



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

DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE LARGA ESCALA COM EQUIVALENTES DINÂMICOS REPRESENTANDO O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL NO PSCAD/EMTDC

**GUILHERME SARCINELLI LUZ; MATHEUS SOARES DA SILVA; RAQUEL ALVES FERREIRA; ARJAN
CARVALHO VINHAES; ALEX DE CASTRO; LEANDRO PENNA; RODRIGO VILLELA DE FARIA; AGILIO
COUTINHO NETTO
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELETRICO ONS**

RESUMO

É cada vez mais comum a utilização de ferramentas de transitórios eletromagnéticos no planejamento da operação de sistemas que envolvem dinâmicas rápidas de conversores de eletrônica de potência. No caso do Sistema Interligado Nacional (SIN), pela existência de múltiplos conversores eletricamente próximos, é de especial importância o estudo dos fenômenos de falha de comutação para a definição de limites de intercâmbio a serem praticados no SIN. Este artigo apresenta alguns detalhes da elaboração de uma rede equivalente modelada no programa PSCAD, a partir do programa ORGANON, utilizada pelo ONS para a identificação dos tempos de falha de comutação nos bipolos.

PALAVRAS-CHAVE

Falha de comutação, Multi-infeed, Programa ORGANON, Programa PSCAD

1.0 - INTRODUÇÃO

A análise da estabilidade eletromecânica para a definição dos limites operativos do SIN é atualmente realizada através do programa ANATEM, do CEPEL [1], onde o sistema elétrico brasileiro se encontra representado de forma detalhada. Ao longo dos últimos anos, novos bipolos foram adicionados ao SIN, após um longo período em que apenas o bipolo de Furnas esteve presente. Com isso, o fenômeno da falha de comutação precisou ser mais bem considerado, tendo em vista a configuração *multi-infeed* que se estabeleceu no sub-sistema Sudeste com a implantação dos empreendimentos associados aos projetos dos rios Madeira e Xingú.

Esta nova configuração se consolidou nos últimos 3 anos com a implantação do projeto de Belo Monte e passou a exigir uma representação mais efetiva dos efeitos do fenômeno de falha de comutação nos respectivos bipolos, decorrente de uma falta monofásica no sistema de corrente alternada (CA) ou de outro evento a ser analisado. A reprodução adequada deste fenômeno em um programa como o ANATEM requer uma análise prévia em um programa de transitórios eletromagnéticos como o PSCAD. A representação do SIN neste programa, por sua vez, só pode ser realizada através da utilização de equivalentes de fronteira, estáticos ou dinâmicos.

A fim de dispor de uma representação equivalente mais precisa, os equivalentes utilizados nos estudos de implantação dos dois bipolos Xingu-Estreito e Xingu-Terminal Rio, entre os anos de 2018 e 2019 [2,3], foram aprimorados utilizando-se de uma rede retida mais detalhada. A interligação CA associada ao sistema de 765kV e suas respectivas conexões com o sistema de 500kV, além da interligação do tronco de 500kV do Norte ao Centro-Oeste (Miracema - Serra da Mesa), representando a interligação Norte - Sul, passaram a compor uma rede equivalente dinâmica calculada pelo programa Organon e modelada no programa PSCAD.

Este trabalho descreve os passos para a elaboração deste equivalente dinâmico e sua modelagem no programa PSCAD, a fim de viabilizar a definição dos instantes e duração das falhas de comutação em cada um dos bipolos decorrentes de cada evento, especialmente nos sistemas Sul e Sudeste. Como as falhas de comutação nos bipolos correspondem a interrupções de potência que alimentam a região onde se localizam os seus inversores, suas durações acabam por definir os limites operativos do SIN. Este equivalente no programa PSCAD está, também, sendo utilizado como base para modelagem em RTDS, de modo a atender estudos em ambiente de simulação em tempo real.

2.0 - ETAPAS PARA A ELABORAÇÃO DO EQUIVALENTE

A seguir serão descritas cada uma das etapas seguidas para a elaboração do equivalente em PSCAD e os recursos que foram sendo desenvolvidos para otimizar as simulações.

2.1 - Cálculo do sistema equivalente

O programa ORGANON, utilizado para produzir a base de dados do sistema equivalente, é capaz de reduzir o sistema completo do SIN a um sistema equivalente dinâmico onde as linhas, transformadores e equipamentos selecionados são mantidos em uma rede, denominada “rede retida”, conectada a sistemas equivalentes. As máquinas mais relevantes são mantidas, dentro da rede retida, sendo as demais agregadas em um modelo clássico de máquina com potência, inércia e amortecimento equivalentes [4]. Esta metodologia dispensa a utilização de fontes de corrente ou de tensão para a manutenção de níveis de curto-circuito similares ao sistema completo.

2.1.1 - Rede equivalente

Para a definição da rede equivalente, foi utilizada como base uma rede retida já representada em PSCAD disponibilizada pelo CEPEL em seus estudos de *Multi-infeed* elaborado para o ONS [5]. Em seguida, a rede equivalente calculada pelo programa Organon, a partir de definições especificadas pelo usuário, ficou dividida em quatro regiões: Norte (N), Nordeste (NE), Sudeste (SE) e Sul (S), onde, além das impedâncias entre barras de cada região, foram definidos os geradores a serem retidos com seus modelos completos e calculados os conjuntos de clusters correspondentes que procuram reproduzir a dinâmica de suas respectivas máquinas síncronas. Desse modo as dinâmicas das regiões N, NE, SE e S foram definidas, respectivamente por 4, 5, 18 e 5 clusters.

2.1.2 - Rede retida

A rede retida no sistema N-NE ficou composta de 8 máquinas, 23 transformadores e 51 linhas, sendo muitas destas linhas formadas por 2, 3 e 5 circuitos.

No sistema S-SE a rede retida ficou composta de 13 máquinas, 50 transformadores e 91 linhas, sendo muitas destas linhas formadas por 2, 3 e 4 circuitos.

2.2 Transposição dos dados da rede equivalente do Organon para o PSCAD

Para a transposição da rede equivalenciada buscou-se inicialmente programas disponíveis no mercado, tendo em vista que essa tarefa buscava consolidar uma metodologia para a elaboração de futuros sistemas equivalentes, em função da entrada de novos empreendimentos. Após uma análise de custo-benefício foi escolhido e utilizado o programa PRSIM da própria Manitoba Hydro (fornecedora do programa PSCAD) em uma versão experimental e, por isso, sem custos. Para uma rede mais simples o programa mostrou-se bastante versátil ao produzir uma rede conectada com todas as impedâncias em um único diagrama. Entretanto, para o sistema equivalente calculado onde as barras são densamente conectadas, particularmente nas mesmas regiões geográficas, identificou-se que este processo acabava por gerar erros ao sobrepor diversas conexões, o que ocorria por limitação de espaço no diagrama. Desta forma, o programa foi utilizado numa etapa inicial, mas ao final grande parte das impedâncias foram reposicionadas de modo a eliminar as sobreposições gráficas, e, conseqüentemente elétricas. Como o PSCAD considera os nomes dos nós para definir as conexões, independentes de suas posições gráficas, as impedâncias puderam ser deslocadas para eliminar esses erros.

2.3 Modelagem dos clusters

A modelagem em PSCAD das máquinas equivalentes (Cluster), consideradas pelo Organon como representativas dos conjuntos de máquinas em cada região do SIN, está apresentada na Figura 1. Este modelo contou com uma automatização de sua inicialização de modo que o fluxo de potência pudesse ser preservado ao longo da geração do *snapshot*, a partir do qual se iniciam as simulações dos eventos. Para isso, o modelo inicializa como uma fonte constante com valores de magnitude e ângulo da tensão em seus terminais, definidos pelo fluxo de potência. Uma vez alcançado o instante definido pelo usuário, passam a ser calculados os valores de magnitude e ângulo da tensão atrás de uma reatância variável de modo a manter os valores originais em seu terminal. Estes cálculos são reprocessados a cada passo de integração, ao longo de 8 segundos, até a reatância atingir o seu valor correspondente sem produzir variações significativas no regime ao longo da simulação. Posteriormente, são ativadas as equações dinâmicas da máquina equivalente. A Figura 2 apresenta o resultado de validação desta máquina equivalente em um sistema simplificado, contendo barras infinitas e máquinas modelo IEEE 2.2. A comparação é feita entre os programas ANATEM e PSCAD.

2.4 Representação das máquinas síncronas

Os equivalentes em PSCAD utilizados nos estudos de implantação de cada um dos dois bipolos associados ao empreendimento de Belo Monte já possuíam algumas máquinas modeladas. Estas máquinas foram utilizadas, porém outras tiveram que ser modeladas. Para isso foram utilizados os dados representados no programa ANATEM, tanto dos parâmetros dessas máquinas como de seus reguladores. Assim, após alguns testes dinâmicos comparativos entre os dois programas, essas novas máquinas foram inseridas no novo equivalente.

Embora as máquinas síncronas no PSCAD possam ter sua dinâmica interna inicializada a partir de valores de tensão e ângulo estabelecidos em seus terminais, após um instante definido, os valores dos reguladores de tensão, velocidade e PSS irão impor uma dinâmica que precisa ser bem inicializada a fim de não se alterarem os fluxos de potência ativa e reativa em seus terminais resultante das diferenças nas variáveis internas desses reguladores. Esta inicialização precisou ser realizada para cada uma das máquinas que compõem a rede retida.

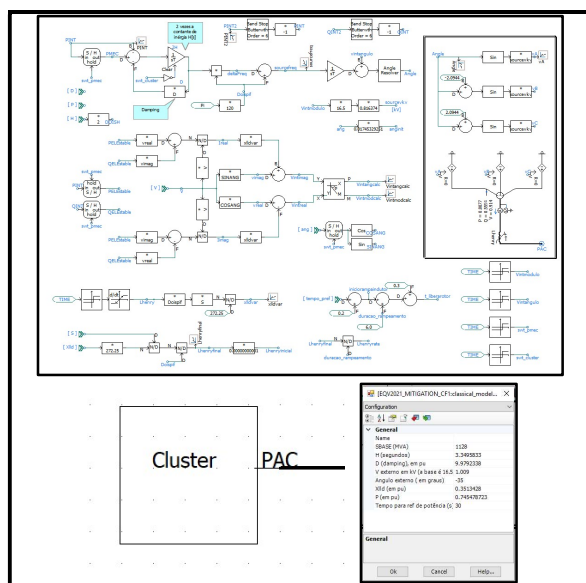


Figura 1 – Modelagem de cada cluster

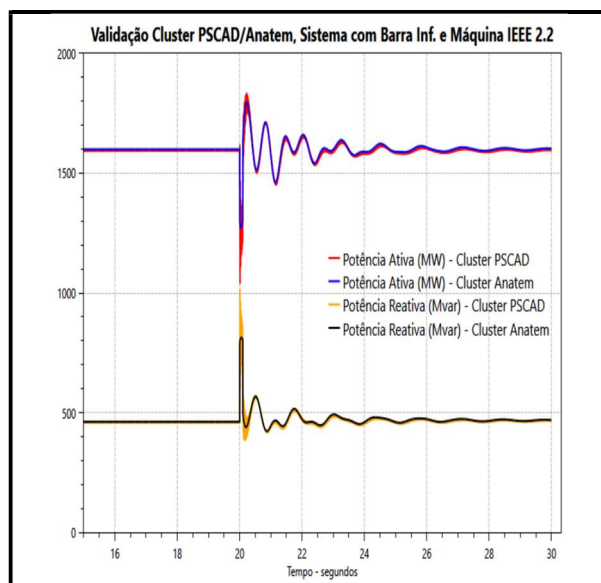


Figura 2 – Validação do modelo de cluster

2.5 Modelagem das cargas

A compatibilização do resultado do fluxo de potência, obtido a partir do arquivo base do Organon convertido para o ANAREDE, com os valores medidos no programa PSCAD só foi possível após considerar as cargas modeladas como potência ativa e reativa constante e após garantir compatibilidade de valores de tensão e ângulo nos terminais de cada cluster.

Contudo, para a análise dos fenômenos eletromagnéticos que acontecem tanto nos processos de conversão nos inversores como dos elementos próximos e remotos aos conversores, os componentes elétricos requerem uma modelagem de impedância constante de modo a refletir as trocas de energia elétrica e magnética entre os capacitores e indutores presentes no sistema, seja das linhas, dos transformadores, dos circuitos amortecedores das válvulas como também das cargas que acabam por representar uma parte relevante da rede.

Desta forma, de modo a permitir a inicialização do equivalente, foi desenvolvido um componente em PSCAD que inicia a simulação com um modelo de carga como potência ativa e reativa constantes de acordo com o valor definido no fluxo de potência e, após um instante definido pelo usuário, converte-o para o modelo de carga com impedâncias constantes, com as partes ativa e reativa em paralelo. Este recurso permitiu trocar a modelagem das cargas a partir de 20 s, quando tanto os bipolos já se encontram com suas potências definidas e as fontes fixas de seus conversores liberadas, assim como as máquinas com seus reguladores já se encontram inicializadas.

2.6 Aplicação de *stublines* nas impedâncias equivalentes

A inclusão de linhas muito curtas (*stublines*) em série com as impedâncias equivalentes foi um recurso que proporcionou uma grande aceleração no processamento dos casos. Este recurso visa implementar um desacoplamento da matriz de condutâncias, dividindo-a em submatrizes acarretando um aumento na velocidade de processamento dos cálculos matemáticos internos do PSCAD. Isso representou uma aceleração de mais de 20 vezes, tornando viável a geração de um *snapshot* aos 40s de simulação em um tempo de execução de, aproximadamente, 2h30min. Antes desse recurso, eram necessárias cerca de 72 horas para o mesmo *snapshot*.

A Figura 3 apresenta um exemplo deste recurso em uma das impedâncias equivalentes calculadas pelo Organon e transformadas pelo programa PRSIM com a adição do "*stubline*". O "*stubline*" corresponde a um pequeno trecho de linha de transmissão cujos parâmetros L e C estão associados à reatância série equivalente de modo a obter-se um tempo de trânsito ligeiramente maior que o passo de integração da simulação.

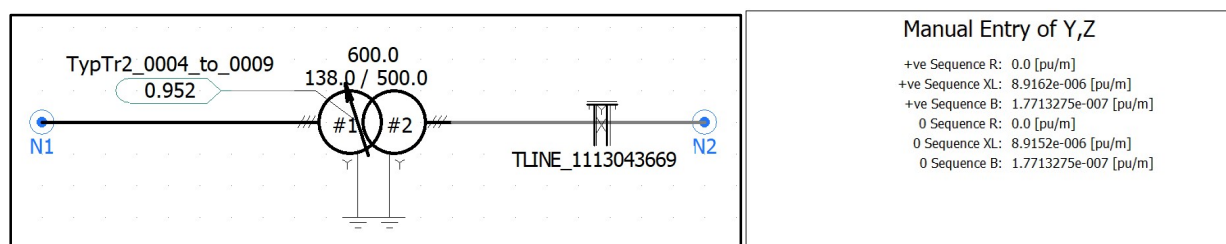


Figura 3 – Exemplo de inclusão de stubline na impedância equivalente

2.7 Validação dos resultados de curto-circuito

Os dados de cada impedância dos sistemas equivalentes foram transpostos do programa Organon para o programa PSCAD. Entretanto, para a rede retida considerou-se mais adequada a utilização dos parâmetros distribuídos das linhas dos estudos pré-operacionais. Para a validação do equivalente no PSCAD, foram analisados curtos-circuitos nas subestações conversoras do lado inversor dos elos de corrente contínua. A Tabela 1 apresenta os valores, em Ampere RMS, das correntes de curto-circuito em cada um dos inversores. Observa-se uma maior diferença nas faltas monofásicas em torno dos inversores de Estreito e Terminal Rio, provavelmente causada pela diferença de sequência zero em alguns circuitos, já que o ORGANON estima esses valores e no PSCAD foram considerados os dados dos estudos pré-operacionais.

Tabela 1 – Comparação das correntes RMS entre os programas ORGANON e PSCAD

Subestação	ORGANON (Arms)		PSCAD (Arms)		DIFERENÇAS	
	3ø	1ø	3ø	1ø	3ø	1ø
Estreito	26166	24021	25095	20025	-4.1%	-16.6%
Araraquara 2	29130	28174	29415	28213	1.0%	0.1%
Ibiúna	34364	37986	35249	37950	2.6%	-0.1%
T. Rio	21541	23950	21778	21199	1.1%	-11.5%

3.0 - CARACTERÍSTICAS DO ARQUIVO FINAL DE PSCAD

A Figura 4 apresenta a página principal (*Main*) da versão final do arquivo de PSCAD gerado após inúmeros outros, que foram sendo aprimorados ao longo de todo o trabalho. Nele pode ser visto cada um dos modelos de bipolo dos respectivos agentes, sendo utilizados os modelos mais recentemente disponibilizados para os bipolos da BMTE, XRTE e de FURNAS. Observa-se também que os subsistemas NNE e SSE foram interconectados através das subestações de Samambaia e Luziânia, que se encontram representadas em ambos os subsistemas. Apenas o Back-to-back de Porto Velho foi representado por uma fonte estática de corrente. A configuração final teve como base o arquivo gerado pelo CEPEL, no trabalho de *Multi-infeed* da referência [6], sendo a rede retida parcialmente alterada e as impedâncias equivalentes, completamente recalculadas.

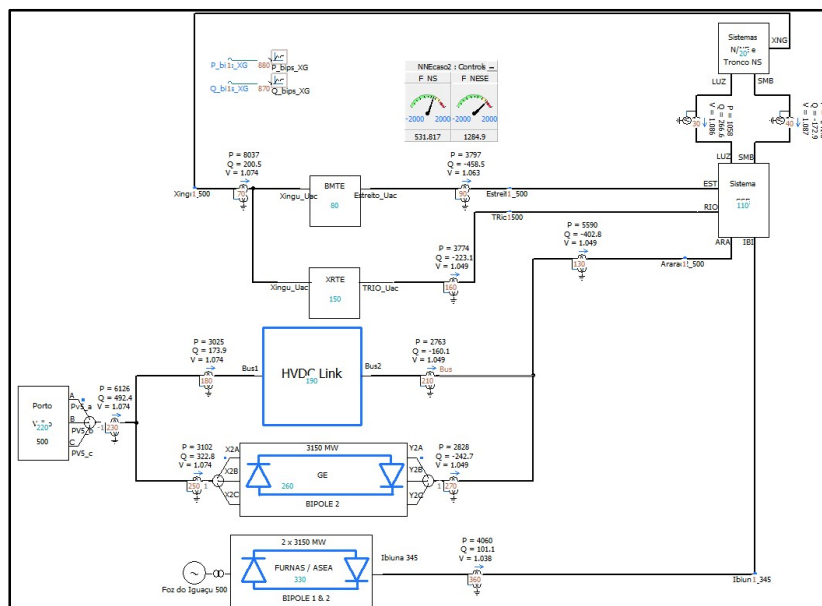


Figura 4 – Sistema Equivalente 2020 no programa PSCAD

A configuração base estudada corresponde à seguinte condição de operação: os dois bipolos que partem da SE Xingu operam com potência máxima de 8.000 MW, os dois bipolos que partem da SE Porto Velho com potência total de 6.000 MW e os dois bipolos que partem da SE Foz do Iguaçu com potência total de 4.200 MW. Contudo, outras condições de despacho nos bipolos podem ser obtidas, desde que ajustados os valores de tensão e ângulos das máquinas e clusters de acordo com o fluxo de potência calculado para a nova condição, podendo ser necessário também o ajuste de geração entre as regiões para que não seja ultrapassado o limite de transferência de potência pela Norte - Sul.

A elaboração de um caso, a ser utilizado para as análises, requer a geração de um *snapshot*, ou seja, um ponto de regime para iniciar o transitório a ser analisado. Considerando-se a necessidade de realizar diversas alterações até alcançar-se um caso base definitivo, bem como fazer ainda implementações no arquivo em função das análises a serem realizadas, diversos *snapshots* foram testados. Deste modo, é conveniente que o tempo máximo para um caso alcançar o regime permanente não seja muito longo.

Assim, a utilização dos recursos anteriormente descritos foi fundamental para obter-se um instante de simulação de 40 s para o sistema alcançar o que fosse considerado como regime permanente. Desse modo, os seguintes passos foram estabelecidos para gerar, de forma satisfatória, o *snapshot*:

- a) O sistema é inicializado com a presença de fontes estáticas temporárias no terminal dos conversores de cada bipolo. À medida que cada bipolo atinge sua condição definida de potência, as fontes estáticas em seus terminais podem ser então desconectadas desde que suas respectivas potências ativas fornecidas se aproximem de zero, de modo a produzir menos impacto no sistema, que segue caminhando para sua condição de regime. À medida em que cada bipolo atinge a potência definida no fluxo de potência, as fontes associadas começam a ser desconectadas. A fonte da barra de Xingu é a última a ser desconectada, em torno de 11 s de simulação, por estar muito próxima de duas máquinas cujos reguladores precisam acompanhar as variações de potência e tensão em seus terminais.
- b) A modelagem de carga é alterada aos 20 s de simulação
- c) Os clusters são transformados em máquinas clássicas com sua tensão interna calculada a partir de 30 s de simulação. Para que essa mudança não produza impactos significativos na dinâmica do sistema, esse processo é feito gradativamente, ao longo de 6 s.

Assim, aos 40 s pode-se considerar que o sistema atingiu seu ponto de regime permanente e o *snapshot* é gravado. A partir daí, novos casos podem ser reinicializados e algum evento desejado pode ser aplicado.

Tendo em vista que as cargas e as gerações são aquelas definidas pelo fluxo de potência original, as pequenas diferenças irão acomodar um fluxo de potência próximo do esperado, a menos das possíveis diferenças em parâmetros mencionadas no item 2.6.

4.0 - RECURSOS IMPLEMENTADOS PARA O CÁLCULO DOS TEMPOS DE FALHA DE COMUTAÇÃO

A identificação dos tempos de falha de comutação em cada um dos 5 diferentes bipolos para cada evento requereria, a princípio, uma análise das correntes entre as válvulas e o transformador conversor, a fim de identificar os instantes de início e fim da falha de comutação em cada bipolo. Entretanto, como está descrito na referência [7], a transposição do comportamento da potência CC é melhor reproduzida no programa ANATEM utilizando-se, para a definição do início e duração da ocorrência da falha de comutação, o tempo em que a tensão CC no inversor no PSCAD se mantém abaixo de zero (TVZ).

Vale ressaltar que, tendo os dois bipolos de FURNAS modelos iguais no PSCAD, as falhas de comutação nesses bipolos ocorrem nos mesmos instantes em todas as pontes para as mesmas condições. O mesmo não se dá para os dois bipolos do projeto Madeira cujos fabricantes são distintos e, portanto, forneceram modelos diferentes para o PSCAD.

Assim, alguns recursos do PSCAD foram implementados a fim de tornar as simulações de todos os eventos e o levantamento dos tempos de falha de comutação uma tarefa menos árdua, quais sejam: Automação da aplicação do conjunto de faltas CA mais relevantes e eventos nos bipolos, Medição dos tempos de início e duração das falhas de comutação em cada bipolo e registros das variáveis de interesse para análise posterior.

4.1 - Sistematização da aplicação do conjunto de faltas

A automação da aplicação das faltas foi possível através do recurso de "*Multiple Run*" do PSCAD que permitiu simular sistematicamente todas as faltas CA em um único processamento. Isso facilitou refazer mais rapidamente todos os diversos casos de falta CA quando identificada alguma nova situação a ser simulada e que não havia sido prevista ou mesmo refazer um novo levantamento dos tempos de falha de comutação de cada bipolo a partir de algumas alterações no caso base.

Uma segunda variável deste recurso foi definida para estabelecer o instante de falta. Essa nova variável permitiu uma análise sistemática de cada falta. Como o instante da ocorrência da falta tem a mesma probabilidade no tempo, processou-se, de forma sistemática, para cada falta CA, oito simulações distribuídas igualmente ao longo de um período da curva de tensão. Esta análise visou investigar a característica probabilística da falha de comutação já que a mesma, em certo aspecto, depende do instante em que a comutação esteja ocorrendo. Este número (8) foi depois generalizado (N_p), o que permite uma análise posterior mais detalhada da característica probabilística da ocorrência da falha de comutação para cada situação. Esta mesma distribuição foi também aplicada para os eventos de bloqueio de bipolo.

A Figura 5 apresenta um recorte da estrutura modelada para a automação e implementação da distribuição sistemática das faltas CA, onde pode ser observada a caixa do PSCAD associada ao "*Multiple Run*" e às duas saídas das variáveis de instante e localização da falta.

4.2 - Medição dos tempos das falhas de comutação

Após a definição da metodologia descrita na referência [7], o instante de início e fim da falha de comutação passaram a ser realizados através da análise da curva de tensão CC no inversor. Originalmente, essa medição era feita a partir de sua plotagem e identificação dos pontos de cruzamento pelo zero. Posteriormente, os cálculos de DIF (diferença entre o instante inicial da falta e o início da aplicação da falha de comutação no programa ANATEM) e TVZ (duração da falha de comutação) foram implementados em uma rotina no PSCAD de modo a facilitar este levantamento para cada um dos casos associados ao *Multiple Run*, economizando com isso muito trabalho.

Além disso, foi implementada uma análise das tensões nas válvulas de cada ponte, Y e D, de modo a indicar também a ocorrência de falha de comutação em apenas uma das duas pontes. Esse recurso permitiu a produção de um arquivo contendo todos os tempos de início e duração das falhas de comutação de cada bipolo que pode ser importado para o Excel facilitando a análise final, bem como permitindo uma análise mais detalhada de várias situações sem um esforço tão exaustivo. A Figura 6 apresenta a estrutura externa da caixa contendo o algoritmo implementado para as funções descritas nesse item.

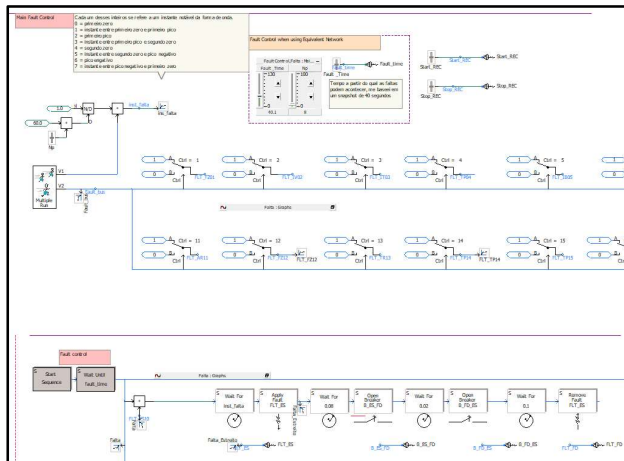


Figura 5 – Automação e distribuição sistemática das faltas C.A.

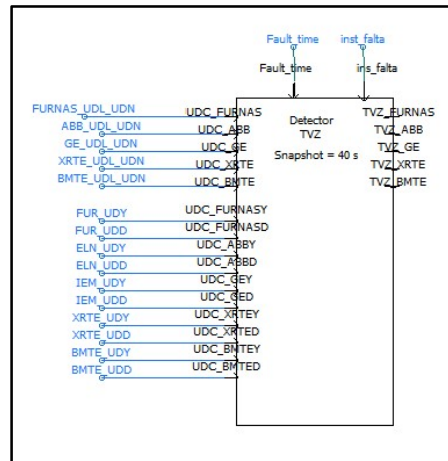
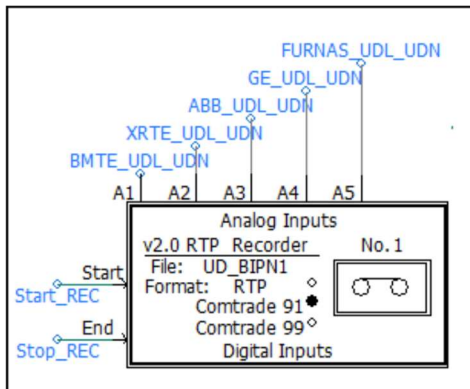


Figura 6 – Medição dos tempos de Falha de comutação

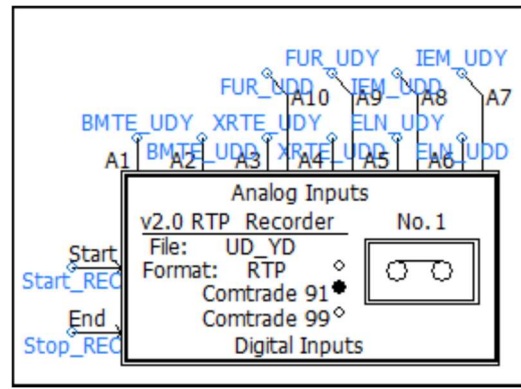
4.3 - Registros das variáveis de interesse

A avaliação do impacto do evento em análise requer a plotagem das variáveis de interesse, tais como a tensão e corrente CC, as correntes CA entre as válvulas e o transformador conversor, etc. Uma análise mais minuciosa requer a utilização de um programa fora do PSCAD e para isso tem-se utilizado o programa PlotXY. Esta transposição pode ser obtida a partir da transferência das variáveis de um gráfico para um arquivo de texto e a posterior alteração de formato de modo a adaptá-lo ao padrão do PlotXY [8]. Esse recurso foi substituído pelo registro de variáveis em formato COMTRADE em arquivo específico. Este novo recurso, disponível no PSCAD, permitiu direcionar de forma mais prática as variáveis de interesse de cada bipolo em arquivos separados.

Nos dois exemplos mostrados na Figura 7 temos as tensões do inversor e as tensões em cada ponte Y e D de cada bipolo em arquivos separados. A visualização da plotagem das variáveis de cada arquivo permite analisar tanto o TVZ como as falhas de meia ponte. Como o programa de plotagem também faz a leitura do formato COMTRADE de forma direta, isso eliminou o processo de conversão através de um editor de texto.



Tensões CC nos inversores



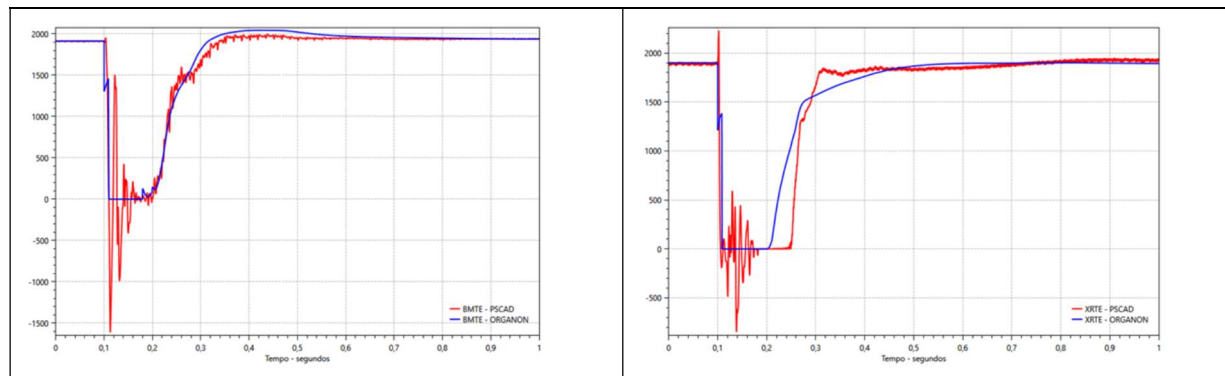
Tensões CC em cada ponte

Figura 7 – Exemplos de registro em formato COMTRADE

5.0 VALIDAÇÃO DO SISTEMA EQUIVALENTE

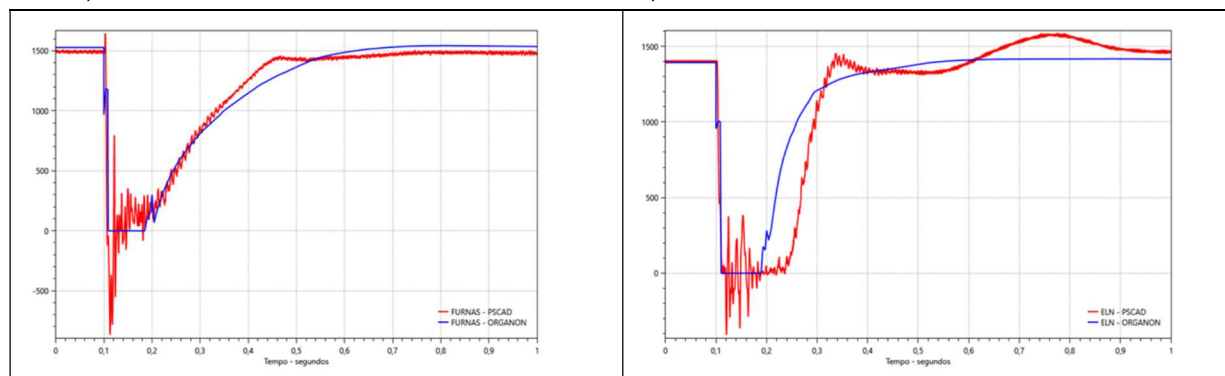
Para avaliar os resultados de validação do equivalente no PSCAD foram comparadas as potências transmitidas pelos bipolos, entre os programas Organon e PSCAD para alguns eventos de curto monofásico nas barras dos inversores. As simulações foram elaboradas com tempos de 80 ms e 100 ms para a abertura dos disjuntores da linha, respectivamente, próximos e remotos a barra em falta.

Alguns desses resultados estão apresentados na Figura 7, com tempo de plotagem de apenas um segundo, uma vez que, para a análise de falha de comutação, o mais relevante são os fenômenos eletromagnéticos e a potência interrompida por cada um dos bipolos para cada evento é o fator determinante para a estabilidade do SIN.



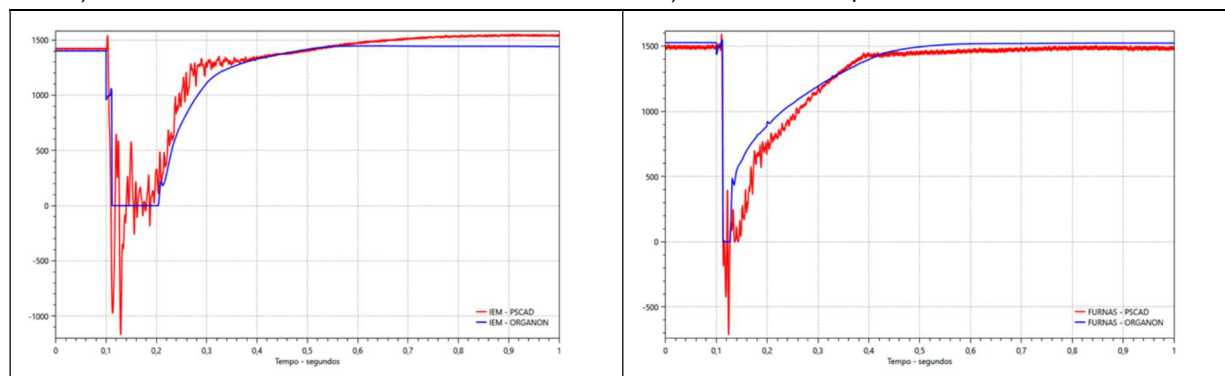
a) Falta em Estreito – Potência no Elo da BMTE

b) Falta em Terminal Rio - Potência no Elo da XRTE



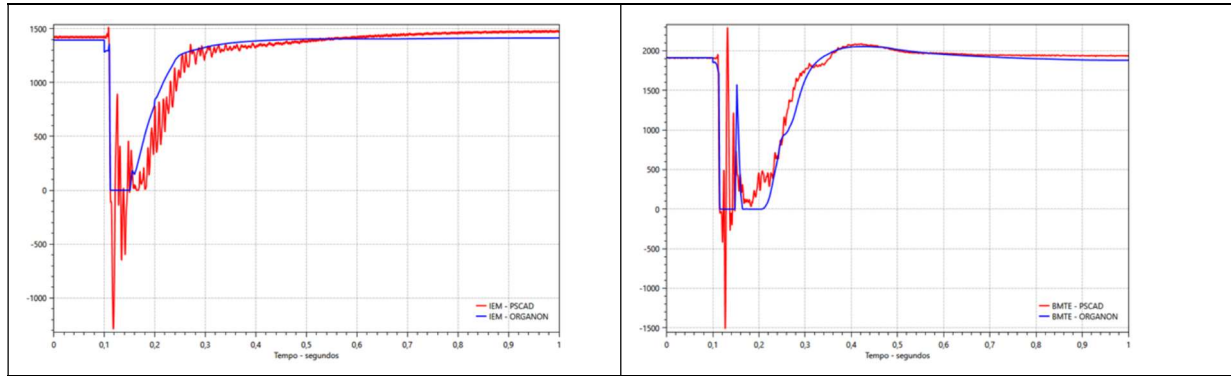
c) Falta em Ibiúna - Potência no Elo de Furnas

d) Falta em Araraquara 2 - Potência no Elo da ELN



e) Falta em Araraquara 2 - Potência no Elo da IEM

f) Falta em Estreito – Potência Furnas



g) Falta em Estreito – Potência GE

h) Falta em Terminal Rio – Potência BMTE

Figura 7 – Exemplos de validação entre o ORGANON e PSCAD – Potência nos bipolos

6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou as etapas para a elaboração de um sistema equivalente no PSCAD contendo os modelos de cada um dos bipolos do SIN no sentido de buscar uma avaliação mais segura do fenômeno de falha de comutação e seu impacto na estabilidade do SIN.

Esse sistema modelado no PSCAD permite alcançar um estado de regime permanente viabilizando, de forma prática e segura, a definição dos tempos de início e duração das falhas de comutação em cada bipolo para os diversos eventos a serem analisados na rede retida, a qual buscou abranger as barras e circuitos mais significativos para a análise de estabilidade do SIN.

A comparação dos resultados entre os programas PSCAD e ORGANON mostrou uma forte aderência quanto ao comportamento da potência dos bipolos no intervalo de recuperação de cada um deles. Vale ressaltar que a potência interrompida pelo bipolo durante o fenômeno de falha de comutação é o parâmetro mais significativo para o cálculo de limites operativos realizado com o programa de transitório eletromecânico.

Este sistema equivalente está sendo modelado no simulador em tempo real do NOS (RTDS/OPAL-RT) conectado às réplicas dos controles implantados no campo permitindo assim uma avaliação de desempenho dos controles, análise da implementação de novas lógicas de Sistema Especial de Proteção (SEP) associados aos bipolos de Belo Monte, desempenho de proteções, etc.

7.0 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- (1) Manual do ANATEM – versão 12.0 (<https://dre.cepel.br/manual/anatem/index.html>)
- (2) V.R. Oliveira, S.J.S. Filho, M.M. Gonçalves, F.C. Jusan, E.M. Brandi - Desenvolvimento de um equivalente dinâmico no PSCAD para os estudos do Bipolo 1 de Belo Monte - XIV SEPOPE, Recife/PE, Outubro de 2018
- (3) V.R. Oliveira, S.J.S. Filho, M.M. Gonçalves, V.A. Teixeira - Desenvolvimento de um Equivalente Dinâmico no PSCAD e RTDS para os Estudos do Bipolo 2 de Belo Monte – XXV SNPTEE, Belo Horizonte, MG, Brasil, Novembro 2019
- (4) JARDIM, J. L.; LEITE DA SILVA, A. M. - A methodology for computing robust dynamic equivalents of large power systems. Electric Power Systems Research, v. 143, p. 513–521, 2017
- (5) Nota Técnica ONS NT 0157/2017 - Aplicação da Metodologia para Estudo de Interações entre Múltiplos Elos em CCAT em um Caso Piloto.
- (6) Relatório Técnico do CEPEL – DRE-5150/2018 – Investigação dos Efeitos do DC Multi-infeed no SIN – Resultados das simulações nos programas PSCAD e ANATEM
- (7) 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 – Maio de 2022
- (8) Maximo Ceraolo – Programa de plotagem – <http://ceraolo-plotxy.ing.unipi.it/default.htm>

DADOS BIOGRÁFICOS



GUILHERME SARCINELLI LUZ, brasileiro, nascido no RJ em 1957, engenheiro eletricista 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.

(2) MATHEUS SOARES DA SILVA, brasileiro, nascido no RJ em 1992, engenheiro eletricista 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.

(3) RAQUEL ALVES FERREIRA, brasileira, nascida no ES em 1994, engenheira eletricista 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.

(4) ARJAN CARVALHO VINHAES, brasileiro, nascido no RJ em 1980, engenheiro eletricista 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.

(5) ALEX DE CASTRO, brasileiro, nascido no RJ em 1965, engenheiro eletrônico pela UFRJ (1994) - Trabalha no ONS desde 2010 lotado na EGI/DPL. Áreas de atuação: modelagem de redes de sistemas de potência utilizando ferramentas off-line (PSCAD) e simuladores em tempo real (RTDS / RSCAD) e operando as réplicas dos seguintes fabricantes: ABB, ALSTOM, SIEMENS e NARI. Trabalhou no CEPEL de 1994 a 2010 como pesquisador desenvolvendo software nos seguintes temas: redução de modelo, análise modal, estabilidade de pequenos sinais, interface gráfica de usuário.

(6) LEANDRO PENNA, graduou-se em engenharia elétrica na UFJF em 1997, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 2005. Em 2014 participou do MBA na escola de Negócios da PUC-Rio - IAG Master em Desenvolvimento Gerencial. Ingressou no ONS em 2001, na área de Planejamento da Operação Elétrica. Desde 2018 ocupa o cargo de gerente na Gerência de Estudos Especiais.

(7) RODRIGO VILLELA DE FARIA, atualmente atua como Engenheiro Eletricista do Operador Nacional do Sistema Elétrico ONS na área de Planejamento da Operação Elétrica. Mestre em Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC Rio) (2019). Graduado em Engenharia Elétrica na Universidade Estadual do Rio de Janeiro com ênfase em Sistemas de Potência (2008).

(8) AGILIO COUTINHO NETTO, atualmente atua como Engenheiro Eletricista do Operador Nacional do Sistema Elétrico ONS na área de Planejamento da Operação Elétrica. Graduado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal Fluminense com ênfase em Sistemas de Potência (2011). Trabalhou no Centro de Pesquisa de Energia Elétrica CEPEL de 2014 a 2015.