

## GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

### APLICAÇÃO EM PROJETO PILOTO DO PROGRAMA ANAHVDC NA ANÁLISE HVDC MULTI-INFEED DO SIN

**LEONARDO PINTO DE ALMEIDA(1,3);SERGIO GOMES JUNIOR(1,3);THIAGO JOSE MASSERAN ANTUNES  
PARREIRAS(1);TIAGO SANTANA DO AMARAL(1);GUILHERME SARCINELLI LUZ(2);ARJAN CARVALHO  
VINHAES(2);RAQUEL ALVES FERREIRA(2);MATHEUS SOARES DA SILVA(2);RODRIGO GODIM DE  
AZEVEDO(1,3)  
CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA CEPEL(1); OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA  
ELÉTRICO ONS(2);UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE UFF(3)**

#### RESUMO

Neste artigo são apresentados resultados de um projeto piloto, desenvolvido pelo Cepel em parceria com o ONS, para análise HVDC *Multi-infeed*. Resultados de simulações de um sistema equivalente no AnaHVDC serão comparados com resultados obtidos no PSCAD. Serão ainda apresentados resultados de simulações do SIN utilizando a base de dados de estudos elétricos do ONS, com comparações qualitativas com o programa Anatem. Acredita-se que os resultados obtidos são o primeiro passo para utilização do AnaHVDC nos futuros estudos dinâmicos onde o foco é a forte interação dinâmica entre os múltiplos elos e o SIN.

#### PALAVRAS-CHAVE

Elos HVDC, falhas de comutação, *multi-infeed*, fasores dinâmicos, AnaHVDC

#### 1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente possui seis grandes bipolos, os elos HVDC de Itaipu, Madeira e Belo Monte, totalizando aproximadamente uma injeção de 20 GW na Região Sudeste, caracterizando uma configuração com múltiplas alimentações CC (HVDC *Multi-infeed*).

Os principais estudos envolvendo elos HVDC são os de estabilidade transitória com o programa computacional Anatem e os estudos de desempenho dinâmico que utilizam o programa PSCAD. Na análise de estabilidade transitória, considera-se os transitórios de baixa frequência, principalmente eletromecânicos, e as milhares de subestações do SIN com todos os seus componentes. Nesta análise, a rede de transmissão é considerada de forma estática, considerando que os seus transitórios eletromagnéticos são suficientemente rápidos e podem ser considerados instantâneos. Os dados da rede são originários de arquivos de fluxo de potência, sendo que diversos cenários podem ser avaliados, repetindo a simulação para cada um dos pontos de operação.

Um dos principais fenômenos considerados na análise HVDC *Multi-infeed* é a ocorrência de falhas de comutação que causam uma interrupção transitória da injeção de potência do elo HVDC, cujo efeito na estabilidade é bastante importante e deve ser analisado. Ressalta-se que há a possibilidade da ocorrência de múltiplas falhas de comutação, podendo o inversor de um elo em falha, levar outro inversor a entrar em falha. No entanto, há uma grande dificuldade nesta análise pois o fenômeno da falha de comutação é bastante dependente das formas de onda nas válvulas do elo HVDC, e estas formas de onda não podem ser precisamente determinadas utilizando-se a modelagem de baixa frequência das simulações de estabilidade transitória.

Por outro lado, os estudos do desempenho dinâmico de elos HVDC, realizados no PSCAD, permitem a obtenção das formas de onda das válvulas de elos HVDC e, conseqüentemente, poderiam ser utilizados para verificação de falhas de comutação. Nestes estudos a dificuldade é outra: a modelagem do SIN completo considerando todos os componentes da rede elétrica, principalmente das máquinas síncronas e sistemas de controle, no mesmo grau de detalhamento de um programa de estabilidade. Por esta dificuldade, estes estudos utilizam redes equivalentes reduzidas, com uma pequena quantidade de máquinas representadas detalhadamente, que impedem a análise simultânea das interações dinâmicas de baixas e altas frequências e a análise de cada ponto de operação exige o ajuste completo das condições de fronteira.

Para suprir as dificuldades da análise do desempenho dinâmico de múltiplos elos HVDC está em desenvolvimento pelo Cepel o novo programa computacional AnaHVDC (1). Entre os diversos recursos estão principalmente a possibilidade de considerar a modelagem completa do sistema de potência, com todos os componentes representados em um estudo de estabilidade e considerando ainda os transitórios eletromagnéticos. O AnaHVDC utiliza modelos válidos para altas frequências com modelagem fasorial com harmônicos, sem perda de precisão na representação dos transitórios eletromagnéticos. Possui inicialização automática, análoga à do Anatem, utilizando como base o arquivo de fluxo de potência do Anarede. Boa parte dos dados dinâmicos podem ser lidos diretamente dos arquivos do Anatem e a parte dos dados de sequência zero, para considerar aplicação de curtos-circuitos fase-terra, é lida do arquivo do programa Anafas. Outro importante recurso é a obtenção das tensões e correntes das válvulas de elos HVDC que permitem a detecção e aplicação de falhas de comutação.

O objetivo do artigo é apresentar os resultados de um projeto piloto, desenvolvido pelo Cepel em parceria com o ONS, para análise HVDC *Multi-infeed*, com foco na forte interação dinâmica entre os múltiplos elos e o SIN. Serão apresentados resultados de simulação do AnaHVDC em um sistema equivalente que serão comparados com resultados obtidos no PSCAD. Será considerada a modelagem trifásica da rede de transmissão onde serão aplicados defeitos desbalanceados, além da inclusão dos elos HVDC de Itaipu, Madeira e Belo Monte, com seus respectivos sistemas de controle. Serão ainda apresentados os resultados de simulações do SIN completo utilizando a base de dados de estudos elétricos do ONS, em comparações qualitativas com o programa Anatem.

## 2.0 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE SISTEMAS MULTI-INFEED

Atualmente, as análises de *multi-infeed* no SIN são realizadas através de um estudo conjunto utilizando dois programas computacionais. O programa PSCAD é utilizado nas simulações de transitórios eletromagnéticos onde o objetivo é a determinação do tempo de interrupção do fornecimento de potência dos conversores de Elos HVDC. Nessa avaliação, são utilizados equivalentes de redes para que se tenha simulações viáveis de sistemas de grande porte. As desvantagens de análise através de equivalentes de rede elétrica são que se perde precisão no comportamento dinâmico do sistema e há um grande esforço associado à preparação desses equivalentes. O programa Anatem é utilizado nas análises de transitórios eletromecânicos onde se utiliza as informações de falhas de comutação, obtidas nas simulações de transitórios eletromagnéticos, para simular o comportamento dinâmico do sistema completo.

Esse procedimento para análise *multi-infeed* é bastante trabalhoso pois necessita da geração de equivalentes de rede e de diversas simulações envolvendo os dois tipos de programas mencionados. Por essa razão, buscou-se uma solução que melhorasse todo o processo da análise *multi-infeed*, de forma a agilizar esse tipo de estudo, mas de forma a manter toda a precisão que se necessita nessas simulações.

Nesse contexto, o Cepel vem desenvolvendo o novo programa computacional AnaHVDC, cujo primeiro objetivo é viabilizar a análise *multi-infeed*, de forma mais prática, sem a necessidade da geração de equivalentes de rede, aproveitando os bancos de dados disponíveis para os programas Anarede, Anafas e Anatem, periodicamente disponibilizados pelo ONS em seu site.

Uma nova proposta para análise *multi-infeed* consiste justamente na utilização do novo programa computacional AnaHVDC, que realiza simulações de sistemas elétricos de potência considerando modelos para os componentes da rede elétrica que permitam simular simultaneamente fenômenos de altas e baixas frequências, como por exemplo o modelo de Elo HVDC apresentado em (2) e (3). Dessa forma, é possível ter simulações que consideram transitórios eletromagnéticos e transitórios eletromecânicos, tendo precisão suficiente para a detecção de falhas de comutação (4) nos conversores dos Elos HVDC do sistema elétrico, para a representação dessas falhas durante uma simulação, o efeito dos modos inter-areas nestas falhas e, por fim, os resultados e impactos dessas falhas no desempenho dinâmico do sistema. Com o programa AnaHVDC pode-se realizar estudos de *multi-infeed* utilizando-se diretamente as bases de dados do SIN, sem a necessidade da obtenção de equivalentes de rede.

## 3.0 EQUIVALENTE EM CONFIGURAÇÃO MULTI-INFEED UTILIZADO PARA VALIDAÇÃO

A fim de comparar os resultados das simulações entre os programas AnaHVDC e PSCAD em um sistema *multi-infeed*, de modo que as falhas de comutação decorrentes da interação entre os inversores dos bipolos possam ser analisadas, foi construída, com o auxílio dos programas Anarede e Anafas, uma rede equivalente do SIN. O caso adotado como referência para ajuste do fluxo de potência da rede equivalente foi o arquivo de carga pesada referente ao ano de 2021 do 1º Quadrimestre (1Q2021). Essa escolha retrata as condições mais críticas para essa análise. A rede retida foi mantida com um total de 45 barramentos, 11 fontes equivalentes e os compensadores síncronos das barras de Ibiúna, Araraquara e Terminal Rio. Todos os componentes da rede foram representados pelos modelos consagrados utilizados comumente nos estudos envolvendo transitórios eletromagnéticos. Particularmente as linhas de transmissão foram representadas pelo modelo de Bergeron que considera parâmetros distribuídos. No AnaHVDC

os parâmetros nominais trifásicos das linhas são obtidos por um processo iterativo utilizando os dados do Anarede e Anafas para retirada da correção hiperbólica realizada para cálculo preciso do regime permanente (5).

A Figura 1 apresenta o diagrama geral, no programa PSCAD, do sistema equivalente e um exemplo de representação da rede CA utilizados para a comparação entre os dois programas.

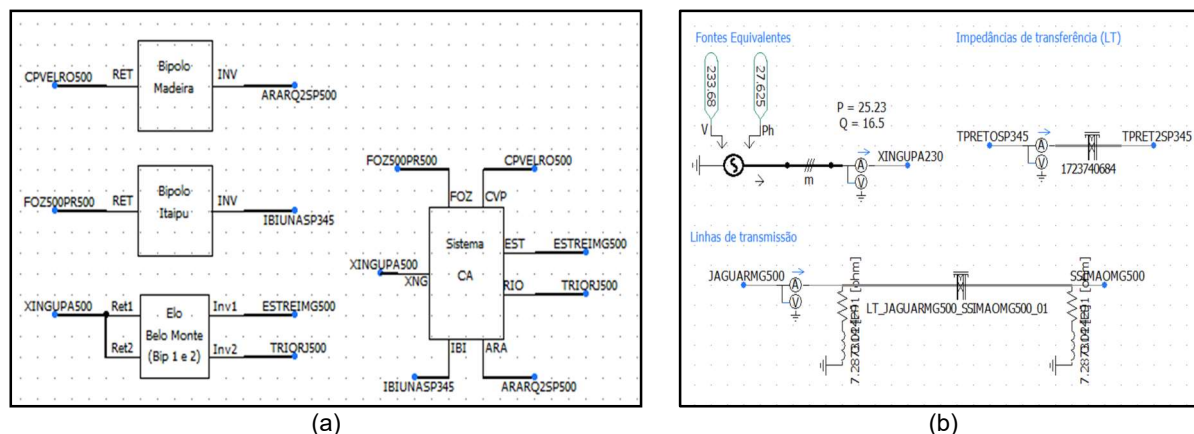


FIGURA 1 – Diagrama geral do sistema equivalente (a) e representação da rede CA (b)

Os bipolos presentes atualmente no SIN estão representados nas redes de simulação utilizadas, tanto no programa PSCAD como no programa Anatem, a partir dos modelos correspondentes fornecidos ao ONS pelos Agentes. Como os controles modelados no programa AnaHVDC são os mesmos utilizados no programa Anatem, seria relevante que eles refletissem em CDU exatamente os mesmos blocos matemáticos modelados no programa PSCAD.

Desse modo, para se manter uma maior aderência nesta comparação de resultados, foram implementados em CDU no programa Anatem, os controles de um bipolo utilizado nos estudos em PSCAD no planejamento de R2 da EPE. Visando uma maior simplicidade, uniformidade e fidelidade nos resultados, este mesmo conjunto de controles foi aplicado em todos os demais bipolos nos dois programas, PSCAD, Anatem e, consequentemente, no programa AnaHVDC. A capacidade nominal para transferência de potência CC, os parâmetros das linhas CC, a modelagem dos transformadores conversores e os filtros CA, de cada um dos bipolos, foram mantidos compatíveis com os estudos de planejamento da EPE.

A modelagem deste controle em CDU já havia sido validada e está descrita detalhadamente em (6) com toda sua validação de resultados comparativamente entre Anatem e PSCAD.

A prioridade para os resultados comparativos entre os programas PSCAD e AnaHVDC é que a representação das redes CA e CC e de seus elementos entre os dois programas sejam compatíveis, de maneira que, a comparação mostre apenas as diferenças pelas limitações dos próprios programas e não por parte de possíveis erros de entrada de dados relativos a modelos e representação topológica.

Da Figura 2 a Figura 5 estão apresentados os esquemas gerais de cada um dos bipolos no PSCAD correspondentes, respectivamente, ao projeto Itaipu, Madeira e Belo Monte, sendo, neste último, um para Estreito e outro para Terminal Rio. Os controles dos quatro bipolos possuem a mesma estrutura geral com apenas variações paramétricas que foram consideradas em função dos estudos de desempenho dinâmico. Por questão de simplicidade, sem prejuízo para os objetivos de comparação de resultados entre PSCAD e AnaHVDC, utilizou-se modelos simplificados das linhas de transmissão dos bipolos, por um circuito RL. No entanto modelos de parâmetros distribuídos de linha CC foram recentemente incorporados no AnaHVDC e futuras comparações utilizarão estes modelos.

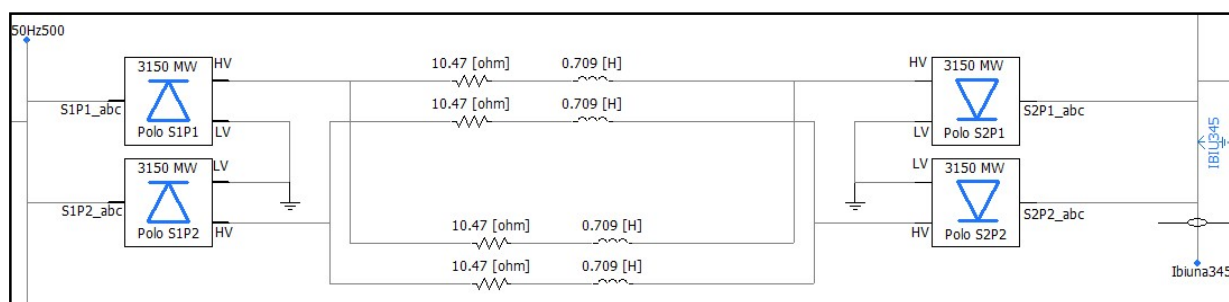


FIGURA 2 – Representação do bipolo projeto de Itaipu

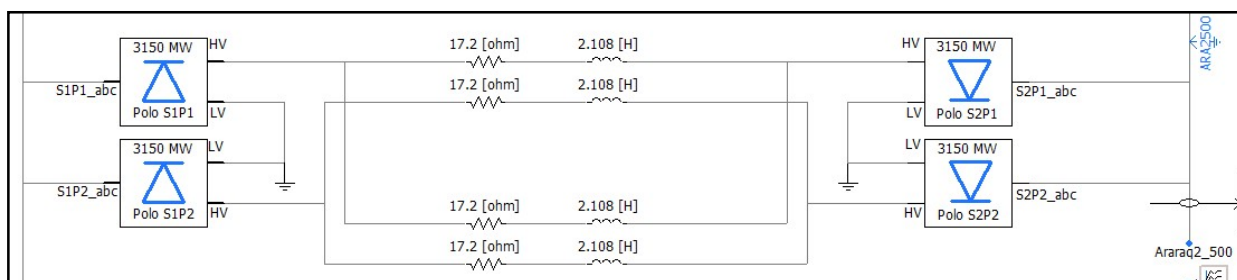


FIGURA 3 – Representação do bipolo projeto do Madeira

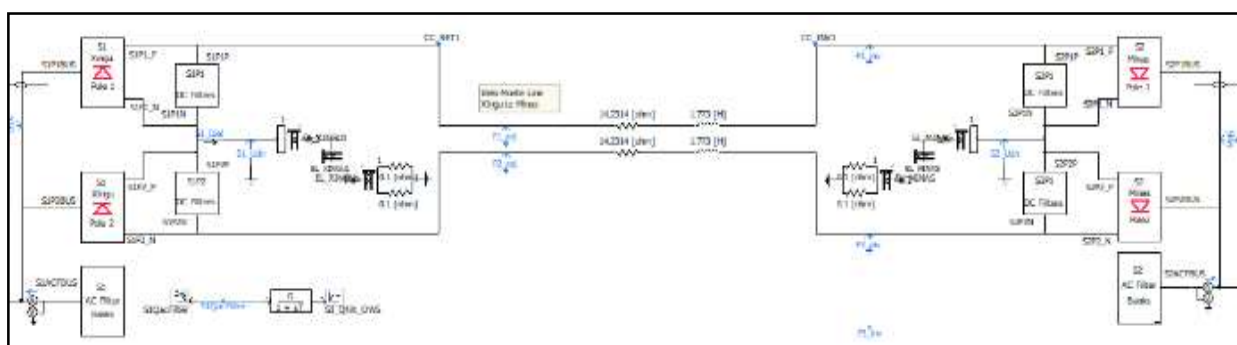


FIGURA 4 – Representação do bipolo projeto do Belo Monte para Estreito

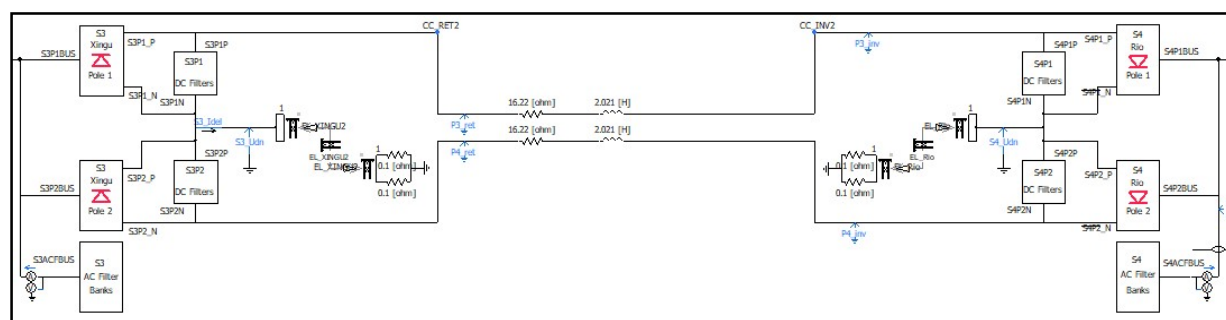


FIGURA 5 – Representação do bipolo projeto do Belo Monte para Terminal Rio

#### 4.0 RESULTADOS COM O SISTEMA EQUIVALENTE

A fim de validar os sistemas modelados em cada programa e melhor avaliar as causas de possíveis diferenças entre os resultados, foram inicialmente comparados os resultados considerando-se apenas a rede CA e utilizando-se fontes com tensão e ângulo definidos em cada um dos inversores e do retificador de Xingu. Ressalta-se que neste caso, o modelo fasorial de rede CA do AnaHVDC inclui todos os transitórios eletromagnéticos do sistema e não possui qualquer tipo de aproximação em relação ao modelo do PSCAD, esperando-se resultados visualmente coincidentes, como realmente ocorreu. Em seguida, as fontes foram eliminadas de modo que os bipolos assumissem as potências injetadas em cada uma dessas barras.

##### 4.1 Resultados da rede CA sem bipolos:

Diversos curtos-circuitos trifásicos e monofásicos foram aplicados em várias barras da rede CA de modo a garantir uma correspondência bem clara entre os resultados. A Figura 6 apresenta apenas um exemplo das tensões de cada fase nos dois programas para uma curto-circuito monofásico em Taubaté, onde pode ser vista a perfeita correspondência entre os resultados demonstrando não haver qualquer diferença entre os programas PSCAD e AnaHVDC, quando se trata de modelos de rede CA.

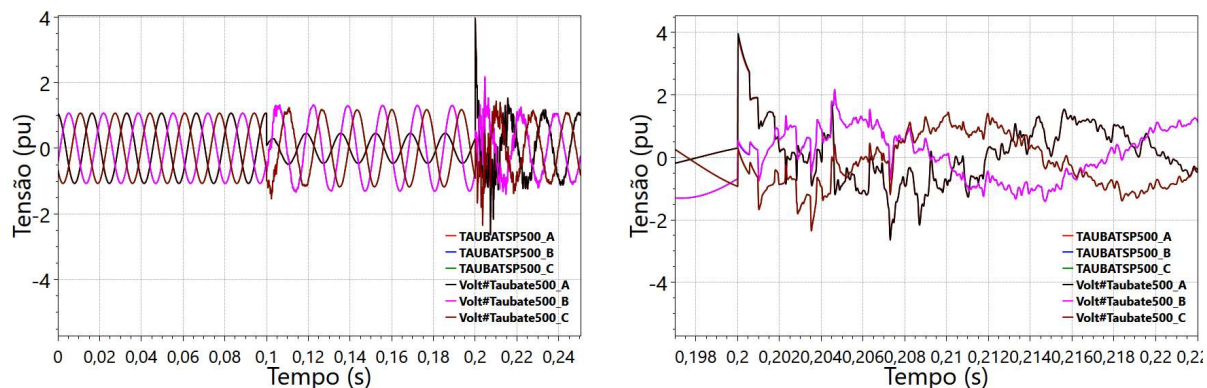


FIGURA 6 – Tensões em Taubaté – Ao longo da falta e em torno da retirada da falta

#### 4.2 Resultados da rede CA com bipolos:

Para a validação do modelo de Elos HVDC e representação de falhas de comutação utilizados no programa AnaHVDC, foram modelados todos os bipolos no Sistema Equivalente e foi aplicado um curto-circuito monofásico franco na fase A do barramento de Fernão Dias. Foram comparadas diversas variáveis dos projetos de Elos existentes (Madeira, Itaipu, Belo Monte – Estreito, Belo Monte – Terminal Rio). A Figura 7 apresenta o conjunto de variáveis de um dos pólos do Elo do Madeira. A Figura 10 apresenta o conjunto de variáveis para o Elo de Itaipu. A Figura 11 para o Elo Belo Monte Bipolo 1 (Estreito). E, por fim, a Figura 12 apresenta o conjunto de variáveis para o Elo Belo Monte Bipolo 2 (Terminal Rio).

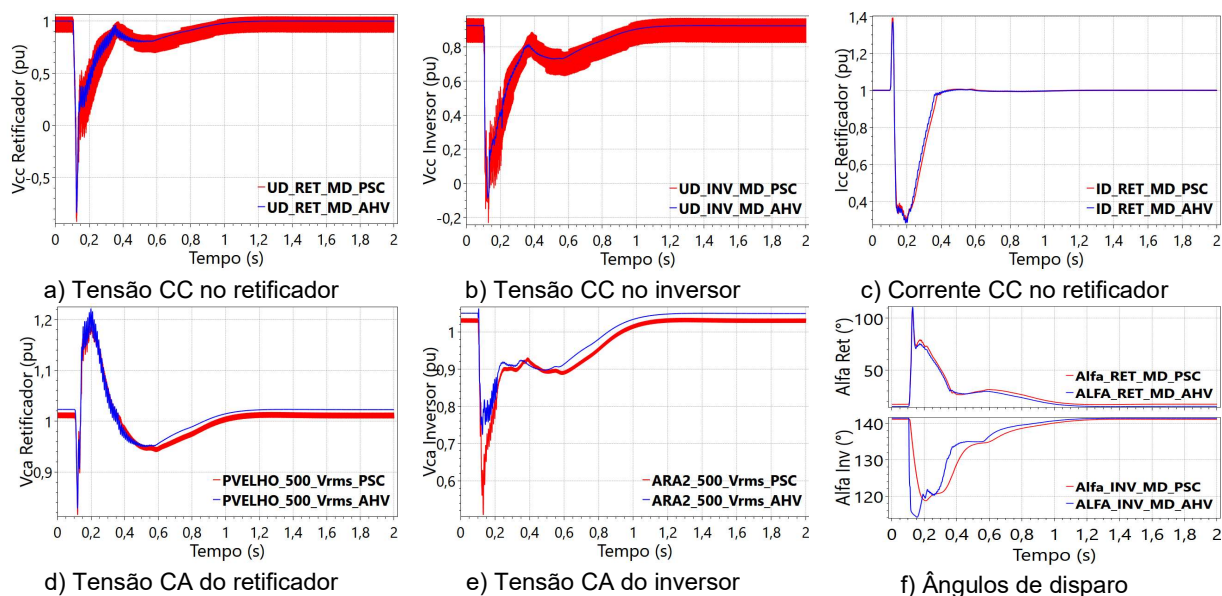
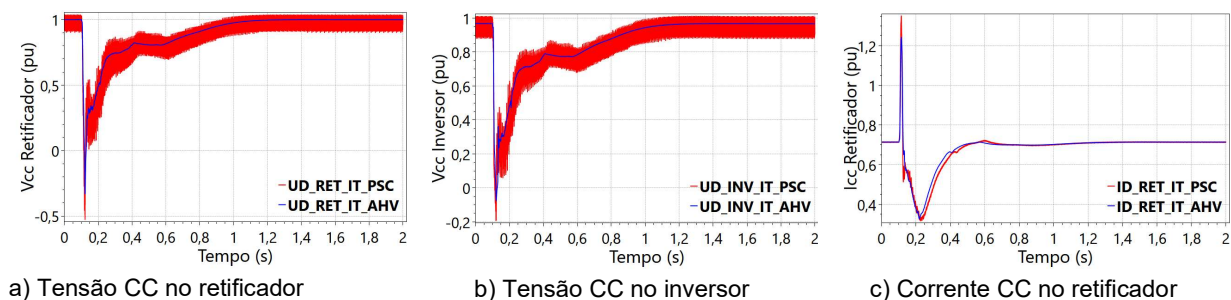


FIGURA 7 – Variáveis do Elo do Madeira.

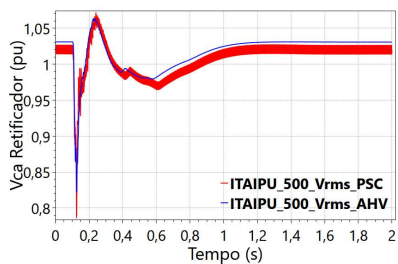


a) Tensão CC no retificador

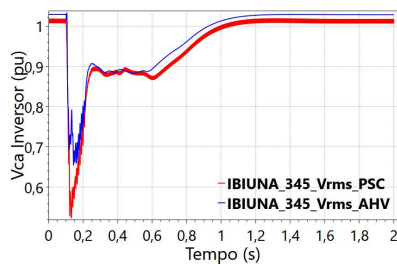
b) Tensão CC no inversor

c) Corrente CC no retificador

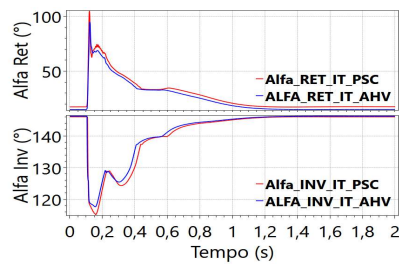




d) Tensão CA do retificador

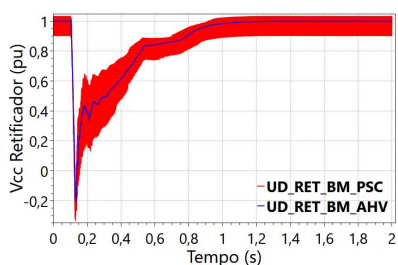


e) Tensão CA do inversor

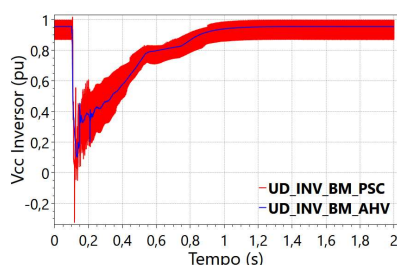


f) Ângulos de disparo

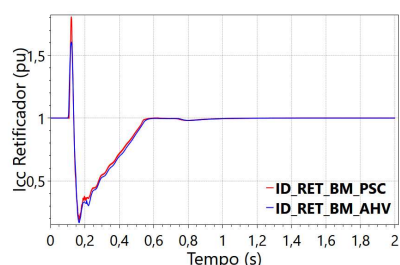
FIGURA 8 – Variáveis do Elo de Itaipu.



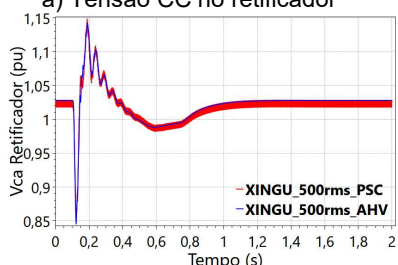
a) Tensão CC no retificador



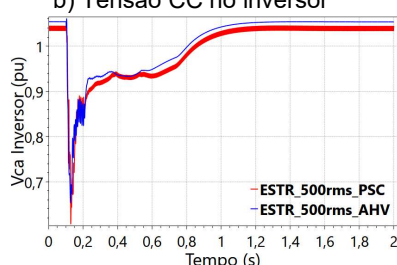
b) Tensão CC no inversor



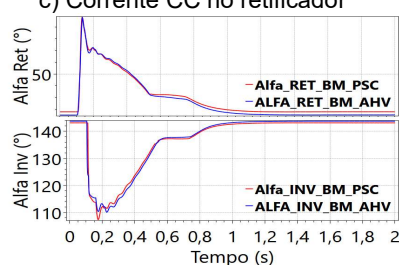
c) Corrente CC no retificador



d) Tensão CA do retificador

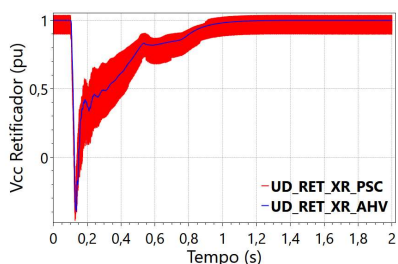


e) Tensão CA do inversor

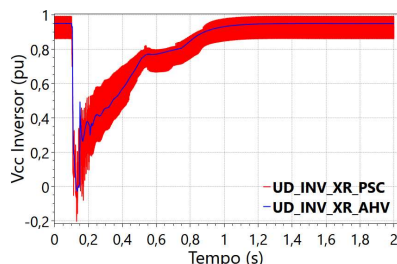


f) Ângulos de disparo

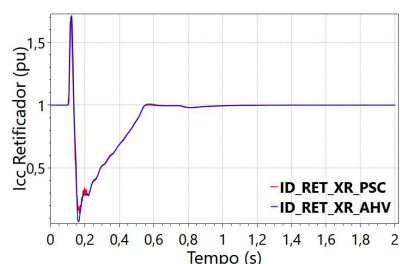
FIGURA 9 – Variáveis do Elo de Belo Monte Bipolo 1 (Estreito).



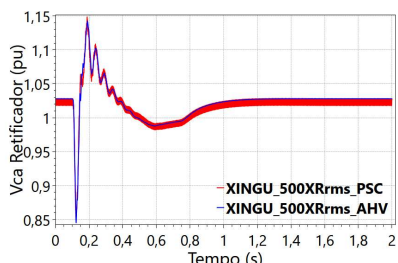
a) Tensão CC no retificador



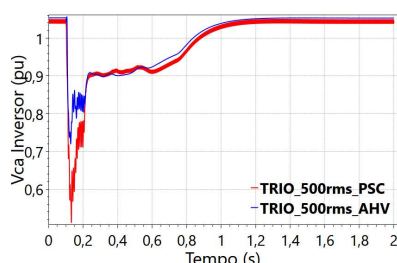
b) Tensão CC no inversor



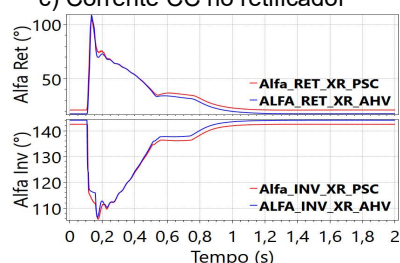
c) Corrente CC no retificador



d) Tensão CA do retificador



e) Tensão CA do inversor



f) Ângulos de disparo

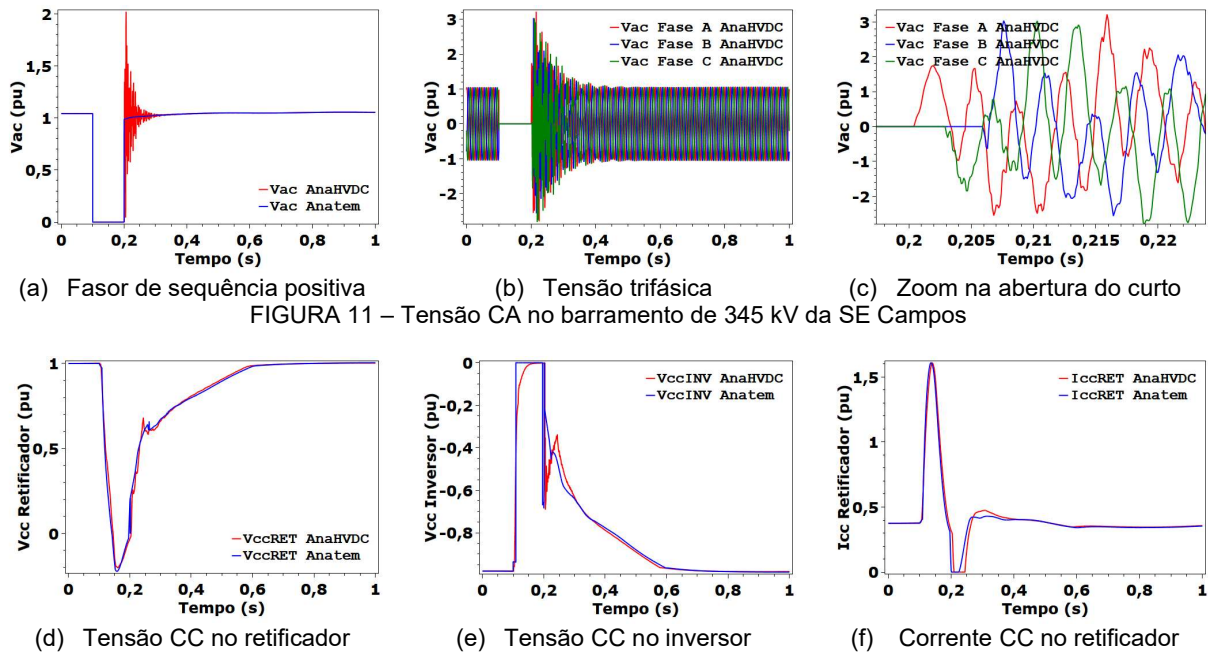
FIGURA 10 – Variáveis do Elo de Belo Monte Bipolo 2 (Terminal Rio).

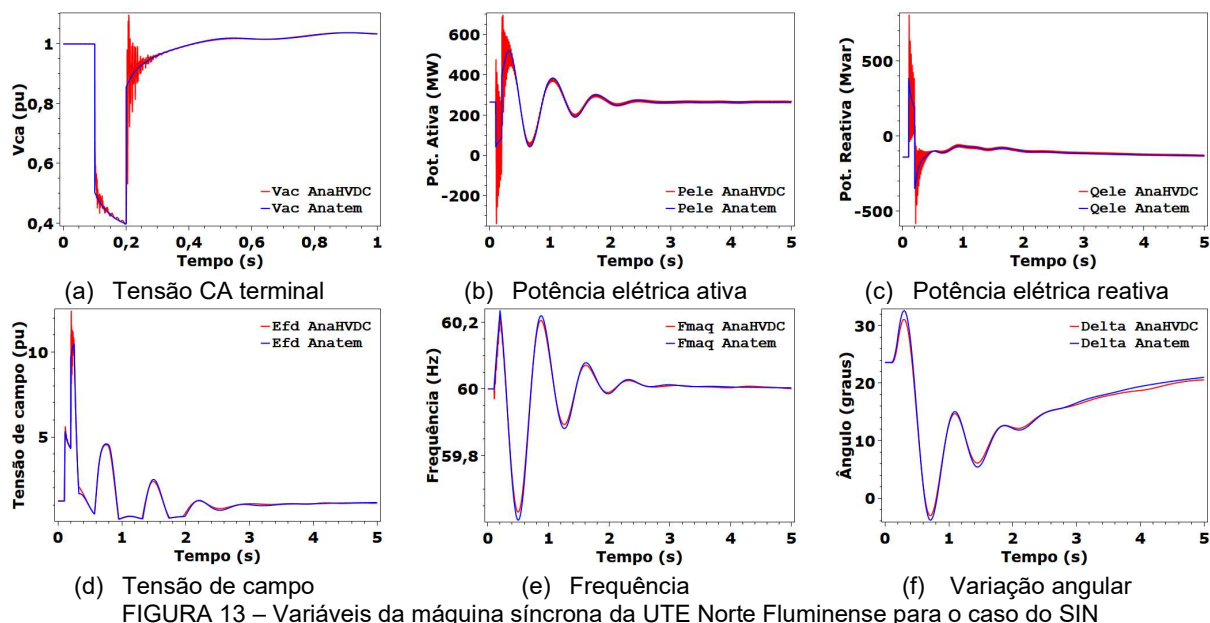
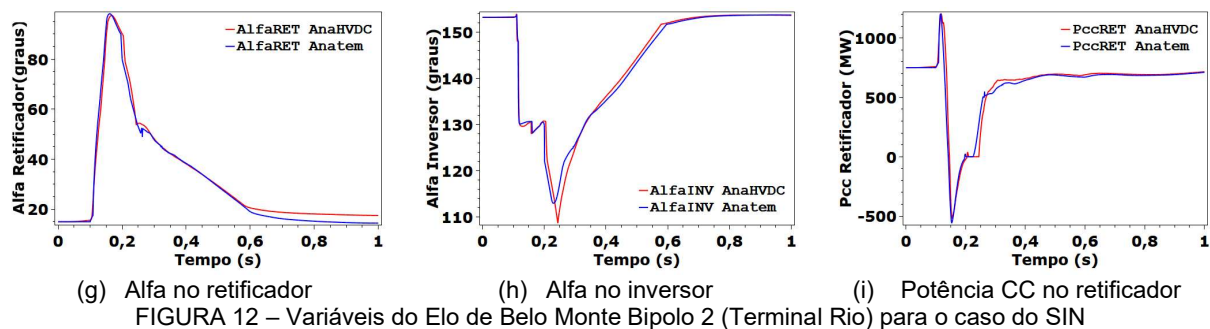
Analisando a comparação dos resultados obtidos por ambos os programas, é possível notar que o modelo de Elos HVDC, somente considerando o fasor fundamental proposto em (3), e a detecção de falhas de comutação em conversores, proposta em (4), utilizados no AnaHVDC, foram implementados com sucesso e produzem resultados bastante satisfatórios. A partir destes resultados preliminares há um forte indício que possam ser usados em estudos de sistemas *multi-infeed*. Espera-se que validações adicionais, incluindo comparações com modelos com harmônicos, ainda não implementados no AnaHVDC, confirmarão essa importante conclusão. O comportamento dos equipamentos modelados no AnaHVDC apresentou uma resposta bastante coerente com as simulações do PSCAD.

## 5.0 RESULTADOS COM O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

O SIN também foi utilizado em simulações no programa AnaHVDC, com o objetivo de mostrar que, agora, já é possível utilizar a base de dados de fluxo de potência, curto-circuito e estabilidade eletromecânica, provenientes dos programas Anarede, Anafas e Anatem, respectivamente, diretamente no AnaHVDC, sem a necessidade de conversão de dados. Foi utilizada a base de dados do SIN de março de 2021 para as simulações apresentadas a seguir. Foi realizada uma comparação qualitativa com o Anatem, avaliando dessa forma, principalmente o transitório eletromecânico. Em relação ao modelo cabe destacar que os compensadores estáticos foram incluídos sem seus controladores, ou seja, com valores fixos de reatância capacitiva ou indutiva, por questão de simplicidade. Pelo mesmo motivo, a modelagem trifásica no AnaHVDC foi limitada às barras vizinhas de Campos, utilizando-se equivalentes de sequência negativa e zero nas barras de fronteira, conforme disponível no AnaHVDC.

A simulação consiste na aplicação de um curto-circuito trifásico franco no barramento de 345 kV da subestação de Campos. Este evento causa uma falha de comutação no Elo de Belo Monte Bipolo 2 (Terminal Rio). Na Figura 11 é apresentada a forma da tensão CA no barramento em curto. A Figura 11(a) mostra a comparação, entre o Anatem e o AnaHVDC, do fasor de sequência positiva da tensão. Observa-se a presença dos transitórios eletromagnéticos na forma de onda do programa AnaHVDC, o fasor do Anatem comporta-se como um valor médio da forma de onda do AnaHVDC. Os valores de regime são visualmente coincidentes. A Figura 11(b) apresenta a tensão CA trifásica calculada no AnaHVDC a partir das componentes reais e imaginárias do fasor dinâmico do programa. A Figura 11(c) mostra um zoom da tensão CA trifásica no instante da abertura do curto. No AnaHVDC a eliminação do curto é realizada somente no instante da passagem da corrente de cada fase por zero. A Figura 12 apresenta, para o Elo de Belo Monte Bipolo 2 (Terminal Rio), a tensão CC e o ângulo de disparo alfa, para o retificador e inversor, e a corrente CC e a potência CC para o retificador. A Figura 13 apresenta as formas de onda da tensão CA, potência elétrica ativa e reativa, frequência e abertura angular para a máquina síncrona da UTE Norte Fluminense.





Como pode ser visualizado nos gráficos, a simulação do SIN no programa AnaHVDC apresentou resultados bastante consistentes quando comparados com a simulação no programa Anatem, ou seja, o AnaHVDC foi capaz de reproduzir com bastante precisão os transitórios eletromecânicos do sistema.

## 6.0 CONCLUSÕES

Neste artigo, foram apresentados resultados do projeto piloto de utilização do novo programa AnaHVDC para análise de sistemas *multi-infeed*, onde foram realizadas comparações com os programas PSCAD e Anatem, para a validação dos modelos dos componentes de uma rede elétrica usados no AnaHVDC. Os resultados obtidos com o novo programa AnaHVDC foram bastante coerentes com as simulações dos programas PSCAD e Anatem, tanto para o Sistema Equivalente, quanto para o SIN. A partir destes resultados preliminares há um forte indício que o AnaHVDC possa ser usado em estudos de sistemas *multi-infeed*. Espera-se que validações futuras, incluindo comparações com modelos com harmônicos, ainda não implementados no AnaHVDC, confirmarão essa importante conclusão.

## 7.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) Gomes, S.; Almeida, L. P.; Lirio, F. L.; Parreiras, T. J. M. A.; Daniel, L. O.; Amaral, T. S.; Rocha, T. J. B.; Azevedo, R. G. "O novo Programa Computacional AnaHVDC para Simulação dos Múltiplos Elos HVDC do SIN considerando Transitórios Eletromecânicos e Eletromagnéticos". XXV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 2019.
- (2) Azevedo, R. G.; Parreiras, T. J. M. A.; Gomes, S. "Simulação e análise linear de sistemas contendo elos HVDC". XXV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 2019.



- (3) Azevedo, R. G. "Avaliação Dinâmica de Elos de Corrente Contínua em Alta Frequência utilizando Fasores Dinâmicos". Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Fluminense (UFF). Niterói, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/TPP.2019.m.11622356756>.
- (4) Almeida, L. P.; Gomes, S.; Parreiras, T. J. M. A.; Azevedo, R. G. "Identificação de falhas de comutação em elos de corrente contínua modelados por fasores dinâmicos". XXV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 2019.
- (5) Varricchio, S. L., Gomes Jr., S., Véliz, F. C., Albuquerque, I. F., Araújo, L. R. "Método de Newton Raphson para Utilização de Dados de Fluxo de Potência na Modelagem de Linhas de Transmissão para Estudos de Comportamento Harmônico de Sistemas de Potência." V SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia, Aracaju, 2003.
- (6) Ferreira, R. A; Luz, G. S; Silva, M. S; Vinhaes, A. C; Penna, L. D.; Pinto, Almeida, L. P. "Critério para Transposição do Fenômeno da Falha de Comutação entre Ferramentas de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.", XXVI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2022.

## DADOS BIOGRÁFICOS



LEONARDO PINTO DE ALMEIDA graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ em 2000, obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ em 2004. Desde 1998 trabalha no CEPEL. Tem se dedicado à realização de estudos elétricos de sistemas de potência solicitados por diferentes agentes do Setor Elétrico Brasileiro. Participou dos estudos do Projeto de Transmissão em HVDC para as usinas do rio Madeira, e mais recentemente, da usina de Belo Monte. É membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil. Principais áreas de interesse: Transmissão HVDC, FACTS, Controle em Sistemas de Potência, Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos e Fasores Dinâmicos.

## (2) SERGIO GOMES JUNIOR

Graduou-se em Engenharia Elétrica em 1992 pela UFF, concluiu Mestrado e Doutorado também em Engenharia Elétrica pela UFRJ em 1995 e 2002, em 2004 fez um pós-doutorado na Northeastern University em Boston, Estados Unidos e em 2016 um pós-doutorado na Norwegian University of Science and Technology em Trondheim, Noruega. Desde 1994 é pesquisador do Cepel trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de programas computacionais para a análise de sistemas de potência e desde 2000 é gerente do projeto PacDyn no Cepel. Desde 2010 é professor da UFF. Áreas de interesse: dinâmica e controle, eletrônica de potência, harmônicos e transitórios eletromagnéticos.

## (3) THIAGO JOSE MASSERAN ANTUNES PARREIRAS

Thiago Jose Masseran Antunes Parreiras possui graduação (2009), mestrado (2012) e doutorado (2017) em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente, ele é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Ele tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em sistemas elétricos de potência, atuando principalmente nos seguintes temas: transitórios eletromecânicos, transitórios eletromagnéticos e projetos de sistemas de controle.

## (4) TIAGO SANTANA DO AMARAL

Tiago Santana do Amaral graduou-se em Engenharia Elétrica em 2004 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, concluiu Mestrado em 2007 e Doutorado em 2021, ambos em Sistemas de Potência pela COPPE/UFRJ. Desde 2006 é pesquisador do Cepel trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de programas computacionais para a análise de sistemas de potência. Suas principais áreas de interesse são: confiabilidade, controle e modelagem computacional de sistemas de potência.

## (5) GUILHERME SARCINELLI LUZ

GUILHERME SARCINELLI LUZ, brasileiro, nascido no RJ em 1957, engenheiro eletricitista pela UFRJ (1981) - Trabalha no ONS desde 2017 na Gerência de Estudos Especiais. Áreas de atuação: Simulação de Transitórios Eletromagnéticos e Sistemas de Corrente Contínua com a utilização dos programas ATP e PSCAD, bem como acompanhamento de estudos e testes de cubículos de controle CCAT e TCSC associados ao RTDS. Trabalhou em FURNAS de 1993 a 2017, após trabalhar 11 anos na área de Consultoria nas empresas PROMON, THEMAG e Eletroconsult del Paraguay.

## (6) ARJAN CARVALHO VINHAES

ARJAN CARVALHO VINHAES, brasileiro, nascido no RJ em 1980, engenheiro eletricitista pela UFF (2005) e mestrado em Engenharia Elétrica pela UFRJ (2009). - Trabalha no ONS desde 2008 lotado na EGE/DPL. Áreas de atuação: análise de sistemas de potência e transitórios eletromagnéticos utilizando o programa ATP.

## (7) RAQUEL ALVES FERREIRA

RAQUEL ALVES FERREIRA, brasileira, nascida no ES em 1994, engenheira eletricitista pelo CEFET/RJ (2019) e mestranda em Engenharia Elétrica - Sistemas de Energia, pela COPPE/UFRJ. Trabalha no ONS desde 2019 na Gerência de Estudos Especiais. Área de atuação: análise de sistemas de potência.

## (8) MATHEUS SOARES DA SILVA

Matheus Soares da Silva, brasileiro, nascido no RJ em 1992, engenheiro eletricitista pela UFRJ (2017), mestre em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ (2020) - Trabalhou no ONS entre 2019 e 2021, lotado na EGE/DPL. Desde 2021 trabalha na National Grid ESO. Área de atuação: Modelagem e análise de sistemas de potência, com foco em redes associadas a elos de corrente contínua, dispositivos FACTS, e conversores do tipo fonte de tensão.

## (9) RODRIGO GODIM DE AZEVEDO

Possui graduação (2011) e mestrado (2019) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência. Trabalha com simulações de transitórios eletromagnéticos no software ATP/ATPDraw (Alternative Transient Program) e PSCAD/EMTDC. Possui experiência com as linguagens de programação C, FORTRAN, VBA (Excel), MODELS (ATP) e C# (.net). Atualmente é bolsista de doutorado no Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) e tem

trabalhado no desenvolvimento de modelo de acompanhamento em fasores dinâmicos (MAFD) aplicado em componentes e equipamentos na área de transitórios eletromagnéticos de manobra.