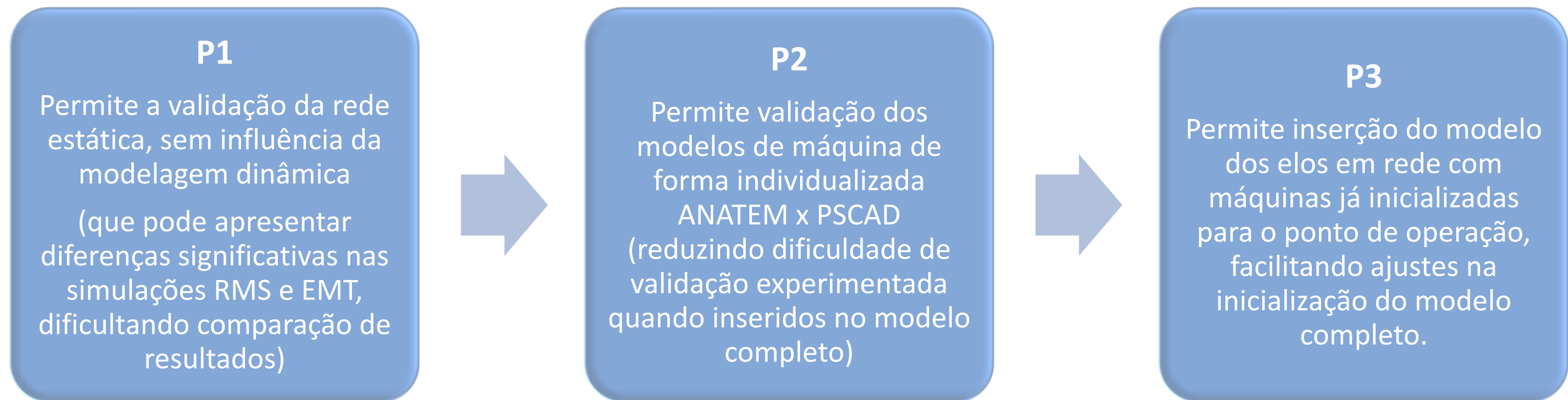
- Cabe destacar que o **objetivo principal** do desenvolvimento do modelo é a **análise de interações multi-infeed** na rede receptora – Sudeste/Centro-Oeste;
- Portanto, a principal premissa de elaboração da rede retida foi **garantir a maior representatividade possível do sistema Sudeste, mantendo o acoplamento entre as inversoras de elos CCAT**, de modo a possibilitar resultados mais fidedignos de desempenho frente a aplicação de faltas em diferentes pontos da malha CA, no PSCAD;
- Para evitar inviabilidade de execução do modelo em máquinas convencionais (notebooks), alguns *trade-offs* foram avaliados:



- ✓ Maior detalhamento da rede SE/CO x Menor detalhamento da rede NNE
- ✓ Ganhos de precisão nos resultados x Tempos de simulação aumentados

Especificação Geral do Modelo

- O projeto foi dividido em 3 etapas, com entregas específicas:
 - ❑ Produto 1: Desenvolvimento de equivalentes estáticos da rede elétrica, em PSCAD;
 - ❑ Produto 2: Progressão do Produto 1, com inclusão de modelagem dinâmica das máquinas e CERs;
 - ❑ Produto 3: Progressão do Produto 2, com inclusão de modelagem dinâmica dos elos CCAT.



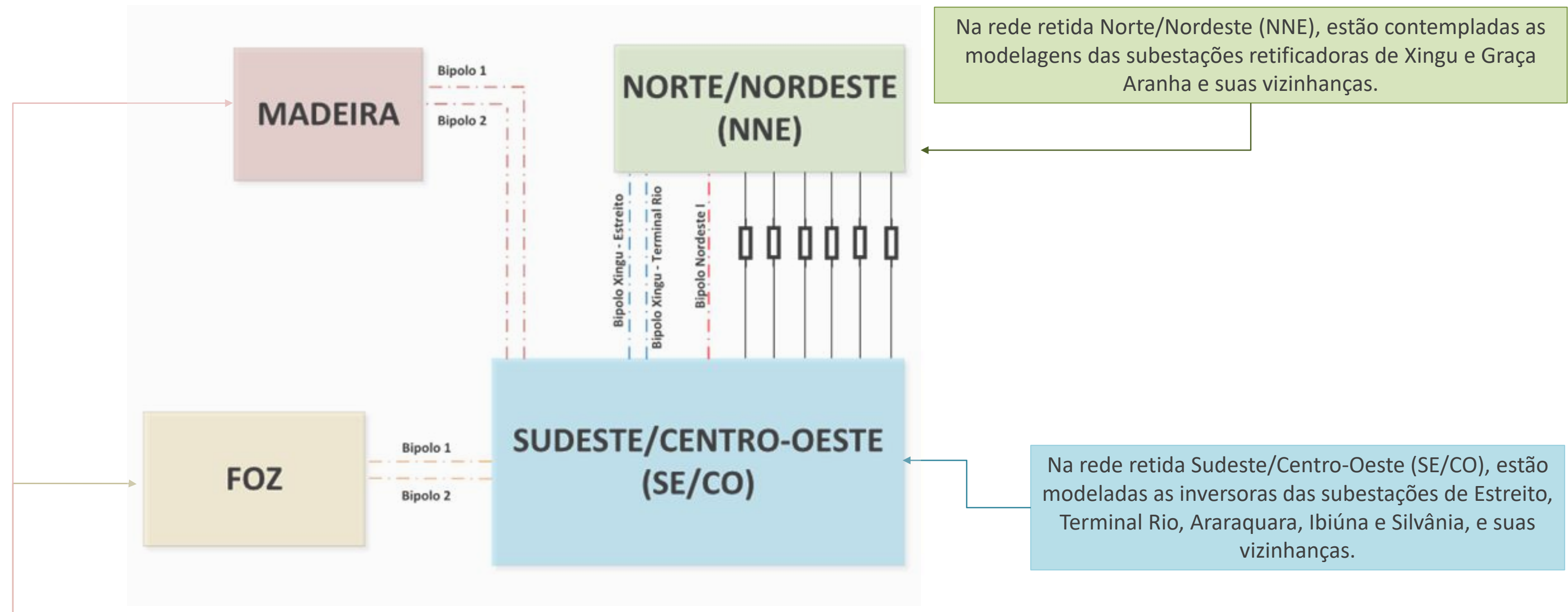
*Antes de receberem modelagem dinâmica, as máquinas eram representadas por equivalente de Thévenin e os elos CCAT por fonte de corrente constante.

Especificação Geral do Modelo

- Para cada um dos produtos, foram elaborados quatro diferentes modelos, correspondentes à quatro cenários operativos em análise:
 - ☐ Exportação do Norte/Nordeste na carga leve
 - ☐ Exportação do Norte/Nordeste e recebimento do Sul na carga média
 - ☐ Exportação do Nordeste e recebimento do Sul na carga média
 - ☐ Exportação do Norte/Nordeste com Inércia Mínima no Sudeste na carga média

Especificação Geral do Modelo

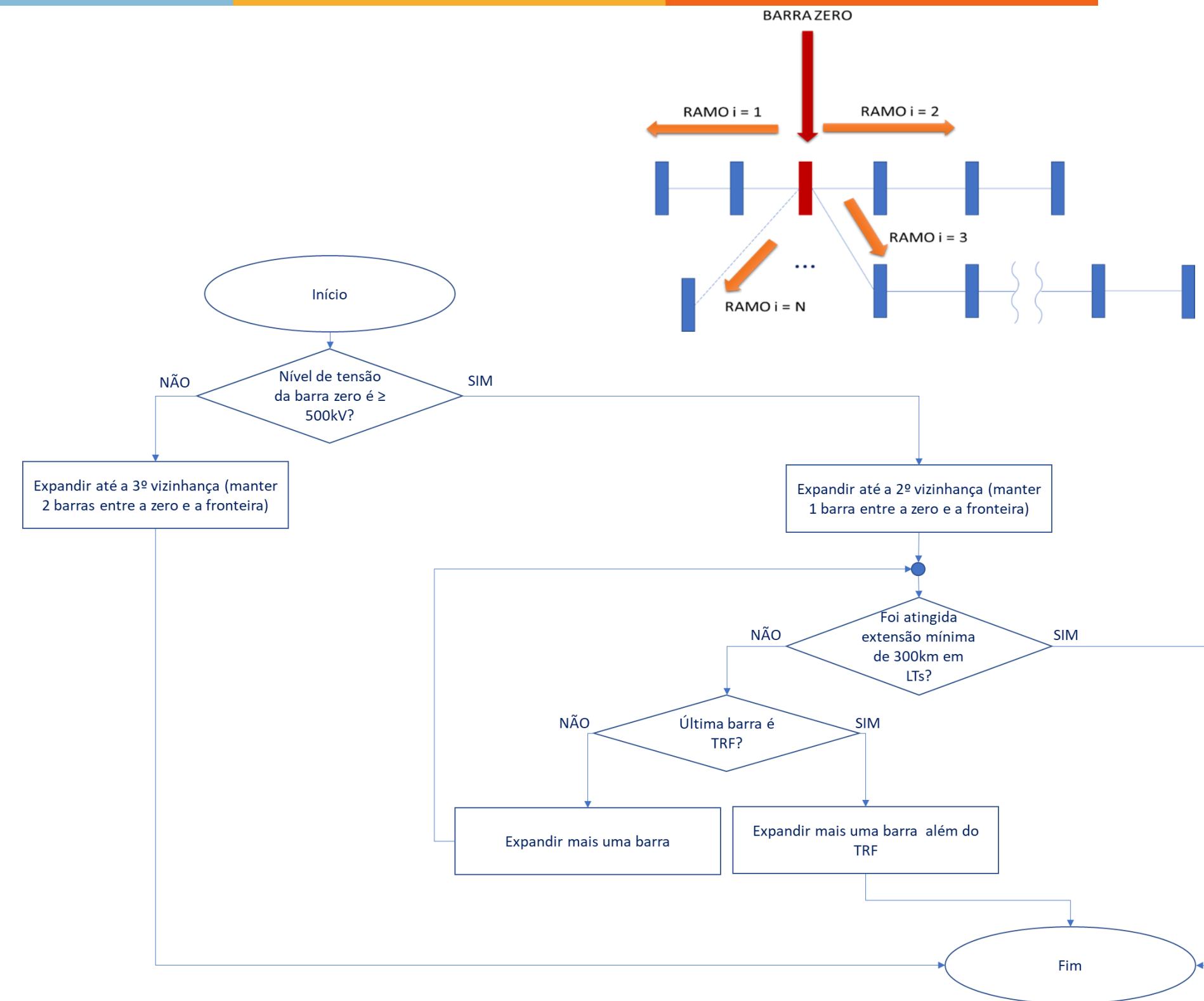
- Foram representados, ao todo, quatro redes retidas, interligadas entre si, via elos CCAT e impedâncias de transferência:



As retificadoras dos elos do Madeira e de Itaipu foram representadas em redes separadas, por estarem eletricamente distantes entre si e das demais subestações conversoras.

Especificação Geral do Modelo

- A definição das redes retidas consistiu num processo artesanal, cujo objetivo principal foi **manter a representação fiel dos circuitos de acoplamento entre as inversoras da região Sudeste** (região de interesse do estudo);
- Após a definição da área central da rede retida Sudeste, foi adotado o critério de **manutenção de distância mínima de 300km em linhas de transmissão entre as subestações conversoras e as barras de fronteira**, onde são representados os equivalente da rede externa;
- **Foi flexibilizado o critério de 300km de distância mínima, sempre que encontrada uma transformação** entre a barra conversora e a fronteira (dado que o elemento possui elevada impedância, promovendo aumento da distância elétrica).



Especificação Geral do Modelo

- Após definição das redes retidas, foram contabilizados, ao todo:
 - ✓ 370 barras;
 - ✓ 333 linhas de transmissão;
 - ✓ 171 transformadores;
 - ✓ 47 máquinas;
 - ✓ 2 CER; e
 - ✓ 7 bipolos.

A partir da abrangência eletrogeográfica da rede retida Sudeste/Centro-Oeste, modelada no PSCAD, observa-se que foram mantidas as principais conexões entre as subestações inversoras de elos CCAT, além de subestações estratégicas, que compõem as interligações regionais em corrente alternada.



Especificação Geral do Modelo

- As Bases de Dados de referência para elaboração do equivalente PSCAD foram fornecidas pela EPE, no formato dos programas ANAREDE, ANAFAS e ANATEM, incluindo dados de equipamentos existentes e planejados, considerando a configuração final de rede planejada.
- Ajustes na parametrização dos elementos foram realizados, a partir da obtenção de dados do sistema SAGIT (Sistema de Análise e Gerenciamento de Instalações de Transmissão), quando disponíveis, e validação, a partir de técnica de estimação de parâmetros, elaborada internamente, com base em configuração típica de linhas de transmissão, nível de tensão e capacidade.
- Tal etapa de validação buscou reduzir eventuais inconsistência de parâmetros, que podem ser encontradas em bases de dados.

Especificação Geral do Modelo

- Testes de performance do modelo para simulação de 1 segundo de simulação:

Configurações de máquina	Compilador	Tempo de execução
Processador: Intel® Core™ i5-7600T CPU @ 2.80 GHz 2.81 GHz RAM instalada: 16 GB	Intel® Fortran (oneAPI)	55 minutos
Processador: Intel® Core™ i9-12900K 3.19GHz RAM instalada: 16 GB	Intel® Fortran (oneAPI)	15 minutos



Empresa de Pesquisa Energética



/epe.brasil



@epe_brasil



@epe_brasil



/EPEBrasil



Empresa de
Pesquisa
Energética



Empresa de Pesquisa Energética

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO